ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์)

ปริญญา

โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์ สัตวบาล

สาขา **ภาควิชา**

เรื่อง ผลของการใช้กากมันสำปะหลังต่อกระบวนการอัดเม็ด สมรรถภาพการผลิต และคุณภาพซากของสุกรขุน

Effect of Cassava Pulp on Feed Pelleting Process, Growth Performance and Carcass Quality in Fattening Pigs

นามผู้วิจัย นายศุภกร ภาวะนันท์

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

ผลของการใช้กากมันสำปะหลังต่อกระบวนการอัดเม็ด สมรรถภาพการผลิต และคุณภาพซากของสุกรขุน

Effect of Cassava Pulp on Feed Pelleting Process, Growth Performance and Carcass Quality in Fattening Pigs

โดย

นายศุภกร ภวะนันท์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)
พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศุภกร ภวะนันท์ 2553: ผลของการใช้กากมันสำปะหลังต่อกระบวนการอัดเม็ด สมรรถภาพการผลิต และคุณภาพซากของสุกรขุน ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์) สาขาโภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสกสม อาตมางกูร , Ph.D. 79 หน้า

การศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารต่อกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ด สมรรถภาพการผลิต และคุณภาพซาก ของสุกรระยะ 25-90 กิโลกรัม โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง ประกอบด้วย การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารต่อกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ด ที่ระดับ 0 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารสุกรระยะ 25-90 กิโลกรัม ซึ่งผลการศึกษาพบว่าการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหาร ทำให้ค่าพลังงานการอัดเม็ดสูงขึ้น 25 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารสุกรระยะ 25-60 กิโลกรัม และในสูตรอาหารช่วงระยะ 60-90 กิโลกรัม มีค่าพลังงานการอัดเม็ดสูงขึ้น 12 เปอร์เซ็นต์ จากสูตรควบคุม สำหรับคุณภาพเม็ดอาหารพบว่าไม่แตกต่างกัน การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารที่ระดับ 0 และ 10 เปอร์เซ็นต์ในรูปแบบอาหารอัดเม็ด ต่อสมรรถภาพการผลิต และคุณภาพซากของสุกร โดยใช้สุกรสามสายพันธุ์ (ดูรอค x แลนด์เรซ x ลาร์จไวท์) จำนวน 96 ตัว แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 4 ซ้ำ ซ้ำละ 12 ตัว วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล๊อค ผลการศึกษาพบว่า สุกรทั้งสองกลุ่ม มีปริมาณการกินอาหารต่อวัน อัตราการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหารไม่แตกต่างกัน ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบทางสถิติพบว่า แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) กับกลุ่มที่ไม่ใช้กากมันสำปะหลัง ในด้านของคุณภาพซากพบว่าการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารอัดเม็ด ส่งผลให้ความหนาไขมันสันหลัง และเปอร์เซ็นต์เนื้อแดง ของสุกร แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) กับกลุ่มที่ไม่ใช้กากมันสำปะหลังเป็นองค์ประกอบในสูตรอาหาร ด้านความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจพบว่าการใช้กากมันสำปะหลังเป็นองค์ประกอบในสูตรอาหาร มีผลต่อต้นทุนสูตรอาหารที่ลดลง แต่ส่งผลต่อค่าพลังงานในการอัดเม็ดเพิ่มขึ้นซึ่งมีผลทำให้ค่าไฟฟ้าในโรงงานสูงขึ้น แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบความคุ้มค่ากับต้นทุนของสูตรอาหารที่ลดลง พบว่าการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารสามารถใช้ได้ โดยคำนึงถึงเมทริกซ์ของราคาวัตถุดิบในชุดวัตถุดิบที่เลือกใช้ และปริมาณเยื่อใยรวมในสูตรอาหาร

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Suppakorn Phavananth 2010: Effect of Cassava Pulp on Feed Pelleting Process, Growth Performance and Carcass Quality in Fattening 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. 79 pages.

A study of cassava pulp in diet on pelleting characteristics, growth performance and carcass quality in 25-90 kg pigs was elucidated in two experiments.

In Experiment 1, diet with 10% cassava pulp was compared to diet with no cassava pulp supplementation on pelleting characteristics. The result showed that diets with 10% cassava pulp increased energy consumption for pelleting process by 25 and 12% on 25-60 kg diet and 60-90 kg diet, respectively. No difference on pellet quality was determined between the two diets.

In experiment 2, pelleting diets with 2 levels of cassava pulp (0 and 10 %) were compared on pig performance and carcass quality. Ninety six 25 kg BW Duroc x Landrace x Large White three way crosses pigs were randomly assigned to 2 groups. Each group consisted of 4 replications with 12 pigs per replication.There were not significantly different on average daily feed intake, average daily gain, feed conversion ratio, back fat thickness and lean percentage between the two groups. Nonetheless the use of cassava pulp in diets should be awared on the price of cassava pulp, the energy consumption on pelleting process, the overall price of all ingredients available at circumstance and the fiber content of the diet.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสกสม อาตมางกูร ประธานกรรมการที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุวเรศ เรืองพานิช และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐชนก อมรเทวภัทร ที่ได้ช่วยเหลือในการวางแผนงานวิจัยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนการให้คำปรึกษา แนะนำ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องงานวิจัยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณท่านผู้บริหาร และพนักงาน บริษัท ไบโอเจน ฟีด มิลล์ จำกัด ทุกท่าน ที่เอื้อเฟื้อสถานที่พร้อมทั้งยังให้คำแนะนำ ในการผลิตอาหารสุกร ขอขอบพระคุณ เจ้าของฟาร์มบรรจง ที่ให้การอนุเคราะห์ด้านสถานที่สำหรับการทดลองเลี้ยงสุกร พร้อมทั้งยังให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกให้ตลอดระยะเวลาการทดลอง

ขอขอบพระคุณห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหาร ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน และบริษัท ไทย ฟู้ดส์ ที่ให้ความอนุเคราะห์การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนะของอาหารสัตว์และคุณภาพเม็ดอาหารสัตว์

ขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้การสนับสนุนแหล่งเงินทุนวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ คุณธมน ภวะนันท์ และครอบครัวโพธิเวชกุล ที่คอยเป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนด้านการศึกษาของข้าพเจ้าเป็นอย่างดี รวมไปถึงเพื่อน รุ่นพี่ และรุ่นน้อง ปริญญาโท เจ้าหน้าที่ควบคุมห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ทั้งที่ภาควิชาสัตวบาล และภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณสุกรทุกตัวที่ทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์

ศุภกร ภวะนันท์

ตุลาคม 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	37
ผลและวิจารณ์	47
สรุปและข้อเสนอแนะ	64
สรุป	64
ข้อเสนอแนะ	65
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	66
ภาคผนวก	76
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	79

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณค่าทางโภชนะต่างๆของมันสำปะหลังเปรียบเทียบกับวัตถุดิบแหล่งพลังงานชนิดอื่น	6
2	ผลของระยะเวลาการตากมันสำปะหลังต่อระดับไซยาไนด์ (HCN) ในมันเส้น	9
3	ผลระยะเวลาการเก็บเกี่ยวต่อระดับไซยาไนด์ (HCN)	9
4	ปริมาณอะไมโลส และอะไมโลเพคตินของแป้งที่สกัดจากมันสำปะหลัง 4 พันธุ์ ที่ระยะเวลา การเก็บเกี่ยวต่างกัน	18
5	องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างกากมันสำปะหลัง จากการสุ่มตัวอย่างจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังในเขตภาคตะวันออก จำนวน 2 โรงงาน และเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จำนวน 3 โรงงาน	19
6	การเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลังกับวัตถุดิบแหล่งพลังงานชนิดอื่นๆ	21
7	ส่วนประกอบในสูตรอาหารสุกรน้ำหนัก 25 – 60 กิโลกรัม	42
8	ส่วนประกอบในสูตรอาหารสุกรน้ำหนัก 60 – 90 กิโลกรัม	43
9	การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลัง	47
10	การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารสุกรน้ำหนัก 25 – 60 กิโลกรัม	48
11	การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารสุกรน้ำหนัก 60 – 90 กิโลกรัม	48
12	ผลของระดับกากมันสำปะหลังในสูตรอาหารต่อกระบวนการผลิตและคุณภาพอาหารเม็ด ในอาหารสุกรน้ำหนัก 25 – 60 กิโลกรัม	50
13	ผลของระดับกากมันสำปะหลังในสูตรอาหารต่อกระบวนการผลิตและคุณภาพอาหารเม็ด ในอาหารสุกรน้ำหนัก 60 – 90 กิโลกรัม	52
14	ผลของสมรรถภาพการผลิตของสุกรน้ำหนัก 25 – 60 กิโลกรัม	55
15	ผลของสมรรถภาพการผลิตของสุกรน้ำหนัก 60 – 90 กิโลกรัม	56
16	ผลของสมรรถภาพการผลิตของสุกรน้ำหนัก 25 – 90 กิโลกรัม	57
17	คุณภาพซากของสุกรที่ได้รับกากมันสำปะหลังทั้ง 2 กลุ่มทดลอง	60
18	ราคาอาหาร (บาท/กิโลกรัม)	61
19	ราคาต้นทุนในการอัดเม็ดต่ออาหาร 1 ตัน (บาท/ตัน)	61

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
20	ต้นทุนอาหารสุกรเมื่อราคากากมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น	63

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายของลินามารินและโลทอสตราลิน	7
2	กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังของโรงงานที่ใช้เครื่องดีแคนเตอร์	16
3	ลักษณะการทำงานของหน้าแว่นและใบมีด	31

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลของการใช้กากมันสำปะหลังต่อกระบวนการอัดเม็ด สมรรถภาพการผลิต และคุณภาพซากของสุกรระยะขุน

Effect of Cassava Pulp on Feed Pelleting Process, Growth Performance and Carcass Quality in Fattening Pigs

คำนำ

ในปัจจุบันวัตถุดิบในการผลิตอาหารสัตว์ที่สำคัญ เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี และถั่วเหลือง มีความต้องการใช้สูงมากทั้งเพื่อการบริโภค และเพื่อผลิตพลังงานเอทานอล ทำให้ภาพรวมวัตถุดิบมีราคาเพิ่มมากขึ้น ทำให้ในปัจจุบันการเลือกใช้วัตถุดิบที่เป็นผลพลอยได้ในอุตสาหกรรมเกษตรต่างๆ (agro-industrial by-products) จึงเป็นอีกแนวทางเลือกหนึ่งในการลดต้นทุนการผลิตอาหารสัตว์ กากมันสำปะหลังจัดเป็นวัตถุดิบที่มีราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบชนิดอื่นๆ เช่น ข้าวโพด หรือปลายข้าว เนื่องจากกากมันสำปะหลังเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งจัดว่ามีแป้งเหลือในปริมาณมากประมาณ 50 -68 เปอร์เซ็นต์ จึงเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะนำไปใช้ในการลดต้นทุนในการผลิตอาหารสัตว์ แต่อย่างไรก็ตามกากมันสำปะหลังยังมีข้อจำกัดในเรื่องความฟ่าม ฝุ่น และปริมาณเยื่อใย รวมไปถึงการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในอาหารที่ต่ำ แต่เมื่อนำกากมันสำปะหลังไปเข้าสู่กระบวนการอาหารอัดเม็ดจะก่อให้เกิดปัญหาเหล่านี้น้อยลง โดยเฉพาะปัญหาในเรื่องของความฟ่าม และความเป็นฝุ่น เนื่องจากในกระบวนการอัดเม็ดอาหารจะผ่านทั้งความร้อน และความชื้น ซึ่งความร้อนในระหว่างการอัดเม็ดจะทำให้แป้งมันสำปะหลังเกิดการสุก (gelatinization) (เสกสม, 2550) พร้อมทั้งยังมีการเสริมด้วยการพ่นกากน้ำตาลเคลือบตัวเม็ดอาหารทำให้อาหารมีความหนาแน่น และความน่ากินเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นการปรับปรุงลักษณะทางกายภาพของอาหารรวมไปถึงการใช้ประโยชน์ได้ของสัตว์

ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงได้ทำการศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังที่มีต่อกระบวนการผลิตอาหารสัตว์ (อุณหภูมิคลุกไอน้ำ ค่าพลังงานการอัดเม็ด คุณภาพเม็ดอาหาร) และการตอบสนองจากตัวสัตว์ที่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิต และคุณภาพซาก เพื่อเป็นข้อมูลนำไปสู่การเพิ่มปริมาณการใช้กากมันสำปะหลังในโรงงานผลิตอาหารสัตว์ และความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจที่มีต่อต้นทุนการเลี้ยงสุกรต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของกากมันสำปะหลังต่อกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ดและคุณภาพของเม็ดอาหาร

2. เพื่อศึกษาผลของกากมันสำปะหลังในสูตรอาหารในรูปแบบอาหารอัดเม็ดต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซากของสุกรขุน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับมันสำปะหลัง

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังเป็นพืชหัวชนิดหนึ่งมีถิ่นกำเนิดอยู่ในเขตร้อนของทวีปอเมริกาตั้งแต่ประเทศเม็กซิโกในทวีปอเมริกากลางจนถึงประเทศบราซิลในอเมริกาใต้ ซึ่งมีการปลูกมันสำปะหลังมา 3,000 ถึง 7,000 ปีแล้ว ต่อมาได้ขยายไปสู่แหล่งอื่นๆ ของโลก โดยชาวโปรตุเกส และสเปน นำมันสำปะหลังจากเม็กซิโก มายังฟิลิปปินส์ ประมาณ ค.ศ.17 และชาวฮอลแลนด์ นำไปยังอินโดนิเซีย ประมาณค.ศ.18 มันสำปะหลังมีชื่อเรียกกันทั่วไปในภาษาอังกฤษว่า แคสซาวา (cassava) หรือ ทาปิโอก้า (tapioca) ประเทศแถบแอฟริกา เรียกชื่อ ภาษาฝรั่งเศส ว่า แมนิออค(manioc) และมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า แมนิฮอท เอสคูเลนตา แครนท์ (Manihot esculenta Crantz)

นักวิทยาศาสตร์ได้จัดมันสำปะหลังไว้เป็นหมวดหมู่ ดังนี้

ORDER	GERANIALES OR EUPHORBIALES
CLASS	DICOTYLEDONEA
SUBCLASS	ARCHICHLAMYDEAE
FAMILY	EUPHORBIACEAE
TRIBE	MANIHOTEAE
GENUS	MANIHOT
SPECIES	ESCULENTA

มันสำปะหลังมีลำต้นที่มีลักษณะคล้ายข้อ เนื่องจากก้านใบซึ่งแก่ร่วงหล่นไป สีของลำต้นบริเวณใกล้ยอดจะมีสีเขียว ส่วนที่ต่ำลงมาจะมีสีแตกต่างกันไปตามลักษณะพันธุ์ ใบมีก้านใบยาวติดกับลำต้น แผ่นใบเว้าเป็นแฉก 3-9 แฉก หลังจากปลูกมันสำปะหลังแล้วประมาณ 2 เดือน ส่วนของรากจะเริ่มสะสมแป้งและมีขนาดใหญ่ขึ้นตามอายุ เรียกว่า หัว จำนวนหัว รูปร่าง ขนาด และน้ำหนักแตกต่างกันไปตามแต่ละพันธุ์ สำหรับพันธุ์พื้นเมืองที่ใช้ปลูกภายในประเทศไทยภายใต้ดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ดี เมื่ออายุประมาณ 1 ปี หัวมันมีความยาวประมาณ 27.7 – 43.3 เซนติเมตร และมีความ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กว้างประมาณ 4.6-7.8 เซนติเมตร หัวมันสำปะหลังบางสายพันธุ์ เมื่ออายุมากกว่า 1 ปี อาจมีน้ำหนักหลายสิบกิโลกรัม (เจริญศักดิ์, 2532ข)

ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส ลำต้นของมันสำปะหลังจะหยุดการเจริญเติบโต มันสำปะหลังปลูกได้ในพื้นที่ตั้งแต่ระดับน้ำทะเลจนถึงระดับสูงจากน้ำทะเล 2,000 เมตร ทนต่อความเป็นกรดด่าง ของดิน (pH 4.3-8) และทนต่อสภาพอากาศที่แห้งแล้งได้ดี มันสำปะหลัง เป็นพืชที่ชอบแดดจัด ถ้าปลูกในที่ไม่มีแสงแดดจะทำให้การสะสมน้ำหนัก แป้งในหัวมันลดลง หลังจากปลูกไปประมาณ 3 เดือน รากฝอยของมัน สำปะหลังจะขยายใหญ่ขึ้น เนื่องจากมีการสะสมแป้งในเซลล์รากที่ขยายใหญ่ นี้จะกลายเป็นหัวมันสำปะหลัง และจะมีจำนวนคงที่เมื่อมันสำปะหลังมี อายุได้ 3 เดือน การเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังเมื่ออายุยังน้อย หัวมันสำปะหลังที่ได้จะมี ปริมาณแป้งน้อย การเก็บเกี่ยวส่วนใหญ่จะทำเมื่อหัวมันสำปะหลังโตเต็มที่ คือเมื่อมีอายุ 6 - 12 เดือน (เจริญศักดิ์, 2519ก) สำหรับระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ชนิดพันธุ์ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน และระยะห่างในการปลูก หากทิ้งหัวมันสำปะหลังอยู่ใต้ดินนานเกินเวลา เก็บเกี่ยวจะมีเส้นใยมากขึ้น หัวมันสำปะหลังที่เก็บเกี่ยวนี้ต้องตากให้แห้ง หากทิ้งไว้จะเน่าภายใน 1 สัปดาห์ ในระหว่างการเก็บหัวมันสำปะหลังจะเกิด การเปลี่ยนแปลงทางเคมี โดยแป้งเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาล ปริมาณแป้งจะ ลดลง หัวมันสำปะหลังประกอบด้วยน้ำและคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนใหญ่ มีโปรตีน แร่ธาตุ และวิตามินต่ำ ยกเว้นแคลเซียม และวิตามินซี จะมีปริมาณสูง

ลักษณะเด่นของมันสำปะหลัง

เกษตรกรในประเทศไทยนิยมปลูกพืชที่ปลูกง่าย ขายคล่อง มีราคาดีและมีปัญหาเรื่องโรคและแมลงศัตรูน้อย มันสำปะหลังเป็นพืชหนึ่งที่มีคุณสมบัติดังกล่าวข้างต้น และยังมีลักษณะเด่นอีกหลายอย่าง คือ สามารถขึ้นได้ในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ใช้ปลูกพืชไร่ชนิดอื่นไม่ได้ผลแล้วก็ยังสามารถปลูกมันสำปะหลังได้ นอกจากนี้ยังเป็นพืชที่ทนแล้งได้ดี หลังจากมันสำปะหลังตั้งตัวแล้วแม้จะไม่มีฝนตกติดต่อกันระยะยาวนานเป็นเดือนมันสำปะหลังก็ไม่ตาย แต่ต้นจะทิ้งใบและหยุดการเจริญเติบโต พอได้ฝนก็จะลำเลียงแป้งจากหัวมาสร้างยอดและใบเจริญเติบโตต่อไป เกษตรกรจะเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังเมื่ออายุประมาณ 1-12 เดือนหรือนานกว่านี้ ยิ่งทิ้งไว้นานๆ ผลผลิตก็ยิ่งเพิ่มมากขึ้น เมื่อราคาไม่ดีหรือไม่มีแรงงานจะขุดหัวก็รอต่อไปได้ ไม่เหมือนพืชไร่ชนิดอื่น เช่น ข้าว ฝ้าย ถั่วชนิดต่างๆ และอื่นๆ ซึ่งเมื่อถึงอายุเก็บเกี่ยวก็ต้องเก็บเกี่ยว ไม่เช่นนั้นจะเสียหาย เนื่องจากมันสำปะหลังเป็นพืชยืนต้นจึงทำให้กสิกรผู้ปลูกมีงานทำทั้งปี เมื่อเสร็จจากงาน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในไร่ของตนเองก็สามารถรับจ้างทำงานในไร่ของคนอื่นทำให้มีรายได้เพิ่มขึ้นอีกด้วย คุณสมบัติดังกล่าวข้างต้นจึงทำให้กสิกรนิยมปลูกมันสำปะหลังกันอย่างแพร่หลาย (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2547)

คุณลักษณะทางเคมีของมันสำปะหลัง

1. องค์ประกอบทางเคมี

องค์ประกอบทางเคมีของหัวมันสดส่วนใหญ่ประกอบด้วยน้ำในปริมาณ 60.21 – 75.32 เปอร์เซ็นต์ เปลือก 4.08 – 14.08 เปอร์เซ็นต์ แป้ง 25.87 - 41.88 เปอร์เซ็นต์ และมีไซยาไนด์ ซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์ในระดับสูง จึงไม่แนะนำให้ใช้หัวมันสดมาเลี้ยงสัตว์ เมื่อนำมาทำเป็นมันเส้นจะช่วยทำให้ ไซยาไนด์ถูกสลายไป โดยปกติหัวมันสด 2.4-2.5 กิโลกรัม จะทำเป็นมันเส้นได้ 1 กิโลกรัม โดยมันเส้นที่ได้จะมีคุณค่าทางอาหาร หรือส่วนประกอบเคมี ดังตารางที่ 2.1 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับวัตถุดิบตัวอื่นๆ พร้อมทั้งยังมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่าย (nitrogen-free extract; NFE) สูงถึง 77 – 82 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักส่วนใหญ่ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ของ คาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่ายเป็นสารประกอบจำพวกแป้ง (starch) (สาโรช และเยาวมาลย์, 2531) อีกทั้งแป้งในมันสำปะหลังเป็นแป้งอ่อนและย่อยง่ายจึงทำให้สัตว์สามารถนำไปย่อยและใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่และเหมาะสมที่จะเป็นวัตถุดิบอาหารแหล่งให้พลังงานแก่สัตว์กระเพาะเดี่ยว (Montaldo, 1977) แต่เนื่องจากมันสำปะหลังมีโปรตีนและไขมันต่ำ ในการนำมันสำปะหลังไปใช้ทดแทนข้าวโพดหรือปลายข้าวควรจะมีการเสริมแหล่งโปรตีนคุณภาพดี เช่น การเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.15-0.30 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับการเสริมไขมันไม่ต่ำกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ (Jordan, 1983)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 1 คุณค่าทางโภชนะต่างๆ ของมันสำปะหลังเปรียบเทียบกับวัตถุดิบแหล่งพลังงานชนิดอื่น

องค์ประกอบทางโภชนะ (เปอร์เซ็นต์)	มันสำปะหลัง	ข้าวโพด	ปลายข้าว	รำละเอียด
โปรตีน	2.00	8.00	8.00	12.00
พลังงานสุกรใช้ประโยชน์ได้ (กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม)	3260	3168	3596	3120
พลังงานสัตว์ปีกใช้ประโยชน์ได้ (กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม)	3500	3370	3500	2710
ไขมัน	0.75	4.00	0.90	12.00
เยื่อใย	4.00	2.50	1.00	11.00
แคลเซียม	0.12	0.01	0.03	0.06
ฟอสฟอรัสใช้ประโยชน์ได้	0.05	0.10	0.04	0.47
กรดอะมิโนจำเป็นในอาหาร				
ไลซีน	0.09	0.25	0.27	0.55
เมทไธโอนีน + ซีสตีน	0.06	0.39	0.32	0.52
ทริปโตเฟน	0.02	0.09	0.10	0.10
ทรีโอนีน	0.07	0.32	0.36	0.25

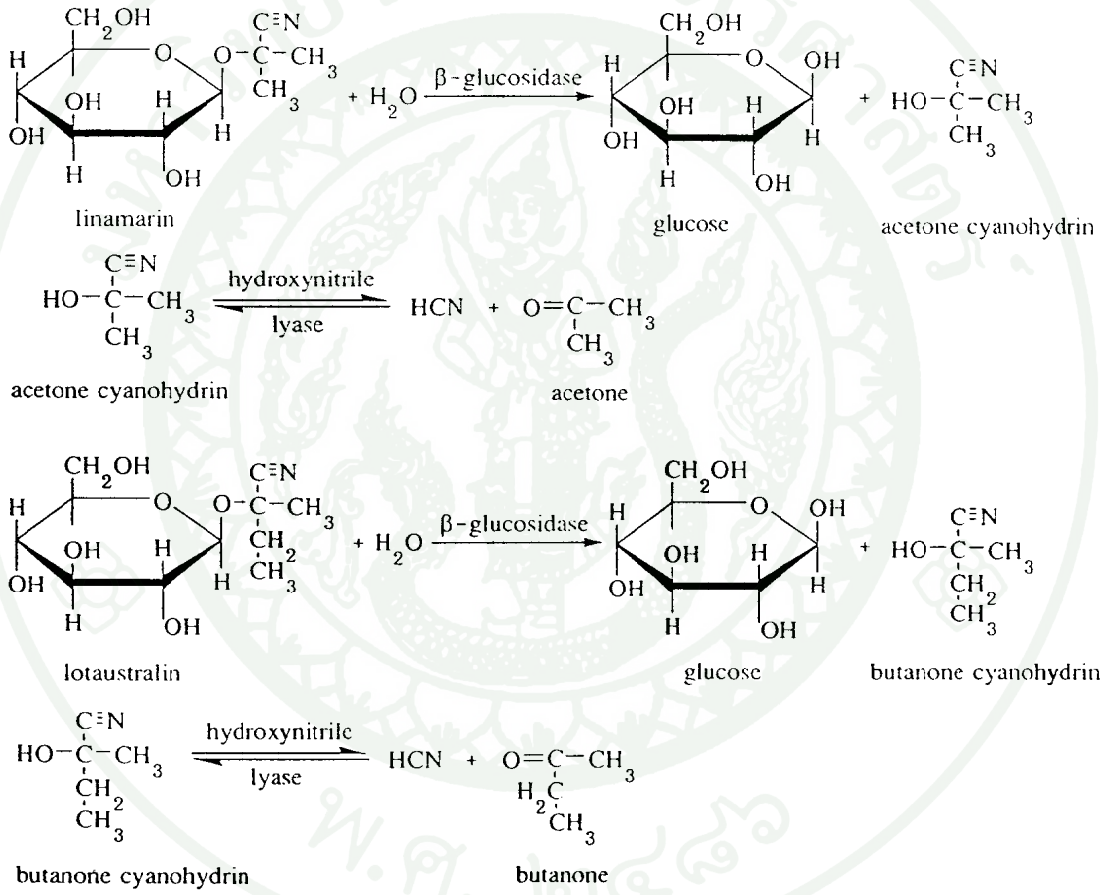
ที่มา: อุทัย (2529)

2. สารพิษในมันสำปะหลัง

หัวมันสำปะหลังมีสารไซยาโนจีนิค กลูโคไซด์ (cyanogenic glucosides) โดยที่ในสารไซยาโนจีนิคกลูโคไซด์นี้ประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลักๆ คือ ลินามาริน (linamarin) และโลทอสตราลิน (lotaustralin) ซึ่งลินามาลินสังเคราะห์มาจากกรดอะมิโนวาลีน (valine) ในขณะที่โลทอสราลินสังเคราะห์มาจากกรดอะมิโนไอโซลิวซีน (isoleucine) ซึ่งปริมาณลินามาริน (linamarin) จะมีอยู่สูงในส่วนเปลือกของมันสำปะหลัง หากทำให้กรดเจือจางหรือน้ำย่อยลินามาเรส (enzyme linmarase) ทำปฏิกิริยากับ ลินามาริน (linamarin) จะเกิดเป็นกรดไฮโดรไซยานิค (HCN) โดยได้มีการแบ่งชนิดของหัวมันตามระดับของสารพิษที่มีอยู่ ดังนี้คือ ถ้าหัวมันสำปะหลังสดมีกรดไฮโดรไซยานิค

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(HCN) ต่ำกว่า 50 ppm ถือว่า เป็นประเภทมีพิษน้อย ไม่เป็นอันตรายต่อคนและสัตว์ ถ้าหัวมันสำปะหลังสด ที่มีกรดไฮโดรไซยานิกอยู่ในช่วง 50-100 ppm ถือว่ามีพิษ ปานกลาง แต่ถ้ามีกรดไฮโดรไซยานิกสูงกว่า 100 ppm ถือว่า มีพิษรุนแรง มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 1 ที่ปลูกกันในประเทศไทย เพื่อผลิตมันเส้น มันอัดเม็ดและแป้งมัน จัดอยู่ในประเภทที่มีพิษรุนแรง ได้มีการรายงานถึงระดับที่เป็นพิษของกรดไฮโดรไซยานิค (HCN) ในคนและสัตว์ว่า ถ้าได้รับกรดไฮโดรไซยานิค (HCN) ประมาณ 1.4 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม จะเป็นพิษถึงตายได้



ภาพที่ 1 การเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายของลินามารินและโลทอสตราลิน

ที่มา: Conn (1994)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การลดความเป็นพิษในหัวมันสำปะหลัง สามารถทำได้หลายวิธีคือ

1. ปอกเปลือก เนื่องจากสารกลูโคไซด์ (glucosides) จะสะสมอยู่ในเปลือกมากกว่า ในเนื้อมันสำปะหลัง การปอกเปลือกจึงเป็นการกำจัดสารดังกล่าวได้ดีที่สุด ซึ่งในกรณีนี้ เซลล์ของเนื้อเยื่อหัวมันสำปะหลังจะถูกทำลายและจะเกิดปฏิกิริยาระหว่าง cyanogenic glucoside กับน้ำย่อย linamarase และกรดไฮโดรไซยานิค (HCN) จะถูกขับออกมา (สาโรช และเยาวมาลย์ ,2531)

2. ล้างน้ำและแช่น้ำทั้งนี้เพราะในหัวมันสำปะหลังนั้น ลินามาริน (linamarin) จะอยู่ที่เปลือกและส่วนผิวของมันสำปะหลัง จึงมีโอกาสถูกชะล้างได้สูง รวมไปถึงสารกลูโคไซด์ (glucosides) นั้นมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดีมาก ดังนั้น การล้างน้ำและแช่น้ำนานๆ กลูโคไซด์ (glucosides) จะถูกละลายไปกับน้ำ

3. การหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ และตากแดดให้แห้ง ในกระบวนการทำมันเส้นซึ่งจะใช้เวลา 3-4 แดดนั้น จะสามารถลดระดับกรดไฮโดรไซยานิค (HCN) ให้ต่ำลงจนอยู่ในระดับที่ไม่เป็นพิษต่อสัตว์ Khajarern *et. al.* (1982) พบว่าการตากชิ้นมัน 6 แดด จะสามารถลดระดับสารพิษไฮโดรไซยานิค (HCN) จาก 111.63 ppm ลงเหลือ 22.97 ppm ดังตารางที่ 2 และการเก็บชิ้นมันเส้นไว้ก็จะทำให้สารพิษลดระดับลงอีก โดยพบว่าเมื่อเก็บชิ้นมันไว้ 5 วัน จะสามารถลดระดับสารพิษจาก 87.14 ppm เหลือ 36.25 ppm ดังตารางที่ 3

4. การใช้ความร้อน เนื่องจากกลูโคไซด์ (glucosides) สลายตัวได้ดีมากที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส. ดังนั้นเมื่อนำหัวมันสำปะหลังมาทำให้ร้อนจะด้วยวิธีอบ นึ่ง ต้ม หรือการใช้ไอน้ำในการอัดมันสำปะหลังจะลดสารพิษลงเหลือ 11.82 ppm (Khajarern *et. al.,* 1979)

5. การหมักดองหัวมันสำปะหลัง ทำให้เกิดกรดอินทรีย์ขึ้น ซึ่งมีผล ในการสลาย (hydrolysis) สารกลูโคไซด์ (glucosides) ที่มีในหัวมัน ทำให้เกิดแก๊สไฮโดรไซยาไนด์ระเหยออกมาและความเป็นพิษหมดไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 ผลของระยะเวลาการตากมันสำปะหลังต่อระดับไซยาไนด์ (HCN) ในมันเส้น

จำนวนวันที่ตาก	ระดับไซยาไนด์ (HCN) (ppm)
0	111.83
1	111.96
2	110.96
3	109.96
4	90.72
5	52.22
6	22.97

ที่มา: Khajarern *et. al*. (1982)

ตารางที่ 3 ผลระยะเวลาการเก็บต่อระดับไซยาไนด์ (HCN)

จำนวนวันที่เก็บสต๊อก	ระดับไซยาไนด์ (HCN) (ppm)
0	87.14
1	56.76
2	40.11
3	29.52
4	31.46
5	36.25

ที่มา: Khajarern *et.al.* (1982)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สถานการณ์มันสำปะหลังในประเทศไทย

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่ทำรายได้ให้กับประเทศเป็นจำนวนมาก ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังมีมูลค่าการส่งออกสูงเป็นอันดับ 3 ในกลุ่มผลผลิตทางการเกษตร รองจากยางพาราและข้าวโพด โดยมีมูลค่าการส่งออก 47,765.08 ล้านบาท ประเทศไทยสามารถผลิตมันสำปะหลังได้มากเป็นอันดับ 3 ของโลก (ผลิตได้ร้อยละ 11.58 ของผลผลิตทั้งโลก) รองจากไนจีเรีย (ผลิตได้ร้อยละ 20.05 ของผลผลิตทั้งโลก) และบราซิล (ผลิตได้ร้อยละ 11.97 ของผลผลิตทั้งโลก) (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2551; FAO, 2009)

โดยปี พ.ศ. 2551 ผลผลิตมันสำปะหลังในประเทศไทยมีประมาณ 25,155,797 ตัน จากการคาดการณ์ผลผลิตในปี พ.ศ. 2552/2553 พบว่ามีโอกาสที่ผลผลิตจะปรับลดลงรุนแรงถึง 30 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 19.43 ล้านตันโดยมีสาเหตุหลักมาจากปัญหาสภาพอากาศที่แห้งแล้งในช่วงต้นฤดูกาลเพาะปลูก และการระบาดของเพลี้ยแป้ง ทำให้เกิดความเสียหายกับพื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลัง มีการปลูกซ่อมหลายครั้ง จนเกิดภาวการณ์ขาดแคลนท่อนมันสำปะหลัง ส่งผลให้เกษตรกรปรับเปลี่ยนไปปลูกอ้อยโรงงาน ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ยางพารา และพืชอื่นๆ รวมทั้งการฟื้นตัวของภาวะเศรษฐกิจ ที่ส่งผลให้กำลังซื้อในแต่ละประเทศสูงขึ้น ทำให้ในปี 2553 ความต้องการใช้มันสำปะหลังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 9.01 ล้านตันหัวมันสด ในปี พ.ศ. 2552 เป็น 9.18 ล้านตันหัวมันสด ในปี พ.ศ. 2553 โดยความต้องการใช้มันสำปะหลังเพื่อผลิตอาหารสัตว์ได้ปรับตัวเพิ่มสูงขึ้นมากตั้งแต่ 2 ปีที่ผ่านมา ขณะที่ทิศทางราคามันสำปะหลังอ่อนตัวลงเล็กน้อยจากปีก่อน ทำให้การใช้ในอาหารสัตว์อยู่ในระดับสูง

ในปี พ.ศ. 2553 ผลผลิตมันสำปะหลังในประเทศลดลง และคาดว่าราคาธัญพืช ทั้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และข้าวสาลีในตลาดต่างซื้อขายล่วงหน้ามีแนวโน้มสูงขึ้น แต่คาดว่าจะไม่ปรับเพิ่มขึ้นรุนแรงเท่ากับปี พ.ศ. 2551 ประกอบกับโรงงานผลิตเอทานอลหันมาใช้มันสำปะหลังเพิ่มขึ้น เนื่องจากราคากากน้ำตาลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้รัฐบาลมีทางเลือกในการที่จะระบายมันสำปะหลัง จากเดิมที่ต้องระบายเพื่อการส่งออกเท่านั้น ซึ่งส่งผลให้ราคาพืชพลังงานทดแทนมีแนวโน้มสูงขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

1. การผลิตมันสำปะหลังเส้น

การผลิตมันเส้นทำได้โดยการแปรรูปหัวมันสดโดยใช้เครื่องตีหัวมันเป็นเส้นเล็ก แล้วนำไปตากบนลานซีเมนต์ประมาณ 2-3 วัน แต่ถ้าเป็นฤดูฝนจะใช้เวลาในการตากมันมากกว่าปกติ ซึ่งตามปกติแล้วการผลิตมันเส้น 1 กิโลกรัมต้องใช้หัวมันสด (มีปริมาณแป้งร้อยละ 25) 2-2.5 กิโลกรัม เมื่อแห้งดีแล้วจะต้องได้มาตรฐานความชื้นที่มีในมันเส้นประมาณร้อยละ 14 แล้วจึงทำการเก็บเพื่อส่งขายเป็นวัตถุดิบให้กับอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ และอุตสาหกรรมมันอัดเม็ดต่อไป (เจริญ ศักดิ์, 2532)

2. การผลิตมันสำปะหลังอัดเม็ด

กรรมวิธีการผลิตมันสำปะหลังอัดเม็ดทุกแห่งไม่ว่าจะใช้เครื่องจักรจากต่างประเทศหรือในประเทศจะมีกรรมวิธีการผลิตเหมือนกัน กล่าวคือ ก่อนทำการอัดมันเส้นจะต้องนำมาร่อนเพื่อให้เศษที่เป็นผงและสิ่งเจือปนต่างๆออกเสียก่อน เสร็จแล้วแยกมันเส้นที่มีขนาดใหญ่มาตรฐานเข้าเครื่องบดแฮมเมอร์มิลล์ (hammer mill) ต่อจากนั้นมันเส้นที่ได้ขนาดและเกินขนาดที่ถูกบดแล้วจะถูกลำเลียงไปยังถังใส่บนเครื่องอัดก่อนส่งเข้าเครื่องอัด มันอัดเม็ดจะถูกพ่นน้ำเพื่อให้มีความชื้นในระดับที่เหมาะสม เมื่อนำออกมาจากเครื่องใหม่ๆ มันอัดเม็ดจะยังอุ่น และอ่อนนุ่ม ซึ่งต้องส่งเข้าเครื่องระบายความร้อนเพื่อลดอุณหภูมิและความชื้น หลังจากนั้นมันอัดเม็ดจะมีความแข็ง การระบายความร้อนโดยทั่วไปจะใช้รางเลื่อนทั้งแบบตั้งและแบบนอนโดยการเป่าพัดลม เมื่อมันอัดเม็ดเย็นตัวจะถูกส่งผ่านตะแกรงร่อน เพื่อคัดมันอัดเม็ดที่ใหญ่เกินขนาดก่อน ส่วนมันอัดเม็ดที่เล็กเกินไปจะถูกส่งเข้าไปอัดใหม่ ลมจากพัดลมที่ใช้เป่ามันอัดเม็ดจะมีกำลังแรงมาก เมื่อเวลาพัดผ่านมันอัดเม็ดจะทำให้มันอัดเม็ดพุ่งเข้าไปกองในถังใบใหญ่ ส่วนผงมันที่ปลิวไปกับลมจะถูกส่งเข้าสู่เครื่องป้อนอีกครั้ง

3. การผลิตแป้งมันสำปะหลัง

กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังแบบสลัดแห้งนั้นเป็นกระบวนการผลิตแบบใหม่ที่โรงงานโดยทั่วไปใช้กันอยู่ในปัจจุบัน มีขั้นตอนการผลิต ดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.1 การเตรียมวัตถุดิบ หัวมันสำปะหลังจะถูกล้างให้สะอาดโดยผ่านเครื่องล้างหัวมันเพื่อล้างเอาเศษดินที่ยังติดอยู่กับหัวมันออกไปกับน้ำ

3.2 การโม่หัวมันสำปะหลัง มันสำปะหลังจะถูกลำเลียงเข้าสู่เครื่องสับหัวมันให้หัวมันมีขนาดเล็กลง ในระหว่างการโม่มีการเติมน้ำเพื่อให้สามารถโม่หัวมันได้ง่าย ในขั้นตอนนี้จะได้ของเหลวข้นที่มีส่วนผสมของแป้ง น้ำ กากมัน และสิ่งเจือปนต่างๆ

3.3 การสกัดแป้ง ของเหลวข้นจากเครื่องโม่จะถูกปั๊มเข้าสู่เครื่องแยกน้ำทิ้งที่มีโปรตีนและไขมันออกจากเนื้อแป้ง แล้วน้ำแป้งที่ได้จะเข้าสู่หน่วยสกัดแป้ง โดยจะถูกปั๊มเข้าสู่เครื่องสกัดแป้งซึ่งเป็นเครื่องแยกน้ำแป้งออกจากเส้นใยและกาก โดยเครื่องนี้จะแบ่งหน้าที่ตามการกรองออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดสกัดหยาบ และชุดสกัดละเอียด ซึ่งน้ำแป้งจะผ่านชุดสกัดหยาบก่อนเพื่อแยกกากหยาบออก แล้วจึงเข้าสู่ชุดสกัดละเอียดเพื่อทำให้บริสุทธิ์ขึ้นโดยผ่านผ้ากรองที่มีขนาดเล็กลงของเครื่องสกัดละเอียด จากนั้นน้ำแป้งที่มีความบริสุทธิ์สูงจะถูกสูบจากถังพักมายังเครื่องสลัดแห้งซึ่งจะเหวี่ยงแยกน้ำออกจากน้ำแป้งทำให้ได้แป้งหมาดที่มีความชื้นประมาณร้อยละ 35-40

3.4 การอบแห้ง แป้งหมาดจะถูกเป่าด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 180-200 องศาเซลเซียสจากเตาเผาขึ้นไปบนปล่องอบแห้ง แล้วตกลงมาเข้าสู่ไซโคลนความร้อนทำให้ความชื้นหายไปบางส่วน

3.5 การบรรจุ และเก็บรักษา ทำได้โดยการบรรจุแป้งที่ได้ในกระสอบ แล้วเรียงกระสอบบนที่รองรับเป็นชั้นๆ โดยพยายามหลีกเลี่ยงการทับซ้อนกันถึง 4-5 เมตร

4. เอทานอล

เอทานอลที่ผลิตในประเทศไทยใช้วัตถุดิบจากกากน้ำตาล ซึ่งปัจจุบันราคาสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงหันมาใช้หัวมันสำปะหลัง และมันเส้นเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล ซึ่งได้มีการคาดการณ์ว่าในปี พ.ศ. 2549 ปริมาณการใช้เอทานอลจาก 0.3 ล้านลิตร/วัน เป็น 1 ล้านลิตร/วัน เมื่อสิ้นปี พ.ศ. 2550 และเพิ่มเป็น 3.0 ล้านลิตร/วัน ในปี พ.ศ. 2554 (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2547) กรรมวิธีในการผลิตแอลกอฮอล์จากมันสำปะหลัง เริ่มต้นด้วยการนำหัวมันสำปะหลังสดไปล้างให้สะอาดแล้วบดให้ละเอียด จากนั้นนำไปย่อยแป้งให้มีโมเลกุลเล็กลง (saccharification) ด้วยการใช้กรด (hydrolysis) หรือใช้จุลินทรีย์ (biological process) แล้วจึงนำสารละลายแป้งที่ย่อยได้ไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

หมัก (fermentation) ด้วยยีสต์ ซึ่งจะได้น้ำไวน์ (wine) เมื่อนำไปกรองและกลั่นก็จะได้แอลกอฮอล์และส่วนของกาก (stillage) (วัฒนะ, 2549)

กากมันสำปะหลัง (Cassava pulp)

กากมันสำปะหลังที่เป็นผลผลิตจากการทำอุตสาหกรรมแป้งมันจะมีส่วนของแป้งเหลืออยู่ค่อนข้างมาก ซึ่งในประเทศไทยแต่ละปีจะปริมาณกากมันประมาณ 4-5 ล้านตัน/ปี ซึ่งเพียงพอต่อการใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ในบ้านเรา การใช้ประโยชน์ของกากมันสำปะหลังโดยย่อยแป้งที่อยู่ภายในเซลล์ด้วยเอนไซม์ ให้เป็นโมโนแซคคาไรด์ ไดแซคคาไรด์ หรือโอลิโกแซคคาไรด์ถือได้ว่าเป็นวิธีใช้ประโยชน์ที่มีประสิทธิภาพ ลักษณะทางจลศาสตร์(อุทัยและคณะ, 2547) ของการย่อยด้วยเอนไซม์จึงเป็นเรื่องที่ต้องศึกษาเพื่อเก็บเป็นพารามิเตอร์สำหรับศึกษาความเป็นไปได้ของการย่อยทางการค้า ซึ่งการเลี้ยงสัตว์ในปัจจุบันกำลังเผชิญกับปัญหาวัตถุดิบอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์ที่ราคาสูงมากส่งผลให้ต้นทุนการเลี้ยงสัตว์สูงขึ้นไปอีก ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยจากภายนอกประเทศก็มีอิทธิพลต่อราคาวัตถุดิบในบ้านเราไม่ใช่น้อย เช่นข้าวโพดในประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ถูกนำไปใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิง เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนสำหรับรถยนต์ ทำให้ราคาข้าวโพดในตลาดโลกพุ่งสูงขึ้นมาก และยังมีผลกระทบต่อภาวะตลาดข้าวโพดในบ้านเรา รวมทั้งยังส่งผลกระทบไปยังวัตถุดิบตัวอื่นๆ เช่น กากถั่วเหลือง รวมไปถึงมันสำปะหลังด้วย ดังนั้นการมองหาวัตถุดิบใหม่ๆ ที่เป็นอีกทางเลือกเพื่อนำมาใช้ในการลดปัญหาทางด้านต้นทุนจึงมีความจำเป็นอย่างมาก ซึ่งในบางกรณีเราจำเป็นที่จะต้องดิ้นรนหาวัตถุดิบที่ในตลาดยังไม่ได้รับความนิยมมาใช้เป็นอาหารสัตว์ปกติ

กากมันสำปะหลังเป็นผลพลอยได้จากการผลิตแป้งมันสำปะหลังซึ่งมีปริมาณมากและถูกนำไปขายเพื่อทำอาหารสัตว์ในราคาถูก ซึ่งคิดเป็น 6-8 เปอร์เซ็นต์ ของมันสำปะหลังสดที่นำมาผลิตเป็นแป้งมันสำปะหลังประมาณ 1.6 ล้านตันต่อปี เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหรรมผลิตน้ำตาล อุตสาหกรรมผลิตกระดาษ อุตสาหกรรมสิ่งทอ และอุตสาหกรรมผลิตแอลกอฮอล์ เป็นต้น

แหล่งที่มาของกากมันสำปะหลัง

กากมันสำปะหลังประกอบไปด้วยคาร์โบไฮเดรตเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งนั่นก็คือแป้งที่หลงเหลือจากการสกัดเอาแป้งมันสำปะหลังออก ซึ่งความแปรปรวนมีมากพอสมควรขึ้นอยู่กับโรงงานที่สกัดแป้งว่ามีความทันสมัยมากน้อยขนาดไหน ถ้าโรงงานที่สกัดเอาแป้งออกเป็นโรงงานที่มีเครื่องจักรที่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ทันสมัย ปริมาณแป้งที่เหลือก็จะน้อย ในทางกลับกันถ้าโรงงานที่สกัดเอาแป้งเป็นโรงงานที่ไม่ค่อยทันสมัยปริมาณแป้งในกากมันสำปะหลังก็จะเหลืออยู่มาก ซึ่งในปัจจุบันการผลิตแป้งมันสำปะหลังนั้น มีอัตราส่วนที่หัวมันสด 4.4 กิโลกรัม สามารถผลิตแป้งมันสำปะหลังได้ 1 กิโลกรัม กรรมวิธีการผลิตแป้งมันสำปะหลังมีอยู่ 2 แบบด้วยกัน คือ แบบใหม่และแบบเก่ากรรมวิธีแบบเก่าจะพบในโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังขนาดเล็ก กรรมวิธีนี้จะทำการแยกแป้งออกจาก หัวมันสดด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยน้ำ ทำให้ได้แป้งที่มีคุณภาพไม่ดีนัก เรียกแป้งที่ผลิตตามกรรมวิธีนี้ว่า "tapioca flour" ส่วนกรรมวิธีการผลิตแบบใหม่นั้นจะพบได้ตามโรงงานขนาดใหญ่ และขนาดกลาง โดยใช้ระบบแรงเหวี่ยง ที่ใช้เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ทันสมัย มีการโม่ด้วยลูกโม่ และแยกกากโดยเครื่องดีแคนเตอร์ (ภาพที่ 2) เสร็จแล้วแยกน้ำแป้งด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงและอบแห้งด้วยเตาน้ำมันได้แป้งบริสุทธิ์คุณภาพดี และใช้เวลาในการผลิตน้อย แป้งที่ได้เรียกว่า "tapioca starch" หรือ "raw starch" หรือ "native starch" เป็นแป้งที่ได้จากหัวมันสดด้วยขบวนการแยกกากโปรตีน ฯลฯ (เจริญศักดิ์ ,2532) ปัจจุบันมีโรงงานประมาณ 85 โรงงาน แต่ทำการผลิตจริงเพียง 49 โรงงาน กำลังการผลิตรวมทั้งสิ้น 2 - 2.5 ล้านตันต่อปี ผลผลิตเฉลี่ยทั้งอุตสาหกรรม (ผลิตได้จริง) ประมาณ 1.76 ล้านตันต่อปี โดยมีกรรมวิธีการผลิตดังนี้ คือ การเตรียมวัตถุดิบโดยหัวมันสำปะหลังจะถูกลำเลียงผ่านระบบสายพานไปสู่เครื่องร่อนดินทราย (sand removal dram) เพื่อแยกดินทรายและเศษเปลือกหรือรากไม้ที่ปนออกมาจากหัวมันสำปะหลัง จากนั้นหัวมันจะถูกล้าง (root washer) โดยผ่านเครื่องล้างหัวมันและถูกลำเลียงด้วยสายพานเพื่อป้อนเข้าสู่เครื่องสับหัวมัน หัวมันที่มีขนาดเล็กลงจะผ่านลงท่อลงสู่เครื่องโม่ มีลักษณะเป็นลูกกลิ้งที่มีใบมีดขนาดเล็กจำนวนมาก ในระหว่างโม่มีการเติมน้ำเพื่อให้การโม่ทำได้สะดวกขึ้น โดยมากน้ำที่ใช้เป็นน้ำหมุนเวียนเพื่อประหยัดน้ำและลดการสูญเสียแป้งไปกับน้ำทิ้ง ของเหลวข้นจากเครื่องโม่จะถูกปั๊มเข้าสู่เครื่องดีแคนเตอร์เพื่อแยกน้ำทิ้งที่มีโปรตีนและไขมันออกจากเนื้อแป้ง โดยอาศัยหลักของแรงหนีศูนย์กลาง ส่วนแป้ง เส้นใย และกากจะถูกเหวี่ยงแยกออกเป็นน้ำแป้งความเข้มข้นสูง ซึ่งบางโรงงานอาจไม่ใช้เครื่องนี้ดังนั้นน้ำแป้งที่ได้จากเครื่องโม่จะเข้าหน่วยสกัดแป้งเลย น้ำแป้งจากเครื่องดีแคนเตอร์ (หรือเครื่องโม่สำหรับโรงงานที่ไม่ใช้เครื่องดีแคนเตอร์) จะถูกปั๊มเข้าสู่เครื่องสกัดแป้งเพื่อแยกน้ำแป้งออกจากกากและเส้นใย โดยน้ำแป้งจะผ่านเข้าสู่ชุดสกัดหยาบก่อนเพื่อแยกกากหยาบออก เพื่อแยกเอากากมันสำปะหลังออกจากน้ำแป้ง แล้วจึงเข้าสู่ชุดสกัดละเอียด โดยอาศัยแรงเหวี่ยงในการสกัดทำให้กากและเส้นใยติดอยู่บนแผ่นกรองจากนั้นจะถูกใบมีดของเครื่องปาดเข้าสู่เครื่องอัดกากมันเพื่อรีดน้ำออก เพื่อเป็นอาหารสัตว์ต่อไป

สำหรับน้ำแป้งที่มีขนาดเล็กกว่าเส้นใยและกาก ผ่านแผ่นกรองไปรวมกันด้านล่างและถูกทำให้บริสุทธิ์ขึ้น โดยผ่านผ้ากรองที่มีขนาดเล็กลงของเครื่องสกัดละเอียดที่มีเป็นชุดๆ จากนั้นน้ำแป้งจะถูกทำให้บริสุทธิ์และเข้มข้นขึ้นโดยเครื่องแยกแป้ง สารคอลลอยด์จะถูกแยกออกจากน้ำแป้ง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในขณะเดียวกันจะใช้น้ำสะอาดป้อนเข้าไปแทนสิ่งเจือปนในน้ำแป้ง สิ่งเจือปนในน้ำแป้งจะถูกแยกเหวี่ยงและไหลขึ้นด้านบนของเครื่อง น้ำแป้งที่เข้มข้นกว่าจะไหลออกด้านล่าง ในโรงงานมักใช้เครื่องแยกแป้ง 2 ชุด เพื่อให้ได้น้ำแป้งที่มีความเข้มข้นสูง ส่วนน้ำทิ้งที่ได้จากเครื่องนี้จะถูกหมุนเวียนนำไปใช้ประโยชน์ใหม่ซึ่งแตกต่างกันไปในแต่ละโรงงาน น้ำแป้งจะถูกลดความชื้นด้วยเครื่องสลัดแห้งซึ่งเป็นเครื่องเหวี่ยงแยกน้ำออกจากน้ำแป้งเข้มข้น ได้เป็นแป้งหมาดที่มีความชื้นประมาณ 35-40 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นแป้งหมาดจะถูกเป่าด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 180-200 องศาเซลเซียส ในหน่วยอบแป้ง แล้วตกลงมาเข้าสู่ไซโคลนร้อน ทำให้แป้งมีความชื้นลดลงตามต้องการ แล้วถูกดูดเข้าสู่เครื่องไซโคลนเย็นอีกชุดหนึ่ง แล้วผ่านเข้าเครื่องร่อนแป้งได้เป็นแป้งละเอียดเพื่อนำไปบรรจุถุงต่อไป (กล้าณรงค์, 2542)

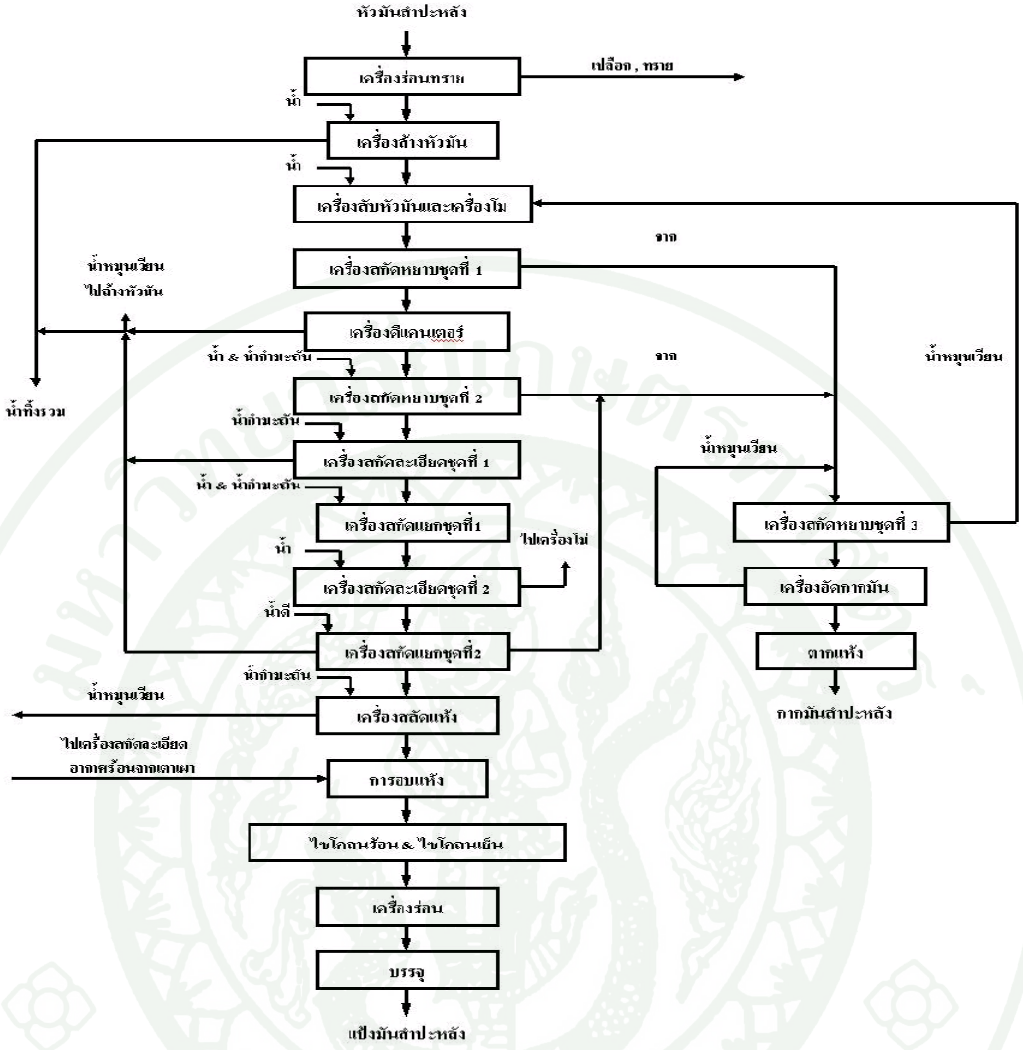
จากกระบวนการผลิตดังกล่าวจะทำให้เกิดผลพลอยได้ในขั้นตอนต่างๆขึ้น ดังนี้ (พีรพจน์และคณะ, 2546)

1. เปลือกดิน (tail and stalk) เป็นผลพลอยได้ที่เกิดในขั้นตอนนำหัวมันสดเข้าสู่เครื่องร่อนทรายออก ประกอบไปด้วย ส่วนของดิน เปลือกผิวนอก หัวมันที่หัก เศษมันที่มีขนาดเล็ก และส่วนเง้าหรือขั้วของมัน ซึ่งเป็นส่วนที่มีความแข็งที่ถูกตัดโดยอาศัยแรงงานคน

2. เปลือกล้าง (cassava peel) เป็นส่วนที่ได้มาจากขั้นตอนนำหัวมันเข้าเครื่องล้าง ที่ทำหน้าที่ในการปอกเปลือกมัน โดยจะมีส่วนที่เป็นเนื้อมันติดมาบ้างในปริมาณไม่มากมีความสะอาดพอสมควร เพราะมีดินปนอยู่ค่อนข้างน้อย

3. กากมันสำปะหลัง (cassava pulp) เกิดขึ้นในขั้นตอนที่หัวมันมีการล้างและปอกเปลือกแล้ว ผ่านเข้าสู่เครื่องโม่ละเอียด ส่งต่อเข้าสู่เครื่องแยกกากออกจากน้ำแป้ง กากของหัวมันที่ได้สามารถนำไปเป็นอาหารสัตว์ได้เลย หรือส่งไปยังลานตากแห้ง เพื่อขายต่อเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 2 กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังของโรงานที่ใช้เครื่องดีแคนเตอร์

ที่มา: กล้าณรงค์ (2542)

คุณลักษณะทางกายภาพของกากมันสำปะหลัง

กากมันสำปะหลังสดที่ผ่านเครื่องอัดกากแล้วจะมีความชื้นอยู่ประมาณ 70-80 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นจะนำมาตากแดดประมาณ 2 วัน กากมันสำปะหลังที่ตากแห้งจะมีลักษณะฟ่าม เบา เป็นฝุ่น มีความหนาแน่นต่ำ และมีความน่ากินต่ำ ผู้ที่เลี้ยงสุกร อาจใช้กากมันสำปะหลังสดผสมกับอาหารข้นหรือหัวอาหาร ให้เป็นอาหารที่มีลักษณะกึ่งเปียก แล้วให้สุกรกินได้ แต่ไม่ควรใช้ทดแทนวัตถุดิบอาหารพลังงานทั้งหมดเพราะจะทำให้อาหารมีระดับเยื่อใยสูงไป ทำให้การเติบโตของสุกรช้าลง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กากมันสำปะหลังสดสามารถใช้ผสมกับหญ้าหรือพืชสดต่างๆ เป็นแหล่งแป้งเพื่อทำหญ้าหมัก (silage) กากมันสำปะหลังสดมีจุลินทรีย์ ชนิดต่างๆ ที่ช่วยเสริมการหมักทำให้ระยะเวลาในการทำพืชหมักสั้นลง และพืชหมักมีกลิ่นหอมชวนให้สัตว์กินอาหารได้มาก นอกจากนี้กากมันสำปะหลังสดหลังจากนำมาหมักแบบไร้อากาศ (ensilaging) จะได้กากมันสำปะหลังหมักที่มีปริมาณจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ในกากมันสดเพิ่มมากขึ้น และสามารถใช้เป็นสารเสริมชีวนะในสูตรอาหารสัตว์ ทดแทนการใช้สารปฏิชีวนะในสูตรอาหารสัตว์ได้เป็นอย่างดี สาโรช (2547) แนะนำว่า การใช้มันสำปะหลังที่ระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ ควรเสริมด้วยไขมัน 2.5-5.0 เปอร์เซ็นต์ หรือกากน้ำตาล 5-8 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร เพื่อลดความเป็นฝุ่น หรือเลี้ยงในรูปของอาหารอัดเม็ด

คุณลักษณะทางเคมีของกากมันสำปะหลัง

คุณลักษณะทางเคมีของกากมันสำปะหลังจะมีความผันแปรมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ คุณภาพของหัวมันสำปะหลัง ซึ่งเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการนำมาแปรรูปในอุตสาหกรรมการผลิตแป้ง ได้แก่ สายพันธุ์ของมันสำปะหลังซึ่งในปัจจุบันสายพันธุ์ของมันสำปะหลังได้ถูกปรับปรุงให้ได้ผลผลิตสูง เปอร์เซ็นต์แป้งสูงโดยวิธีการผสมแบบปกติ อายุการเก็บเกี่ยวสามารถยืดหยุ่นอายุการเก็บเกี่ยวได้ตั้งแต่ 8 เดือนขึ้นไป ความอุดมสมบูรณ์ของดินมันสำปะหลังเป็นพืชหัว ผลผลิตที่ใช้ประโยชน์คือรากที่มีการสะสมอาหารจำพวกแป้งจนขยายใหญ่ขึ้นเป็นหัวอยู่ในดิน การเลือกพื้นที่ควรเลือกที่ดอน ดินเป็นดินร่วนปนทราย ถ้าเป็นดินเหนียวต้องมีการระบายน้ำดี น้ำไม่ท่วมขัง และสภาวะการเพาะปลูก ซึ่งรวมไปถึง ช่วงเวลาของการเพาะปลูก ปริมาณน้ำฝน และกรรมวิธีการสกัดแป้งซึ่งผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลังได้มีการรายงานไว้ดังนี้ คุณค่าทางโภชนะของกากมันสำปะหลัง พบว่า สัดส่วนของแป้งที่เหลือจากการสกัดเอาแป้งออกในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ยังคงมีในปริมาณสูง อยู่ในช่วง 50-68.89 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนแหล่งพลังงานอื่น ๆ ในการประกอบสูตรอาหารสัตว์ได้ อีกทั้งลักษณะแป้งที่พบในมันสำปะหลังเป็นแป้งอ่อน ซึ่งคุณสมบัติของแป้งอ่อนที่สำคัญ คือ ความสามารถในการดูดซับน้ำไว้ในโมเลกุลได้รวดเร็วทำให้เอนไซม์อะไมเลสในทางเดินอาหารย่อยแป้งได้รวดเร็ว และสัดส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพคตินที่เป็นองค์ประกอบในแป้งมันสำปะหลังจะมีอะไมโลเพคตินมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่องค์ประกอบของแป้งชนิดอะไมโลส มีเพียง 16-18 เปอร์เซ็นต์ สัดส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพคตินอาจแตกต่างกันขึ้นอยู่กับ สายพันธุ์ และช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวดังตารางที่ 4 ปริมาณของอะไมโลเพคตินที่สูงทำให้แป้งมันสำปะหลังย่อยได้สูงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพด โดยมีค่าเท่ากับ 95 เปอร์เซ็นต์ และ 96 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Yutste *et al,*

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1991) แต่พบว่าในไก่เล็กย่อยแป้งของมันสำปะหลังได้ช้า ซึ่งย่อยได้ 91 เปอร์เซ็นต์ เมื่ออาหารถึงส่วนลำไส้เล็กส่วนต้น และเกิดการหมักบูดได้มากกว่าแป้งของธัญพืช (สาโรช, 2547)

ตารางที่ 4 ปริมาณอะไมโลส และอะไมโลเพคตินของแป้งที่สกัดจากมันสำปะหลัง 4 พันธุ์ ที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวต่างกัน

พันธุ์	ปริมาณอะไมโลส (เปอร์เซ็นต์)			
	6 เดือน	10 เดือน	14 เดือน	16 เดือน
ระยอง 1	24.1	23.5	20.6	20.6
ระยอง 1	22.5	20.5	20.7	20.8
ระยอง 1	23.1	21.3	22.3	22.5
เกษตรศาสตร์	21.4	21.5	19.5	19.6

ที่มา: กล้าณรงค์ และเกื้อกูล (2546)

จากการศึกษาองค์ประกอบทางโภชนะของตัวอย่างกากมันสำปะหลังจากภาคต่างๆ ของประเทศไทย ได้แก่เขตภาคตะวันออก จำนวน 2 โรงงาน และเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือจำนวน 3 โรงงาน พบว่ากากมันสำปะหลังมีความแปรปรวนทางด้านองค์ประกอบทางเคมี, ลักษณะทางกายภาพ และชีวภาพ ค่อนข้างสูง ดังแสดงในตาราง 5

กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่มีการอัดตัวของวัตถุดิบต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับมันสำปะหลังบด ซึ่งพบว่ากากมันสำปะหลังมีค่าความหนาแน่นประมาณ 450-480 กรัมต่อลิตร (เสกสมและคณะ, 2550) จึงทำให้อาหารที่มีกากมันสำปะหลังเป็นองค์ประกอบมีความหนาแน่นต่ำลง ตลอดจนสายพันธุ์ กรรมวิธีการผลิตของโรงงานที่มีการเลือกใช้สายพันธุ์มันสำปะหลังที่แตกต่างกัน บางโรงงานมีการสกัดแป้งออกเป็นแป้งหยาบก่อน และแป้งละเอียด ตามลำดับทำให้เปอร์เซ็นต์แป้งและโภชนะสลายไปสูง รวมทั้งสภาพดินในแต่ละภาคย่อมมีผลต่อปริมาณเยื่อใยที่พบในหัวมันสำปะหลัง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างกากมันสำปะหลัง จากการสุ่มตัวอย่างจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังในเขตภาคตะวันออก จำนวน 2 โรงงาน และเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จำนวน 3 โรงงาน

รายการ	A	B	C	D	E
องค์ประกอบทางเคมี (เปอร์เซ็นต์)					
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)	4002.96	3510.56	4012.43	3564.00	4173.62
ลักษณะทางกายภาพ					
ความหนาแน่น (g/L)	402	420	320	350	331
ทราย (เปอร์เซ็นต์)	2.75	2.78	2.01	2.85	0.42
ลักษณะทางชีวภาพ					
การย่อยได้ของไขมัน	73.41	83.02	79.92	75.91	70.16
การย่อยได้ของโปรตีน	74.82	68.91	59.49	65.98	61.81
ME, kcal/kg	2415.70	2526.49	2558.00	2530.42	2276.10

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

ที่มา: วริยา (2552)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จิรวรรณ (2540) ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลังที่อบแห้ง พบว่า มีปริมาณแป้ง 59.77 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจน 0.29 เปอร์เซ็นต์ ความชื้น 9.25 เปอร์เซ็นต์ เหล็ก 155 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แมงกานีส 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แมกนีเซียม 1,100.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และทองแดง 4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และสังกะสี 21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ เท่ากับ 3027 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม

Nitipot and Sommart (2003) ได้รายงานองค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลัง โดยค่าของโปรตีนรวม 1.64 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 1.79 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใยที่ไม่ละลายในดีเทอเจนที่เป็นกลาง (NDF) 25.65 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใยที่ไม่ละลายในดีเทอเจนที่เป็นกรด (ADF) 17.79 เปอร์เซ็นต์

Sriroth *et al.* (2000) รายงานว่าองค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลัง คือ โปรตีนรวม มีค่าเท่ากับ 1.55 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใยหยาบ 27.75 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 0.12 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 1.70 เปอร์เซ็นต์ และแป้ง 68.89 เปอร์เซ็นต์

Preston (2002) รายงานองค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลังมีค่า โปรตีน 2 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใย 5.0 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 0.8 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใยที่ไม่ละลายในดีเทอเจนที่เป็นกลาง (NDF) 34 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใยที่ไม่ละลายในดีเทอเจนที่เป็นกรด (ADF) 8.0 เปอร์เซ็นต์ พลังงานของโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (total digestible nutrient, TDN) 83 เปอร์เซ็นต์

ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบกับวัตถุดิบแหล่งพลังงานชนิดอื่น ๆ คือ ข้าวโพด กากถั่วเหลือง และรำข้าว พบว่า กากมันสำปะหลังมีเปอร์เซ็นต์โปรตีน และไขมันต่ำกว่าข้าวโพด กากถั่วเหลือง และรำข้าว แต่พบว่าวัตถุแห้งมีค่าใกล้เคียงกับข้าวโพด กากถั่วเหลือง และรำข้าว เมื่อดูค่าเยื่อใย ซึ่งเยื่อใยที่ไม่ละลายในดีเทอเจนที่เป็นกลาง (NDF) เยื่อใยที่ไม่ละลายในดีเทอเจนที่เป็นกรด (ADF) และ ADL พบว่ามีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพด และกากถั่วเหลือง แต่มีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับรำข้าว ดังแสดงดังตารางที่ 6

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลังกับวัตถุดิบแหล่ง พลังงาน ชนิดอื่น ๆ

องค์ประกอบทางเคมี (เปอร์เซ็นต์)	วัตถุดิบ			
	กากมันสำปะหลัง	ข้าวโพด	กากถั่วเหลือง	รำข้าว
วัตถุแห้ง	92.6	92.5	92.1	93.0
โปรตีน	2.6	8.8	48.5	12.1
ไขมัน	0.2	4.7	0.9	19.2
เถ้า	3.8	2.5	6.6	13.9
เยื่อใย	6.6	2.7	5.9	14.6
NDF	37.6	9.7	15.3	30.7
ADF	9.8	3.5	9.1	21.7
ADL	3.9	1.3	1.3	9.6

หมายเหตุ NDF = เยื่อใยที่ไม่ละลายในดีเทอเจนที่เป็นกลาง
ADF = เยื่อใยที่ไม่ละลายในดีเทอเจนที่เป็นกรด
ADL = ลิกนินที่ไม่ละลายในดีเทอเจนที่เป็นกรด

ที่มา: ดัดแปลงจาก Wisitiporn *et al.* (2006)

ผลของการใช้มันสำปะหลัง และกากมันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์

เนื่องจากมันสำปะหลัง และกากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่มีระดับโปรตีนและกรดอะมิโนต่ำ ซึ่งโภชนะดังกล่าวเป็นโภชนะที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสัตว์ ในการทำสูตรอาหารสัตว์ที่ใช้มันสำปะหลังจะต้องมีการใช้วัตถุดิบที่มีโปรตีนสูง เช่น กากถั่วเหลืองเป็นต้น ในปริมาณที่สูงมากขึ้นกว่าสูตรอาหารที่ใช้ ปลายข้าวหรือข้าวโพด เพื่อปรับระดับโปรตีนและ กรดอะมิโนให้อยู่ในสภาวะสมดุลเหมาะกับความต้องการสัตว์ และในมันสำปะหลังยังจำเป็นที่ต้องมีการปรับปรุงแก้ไขลักษณะทางกายภาพของอาหาร เนื่องจากอาหารมันสำปะหลังมีความหนาแน่นและความน่ากินต่ำ สุกรอาจได้รับโภชนะในอาหารไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตตามปกติ เพราะในมัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สำปะหลังเมื่อผ่านการตากแห้งจะมีลักษณะที่ฟ่าม และเมื่อบดให้ละเอียดพบว่ามีลักษณะเป็นฝุ่นฟุ้ง ซึ่งจะก่อให้เกิดความระคายต่อระบบทางเดินหายใจของสัตว์ทำให้สัตว์กินได้น้อยลง เพราะฉะนั้น อาหารที่มีการใช้มันสำปะหลัง หรือกากมันสำปะหลังควรจะมีการอัดเม็ดลดการเป็นฝุ่นของอาหาร ไม่ให้ฟุ้งกระจายไป การเก็บอาหารใช้พื้นที่น้อยลงเนื่องจากมีความหนาแน่นของเนื้อวัตถุสูง นอกจากนี้ ยังทำให้อาหารมีคุณค่าสูงขึ้น ความร้อนที่เกิดขึ้นในขณะที่อัดผ่านรูตะแกรงจะทำให้แป้งบางส่วนสุกหรือเปลี่ยนโครงสร้างทำให้เอนไซม์ของสัตว์ทำการย่อยได้ง่ายขึ้น หรือจุลินทรีย์ทำงานได้มากกว่า แรงอัดทำให้ผนังเซลล์ของพืชแตกทำให้ย่อยได้ง่ายขึ้น เพิ่มการใช้ประโยชน์ของส่วนที่เป็นเยื่อใยมากขึ้น

Balogun *et. al.*(1997) ได้ทำการศึกษาการเจริญเติบโตของสุกรโดยใช้กากมันสำปะหลังซึ่งในการทดลองแรกใช้สุกร 40 ตัว โดยมีน้ำหนักเฉลี่ย 9.35 กิโลกรัม มีระดับ 0, 7.50, 15.0, 22.50 และ 30เปอร์เซ็นต์ของเปลือกมันสำปะหลังรวมอยู่ในอาหารที่ค่าไนโตรเจนเท่ากันสรุปว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในสมรรถภาพการเจริญเติบโตระหว่างสิ่งทดลอง ($P > 0.05$) ในการทดลองที่สอง ใช้สุกรที่อยู่ในคอก 32 ตัว น้ำหนักตัวเฉลี่ย 35.17 กิโลกรัม โดยให้กินอาหารที่มีปริมาณไนโตรเจนเท่ากัน (16 เปอร์เซ็นต์ CP) และ พลังงานเท่ากัน (15.02 MJ/kg ME) ซึ่งมีกากมันสำปะหลังรวมอยู่ที่ระดับ 0, 19, 38 และ 57 เปอร์เซ็นต์ ผลที่ได้แตกต่างอย่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ของอัตราการเฉลี่ยเติบโตต่อวัน และอาหารที่สัตว์ได้รับในแต่ละวัน ระหว่างกลุ่มทดลอง น้ำหนักซากแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) เช่นเดียวกัน การใช้กากมันสำปะหลังแทนข้าวโพดบางส่วนในอาหารสุกรอนุบาลดูเหมือนว่าจะมีประสิทธิภาพ เป็นที่ยอมรับในการศึกษาว่าการรวมกันจนถึงระดับ 57 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อสุกร

Jimenez *et. al.* (2004) ได้ทำการศึกษาถึงการใช้มันสำปะหลัง ผสมกับใบมันสำปะหลังในสูตรอาหารของสุกรทดลองจำนวน 40 ตัว น้ำหนักเริ่มต้นที่ 54 กิโลกรัม โดยมันสำปะหลังจะใช้ในระดับ 0 ,20 และ 40 เปอร์เซ็นต์ และใบมันสำปะหลังจะใช้ในระดับคงที่ 10 เปอร์เซ็นต์ จากศึกษาพบว่า อัตราการเจริญเติบโต และคุณภาพซากของสุกรทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับอาหารสูตรปกติที่ไม่ได้มีการใช้มันสำปะหลังและใบมันสำปะหลัง

Nguyaun and Nguyaun (2003) ได้ทำการศึกษาการใช้กากมันสำปะหลังในสุกรขุนลูกผสม Large White X Mong cai โดยกากมันสำปะหลังที่ใช้ในการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ กากมันสำปะหลังที่ผ่านกระบวนการหมัก และไม่ได้ผ่านกระบวนการหมักโดยใช้ทดแทนรำข้าว 30

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เปอร์เซ็นต์ ให้สุกรกินเป็นเวลา 75 วัน พบว่าน้ำหนักน้ำหนักของสุกรที่กินอาหารที่มีส่วนผสมของกากมันสำปะหลังมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น 32.9 กิโลกรัม มีอัตราการเจริญเติบโต 439 กรัมต่อตัวต่อวัน และมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวที่ 4.05 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับสุกรที่กินอาหารที่มีส่วนผสมของกากมันสำปะหลังที่ไม่ได้ผ่านการหมักมีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น 28.7 กิโลกรัม อัตราการเจริญเติบโต 382 กรัมต่อตัวต่อวัน และมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว 4.65 แสดงให้เห็นว่าการใช้กากมันสำปะหลังหมักเป็นอาหารสุกรจะทำให้สุกรมีอัตราการเจริญเติบโต และมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการให้อาหารสุกรด้วยกากมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านกระบวนการหมัก

วัชรพงศ์ และคณะ (2531) ได้ทำการศึกษาการใช้ใบมันสำปะหลังทดแทนกากถั่วเหลืองในอาหาร ที่มีต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของสุกรรุ่น-ขุน โดยใช้ในระดับ 0, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่า อัตราการเจริญเติบโตของสุกรทั้งในช่วงระยะรุ่นและขุนไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แสดงให้เห็นว่าสุกรสามารถใช้ใบมันสำปะหลังได้สูงถึง 20 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร แต่จะเริ่มมีผลกระทบในการเจริญเติบโต จึงแนะนำในระดับที่ 15 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารจะเป็นระดับที่เหมาะสม ทำให้อัตราการเจริญเติบโตสูงสุด

สาธิตและคณะ (2546) ได้ทำการศึกษาสุกรระยะรุ่น-ขุน ที่กินอาหารสูตรมันสำปะหลังทั้งมันเส้นและมันอัดเม็ด พบว่ามีการตอบสนองต่อระดับภูมิคุ้มกันโรคอหิวาต์สุกรสูงว่าสุกรที่กินอาหารสูตรข้าวโพด

กานดา และคณะ (2546) ได้ทำการศึกษาสุกรระยะรุ่น ที่กินอาหารสูตรมันสำปะหลังโดยเปรียบเทียบกับอาหารสูตรข้าวโพดมีผลทำให้ประชากรจุลินทรีย์และค่าความเป็นกรด-ด่างที่ปลายลำไส้เล็กของสัตว์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยพบว่าสุกรที่กินอาหารสูตรมันสำปะหลังมีประชากรจุลินทรีย์กลุ่มแลคโตบาซิลัสและยีสต์มากกว่า แต่มีสภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH) และมีประชากรจุลินทรีย์กลุ่ม E.coli ที่ปลายลำไส้เล็กน้อยกว่าสุกรที่กินอาหารสูตรข้าวโพด ($P < 0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสภาพในทางเดินอาหารดังกล่าวมีผลทำให้สุกรที่กินสูตรอาหารมันสำปะหลังมีสุขภาพและความต้านทานโรคดีกว่าสุกรที่กินอาหารสูตรข้าวโพด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อนุชา และคณะ (2543) ได้ทำการศึกษาการใช้มันสำปะหลังทดแทนข้าวโพดในอาหารสุกรระยะรุ่น-ขุน ที่ระดับ 0, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยพบว่าไม่มีผลเสียต่อสมรรถภาพการผลิตสัตว์ และมีอัตราการเจริญเติบโตไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) จากสูตรที่ใช้ข้าวโพด

สุกัญญา (2546) โดยศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ในสุกรระยะ รุ่น – ขุน ต่อการย่อยและการใช้ประโยชน์ได้ของสุกร รุ่น – ขุน พบว่าการย่อยได้ของสุกรกลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลังระดับ 0 เปอร์เซ็นต์ มีค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งสูงกว่าสุกรที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าเท่ากับ 85.54, 81.75, 82.19 และ 83.97 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และการย่อยได้ของโปรตีนมีค่าเท่ากับ 86.34, 82.25, 83.03 และ 84.18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่สุกรกลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลังระดับ 0 เปอร์เซ็นต์มีการย่อยได้ของไขมันและเยื่อใยต่ำกว่าสุกรกลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลังระดับ 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามการย่อยได้ของพลังงาน การเก็บกักโปรตีน และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระหว่างกลุ่มการทดลองทั้ง 4 กลุ่ม และจากการศึกษาสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซาก ได้แก่ อัตราการเจริญเติบโต ปริมาณอาหารที่กิน ประสิทธิการใช้อาหาร เปอร์เซ็นต์ซากอุ่น ความหนาไขมันสันหลัง ความยาวซาก และพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันทั้ง 4 กลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำหนักอวัยวะภายในส่วนลำไส้ใหญ่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น ($P<0.05$) อีกด้วย

เอกรินทร์ (2550) ได้ทำการศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังผสมกับกากตะกอนเบียร์ทดแทนปลายข้าว ต่อประสิทธิภาพการผลิตของสุกรลูกผสม (เพียเทรน x ลาร์จไวท์ x แลนด์เรซ) เพศเมียจำนวน 48 ตัว โดยสูตรอาหารทดลองมี 4 สูตร (กากมันสำปะหลังผสมกากตะกอนเบียร์ทดแทนปลายข้าวในระดับ 0 50 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์) ผลการทดลองพบว่า อัตราการเจริญเติบโต ปริมาณการกินอาหาร ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ความหนาไขมันสันหลัง ความลึกเนื้อสัน พื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน เปอร์เซ็นต์เนื้อแดง และต้นทุนค่าอาหารไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

พรทิมล (2551) ได้ทำการศึกษาการใช้กากมันสำปะหลังในระดับ 20, 30, 40, เปอร์เซ็นต์ในอาหารสุกรในช่วงระยะเล็ก รุ่น และขุน พบว่าปริมาณการกินอาหารต่อวัน อัตราการเจริญเติบโต อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว และคุณภาพซากสุกร แตกต่างกับกลุ่มที่ไม่ใช้กากมันสำปะหลัง อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นารีรัตน์ (2552) พบว่าการเสริมกากมันสำปะหลังที่ระดับ 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ สุกรมีปริมาณการกินได้เฉลี่ยมีแนวโน้มลดลง (P=0.1453) คือ เท่ากับ 2,656, 2,585, 2560 และ 2460 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 ส่วนการศึกษาคุณภาพ พบว่าระดับกากมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหารส่งผลให้ความหนาไขมันสันหลังมีแนวโน้มลดลงและเปอร์เซ็นต์ เนื้อแดงมีแนวโน้มสูงขึ้น (P=0.0704 และ P=0.0606 ตามลำดับ) อย่างไรก็ตามจากการทดลอง สรุปว่ากากมันสำปะหลังสามารถใช้ได้สูงถึง 30 เปอร์เซ็นต์ในอาหารสุกรระยะเล็ก รุ่นและขุนขึ้นอยู่กับระดับเยื่อใยรวมในอาหาร

นันทวัน และคณะ (2545) ได้ทำการทดลองศึกษาเปรียบเทียบการใช้มันสำปะหลังกับข้าวโพดในอาหารไก่กระทง ทั้งที่มีการเสริม และไม่เสริมยาปฏิชีวนะ พบว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารมันสำปะหลังเสริม และไม่เสริมยาปฏิชีวนะมีอัตราการตาย 4.21 และ 5.88 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มที่ได้รับอาหารข้าวโพดเสริม และไม่เสริมยาปฏิชีวนะ มีอัตราการตาย 8.79 และ 11.28 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การใช้มันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่กระทงมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การตายของไก่กระทงมีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน

ปรีดา (2552) ได้ทำการศึกษาระดับกากมันสำปะหลังและรูปแบบอาหารต่อสมรรถภาพการผลิต และลักษณะซากของไก่เนื้อสายพันธุ์ Ross-308 ที่อายุแรกเกิด จำนวน 1800 ตัว โดยใช้แผนการทดลองแฟคเทอเรียลแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบลอก จากการทดลองไม่พบอิทธิพลร่วมของระดับกากมันสำปะหลัง และรูปแบบอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตโดยรวมและลักษณะซาก (P>0.05) ไก่เนื้อในช่วงอายุ 1- 17 วัน สามารถใช้กากมันสำปะหลังได้ที่ระดับ 5 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร และในช่วงอายุ 18-38 และ 39-45 วันสามารถใช้กากมันสำปะหลังได้ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิตโดยรวม และลักษณะซากของไก่เนื้อ (P>0.05)

จากข้อมูลที่กล่าวมาในเบื้องต้นพบว่ามันสำปะหลังสามารถใช้ทดแทนข้าวโพดในการประกอบสูตรอาหารสัตว์ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังมีลักษณะเป็นแป้งอ่อน ทำให้เอนไซม์อะไมเลส สามารถเข้าทำงานได้อย่างรวดเร็วซึ่งจะแตกต่างจากแป้งที่ได้จากข้าวโพด แต่อาหารสุกรขุนสูตรมันสำปะหลังอาจจะมีระดับไขมันที่ต่ำและจะชักนำทำให้เกิดอาการไขมันแข็ง ควรจะมีการเสริมไขมันเหลวอย่างน้อย 3 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารเพื่อปรับสภาพไขมันในร่างกาย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สัตว์ให้มีสภาพออกเหลวตรงกับความต้องการของผู้บริโภค ในส่วนของกากมันสำปะหลังจะมีระดับเยื่อใยสูงกว่ามันสำปะหลัง และข้าวโพด ฉะนั้นการนำวัตถุดิบอาหารชนิดอื่นๆ มาใช้ร่วมในสูตรอาหารสูตรกากมันสำปะหลังจะต้องเป็นชนิดที่มีระดับเยื่อใยไม่สูงมาก หรือถ้าจะใช้วัตถุดิบที่มีเยื่อใยสูงก็ไม่ควรใช้ระดับสูงมากในสูตรอาหาร ทั้งนี้เพื่อเป็นการควบคุมไม่ให้สูตรอาหารที่มีกากมันสำปะหลังมีระดับเยื่อใยสูงเกินกว่าในระดับที่สัตว์ทนทานได้

กระบวนการผลิตอาหารสัตว์ และการอัดเม็ด

กระบวนการผลิตอาหารสัตว์ในปัจจุบันส่วนใหญ่จะมีการใช้เครื่องจักรที่ทันสมัย ซึ่งทำให้การเลือกใช้วัตถุดิบในการผลิตอาหารสัตว์มีความหลากหลายมากขึ้น เพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นคุณค่าทางโภชนาการ ความน่ากิน และย่อยได้ง่ายในตัวสัตว์ เพราะฉะนั้นเพื่อจะผลิตอาหารสัตว์ให้ได้ดีตามวัตถุประสงค์ดังกล่าว จึงมีการคิดผลิตอาหารสัตว์ให้มีรูปแบบและกระบวนการต่างๆ มากมาย ยกตัวอย่างเช่น

1. อาหารผง (mash) เหมาะสำหรับอาหารสัตว์ที่เน้นการควบคุมคุณค่าทางโภชนาการให้สม่ำเสมอกันทุกๆ ส่วน ของอาหารเมื่อสัตว์กินแต่ละคำอาจจะได้รับคุณค่าทางโภชนาการที่แตกต่างกันเล็กน้อย ไม่มีการใช้ความร้อน ในการทำให้สุกหรือฆ่าเชื้อ จึงเหมาะกับสัตว์บางประเภท มีข้อดีคือค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำ รูปแบบโดยปกติเป็นวัตถุดิบที่ผ่านการบดมาผสมกัน

2. อาหารหยาบ (rougages) เหมาะสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง ประกอบด้วยวัตถุดิบที่มีเยื่อใยสูงนำมาบดหรือสับเป็นชิ้นหยาบๆ ผสมรวมกับวัตถุดิบอื่นๆ บางครั้งก็นำไปหมักให้สัตว์กิน (Silage)

3. อาหารเม็ด (pellets) เป็นการนำเอาอาหารผงไปทำการอัดเป็นเม็ดขนาดต่างๆ ตามความต้องการ จึงทำให้ควบคุมคุณค่าทางโภชนาการให้สม่ำเสมอกันทุกๆ เม็ดได้ ในการผลิตอาหารเม็ดจะมีค่าใช้จ่ายการผลิตสูงกว่าอาหารผง จึงต้องมีการพิจารณาถึงความจำเป็นในการใช้กับสัตว์แต่ละชนิด ซึ่งรูปแบบของการอัดเม็ดจะเป็นรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 1.5 มิลลิเมตร ถึง 10.0 มิลลิเมตร

ดังนั้น ก่อนที่จะผสมอาหารสัตว์จะต้องมีการทำให้วัตถุดิบอยู่ในสภาพที่พร้อมจะให้สัตว์กินได้ โดยวัตถุดิบจำพวกธัญพืชต่างๆ เช่น ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ข้าวเปลือก หรือข้าวสาลี ตลอดจนกากต่างๆ ที่มีการนำมาใช้ในการผลิตอาหารสัตว์เพื่อเป็นการลดต้นทุน เช่น กากมันสำปะหลัง กากเบียร์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กากเนื้อในปาล์ม หรือกากถั่วเขียว เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่อาจจะมีลักษณะเป็นก้อนทั้งใหญ่และเล็กหรืออนุภาคไม่เท่ากัน เพื่อให้สะดวกต่อการผสมให้เข้ากัน และสัตว์กินได้ง่ายและย่อยได้สูง การลดขนาด (Size reduction) (พันทิพา, 2539) ของวัตถุดิบอาหารสัตว์จึงมีความจำเป็นอย่างมากต่อการผลิตอาหารสัตว์ ก่อนนำไปใช้งานวัตถุดิบจะมีการแบ่งประเภท ชั่งน้ำหนัก ผสม หลังจากนั้นอาหารจะถูกนำไปผ่านกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ด ซึ่งอาหารจะผ่านห้องที่ปรับสภาพให้ได้อุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมกับการอัดเม็ด และมาทำให้เย็น แห้ง อาหารบางชนิดอาจนำมาเคลือบเม็ดอาหารด้วยไขมัน และนำมาบรรจุหีบห่อต่อไป

1. การบด (grinding)

ในกรณีที่วัตถุดิบมีขนาดไม่ตรงตามความต้องการ การบดช่วยให้อาหารผสมเข้ากันได้ง่ายขึ้นลดการเลือกกินอาหารของสัตว์ วัตถุดิบส่วนใหญ่ที่ต้องมีการบดเพิ่มได้แก่ ปลาป่น กากถั่วเหลือง รำ แป้งสาลี ใบกระถินป่น ส่วนพรีมิกซ์วิตามิน และแร่ธาตุ ปกติไม่ต้องบด ลักษณะภายนอกเป็นผงละเอียดแล้ว ซึ่งการบดวัตถุดิบอาหารสัตว์ทำให้การอัดเม็ดง่ายขึ้น และมีผลต่อคุณภาพต่อความคงทนคุณภาพเม็ดอาหารหลังการผลิต สัตว์สามารถย่อยอาหารได้ดีขึ้น (อุทัย, 2529) สอดคล้องกับ Goodband *et al.* (2002) พบว่าการบดอาหารให้มีอนุภาคเล็กลงจะเพิ่มพื้นที่ของอาหารในการสัมผัสกับเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารสัตว์ส่งผลให้สัตว์สามารถย่อยอาหรได้ดีขึ้น รวมทั้งลดพลังงานในการเคี้ยวอาหารของสัตว์ให้น้อยลง แต่การบดอาหารที่ละเอียดเกินไปอาจส่งผลให้ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตอาหารเพิ่มขึ้น แต่กำลังการผลิตอาหารลดลง รวมทั้งอาจเกิดแผลในกระเพาะอาหารสุกรระยะ รุ่น-ขุน (Hedde *et al.,* 1985) สอดคล้องกับ Wondra *et al.* (1995) รายงานว่าการบดข้าวโพดให้มีอนุภาค 400 ไมครอน ส่งผลให้เกิดแผลในกระเพาะอาหารในสุกรขุนสูงกว่าการบดข้าวโพดที่มีอนุภาคขนาด 600 ไมครอน

เครื่องบดอาหารส่วนใหญ่ใช้เป็นแบบแฮมเมอร์มิลล์ (hammer mill) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ลดขนาดของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ได้รับความนิยมใช้กันทั่วไป โดยเครื่องบดแบบนี้จะใช้บดวัตถุดิบที่มีลักษณะแห้ง และไขมันน้อย เครื่องจะทำงานโดยเมื่อผ่านวัตถุดิบผ่านมาจากด้านบน เข้าสู่ห้องบดซึ่งมีชุดตีอาหาร เป็นมอเตอร์หมุนแท่งเหล็กด้วยความเร็วสูง ซึ่งส่วนปลายด้านหนึ่งของแท่งเหล็กหลายๆ แท่งจะร้อยติดกับแกนกลาง เมื่อแกนกลางหมุนด้วยแรงฉุดของมอเตอร์ แท่งเหล็กจะกางออกและเหวี่ยงไปตีเม็ดอาหารที่ตกลงมา ซึ่งส่งผลวัตถุดิบถูกตีด้วยแรงกระแทก (Impact) จนแหลกละเอียด หรือถูกเหวี่ยงไปขัดสี (Attrition) กับผนังห้องบด หรือถูกเล็มถูกกล้อน (Shearing)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ซึ่งแรงทั้งสามแรงที่กล่าวมาจะเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน ซึ่งทำให้วัตถุดิบมีขนาดเล็ก จนสามารถผ่านตะแกรงด้านล่างออกมา (พันทิพา, 2539)

วัตถุดิบอาหารสุกรระยะอนุบาลควรมีขนาด 1.5 -2.0 มิลลิเมตร ส่วนสุกรระยะขุนควรมีขนาด 3.0-3.5 มิลลิเมตร (ณัฐชนก, 2548) แต่ในบางการทดลอง พบว่า อาหารไก่เนื้อที่มีขนาดอนุภาคข้าวโพดที่ใหญ่ขึ้น จาก 525 เป็น 897 ไมครอน ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตไก่เนื้อดีขึ้น (Nir, 1994) อาจเนื่องขนาดเม็ดอาหารที่ใหญ่ขึ้น หรือการให้ธัญพืชทั้งเมล็ดจะช่วยในการพัฒนาระบบอาหารของไก่เนื้อ และเพิ่มการขยายตัวของกระเพาะแท้เล็กน้อย ส่งผลให้อาหารอยู่ในระบบทางเดินอาหารนานขึ้น และมีการย่อยอาหารมากขึ้น สอดคล้องกับ Parson *et al.* (2006) พบว่า ไก่เนื้อที่กินอาหารที่มีขนาดอนุภาคข้าวโพดปานกลางถึงหยาบที่มีขนาด 1,042 ถึง 2,242 ไมครอน มีการขยายขนาดของกระเพาะบด ทำให้อาหารอยู่ในระบบทางเดินอาหารนานขึ้น และค่าการใช้ประโยชน์ได้ของพลังงานต่ำกว่าไก่เนื้อที่กินข้าวโพดที่มีขนาด 781 ถึง 950 ไมครอน Goodband *et al.* (2002) รายงานว่าขนาดของอนุภาคอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์ทั่วไปควรมีขนาดอนุภาคประมาณ 600 ถึง 800 ไมครอน

1.1 การบดวัตถุดิบก่อนหรือหลังผสมอาหาร (pre-grinding or post-grinding)

ในการผสมอาหารนิยมบดวัตถุดิบอาหารสัตว์ทีละชนิดก่อน และจึงนำมาชั่งเพื่อนำมาผสมกัน (Pre-grinding) แต่ในแถบยุโรปต้องการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องบดอาหารจึงนิยมชั่งวัตถุดิบอาหารสัตว์ในสภาพที่เป็นเมล็ดก่อน จากนั้นจึงนำผสมกัน แล้วจึงส่งเข้าเครื่องบดอาหาร Pfost (1976) ได้การรายงานว่า ไม่ว่าจะบดก่อนหรือหลังผสม ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องไม่ต่างกันในเชิงสถิติ ($P > 0.05$) ถึงแม้ว่าการบดหลังการผสม (Post-grinding) จะมีแนวโน้มการใช้พลังงานต่ำกว่าก็ตาม แต่การบดภายหลังการผสมอาหารน่าจะทำให้ได้สารอาหารที่ดีกว่า เพราะเนื่องจากสารอาหารจะถูกถนอมไว้อย่างดีในสภาพที่เป็นเมล็ด

2. การชั่งน้ำหนัก

วัตถุดิบแต่ละชนิดควรมีการชั่งให้ได้น้ำหนักหรือสัดส่วนตามที่ต้องการ โดยใช้เครื่องชั่งที่รับการรับรองมาตรฐาน ถ้าปริมาณวัตถุดิบที่ชั่งมีปริมาณน้อยมากอาจต้องใช้เครื่องชั่งที่สามารถชั่งได้ถึงทศนิยม 2 ตำแหน่ง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. การผสม (mixing)

การผสมวัตถุดิบเพื่อให้วัตถุดิบแต่ละชนิดผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน เพื่อทำให้อาหารอัดเม็ดที่ผลิตได้มีคุณภาพทางโภชนาการคงที่ คุณภาพสม่ำเสมอ ซึ่งการผสมอาหารปกติใช้เวลาประมาณ 10-30 นาทีขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเครื่องผสม ปริมาณของอาหารที่ทำการผสม และวัตถุดิบที่ใช้ประกอบอาหาร ซึ่งถ้าคุณภาพวัตถุดิบอาหารสัตว์ไม่คงที่ ทั้งด้านองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น ขนาดของวัตถุดิบที่บดแล้ว (particle size) รูปทรงของวัตถุดิบ (particle shape) ความฟ่ามหรือน้ำหนักจำเพาะ (specific weight) คุณสมบัติการดูดน้ำ (hygroscopicity) ความไวต่อการได้รับประจุไฟฟ้า (susceptibility to electrostatic charge) และการเกาะติดของอนุภาค เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น มีผิวขรุขระ เกิดการรวมตัวเนื่องจากมีสารเกาะติดประกอบอยู่ เช่น น้ำมัน ซึ่งในการผสมอาหารจึงเริ่มจากการใส่วัตถุดิบมากก่อน เช่น ข้าวโพด ปลายข้าว เป็นต้น แล้วตามด้วยวัตถุดิบปริมาณน้อยมาก เช่น วิตามิน และ แร่ธาตุ จากนั้นจึงเริ่มผสมวัตถุดิบที่มีลักษณะเป็นน้ำ เช่น น้ำมันปาล์ม เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้มีหลายประการ ในการผสมจึงจำเป็นต้องเรียงลำดับขั้นตอนให้ดี เพื่อจะได้ผสมเข้ากันได้ง่ายขึ้น (พันทิพา, 2539)

เครื่องผสมอาหารที่ใช้ในปัจจุบันมี 2 แบบ คือ เครื่องผสมอาหารแนวตั้ง (vertical mixer) และเครื่องผสมอาหารแนวนอน (Horizontal mixer) โดยเครื่องผสมแนวตั้งมีช่องใส่วัตถุดิบที่ต้องการผสมด้านล่าง ตรงกลางมีเกลียวสำหรับผสมและลำเลียงวัตถุดิบ เหมาะสำหรับวัตถุดิบที่มีความชื้นน้อย ไม่สามารถผสมวัตถุดิบที่เป็นของเหลวได้ สำหรับเครื่องผสมแนวนอนจัดว่าเป็นเครื่องผสมคุณภาพดี เพราะสามารถใช้ผสมอาหารที่มีลักษณะเปียก และวัตถุดิบที่เป็นของเหลวได้ มีประสิทธิภาพการผสมอาหารดีกว่าแนวตั้ง (อุทัย, 2529) ใบพัดภายในถังผสมมีลักษณะเป็นเกลียว 2 เกลียว หรือริบบิ้นคู่ มีช่องสำหรับใส่วัตถุดิบด้านบน และช่องนำวัตถุดิบออกด้านล่าง

McCoy *et al.* (1994) ได้ทำการศึกษาผลของระยะเวลาในการผสมอาหารต่อประสิทธิภาพในการผสมอาหาร นอกจากนี้ยังทำการศึกษาประสิทธิภาพในการผสมอาหารต่อประสิทธิภาพการผลิตไก่เนื้ออายุ 1 – 24 วัน พบว่า ระยะเวลาในการผสมอาหารอาหารไม่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย ปริมาณการกินเฉลี่ย ความแข็งของกระดูก และปริมาณเถ้า ปริมาณโปรตีน ไขมันในซาก ($P>0.10$) แต่ในไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มีประสิทธิภาพในการผสมที่ดีมีอัตราการเจริญเติบโตต่อปริมาณอาหรที่กินดีขึ้น 3.5 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. การคลุกไอน้ำอัดเม็ด

วัตถุประสงค์ของการคลุกไอน้ำอัดเม็ด

วัตถุดิบหลายชนิดมีลักษณะเป็นฝุ่นมาก เวลาสุกรกินอาหารดังกล่าว ฝุ่นของอาหารจะเข้าไปในจมูก ทำให้เกิดการระคายเคือง สัตว์จะกินอาหารได้น้อยลงและพยายามกินน้ำมากขึ้น อัตราการเจริญเติบโตลดน้อยลง หรือในบางครั้งวัตถุดิบอาหารที่ใช้มีลักษณะฟ่ามหรือฟูมาก มีระดับเยื่อใยสูง ทำให้สัตว์กินอาหารได้น้อยลงเช่นกัน ปัญหาเหล่านี้อาจแก้ไขด้วยวิธีการอัดเม็ดอาหาร ซึ่งมีจุดประสงค์ดังนี้คือ

1. ลดความเป็นฝุ่นและเพิ่มความหนาแน่นของอาหาร ทำให้สัตว์กินอาหารได้มากขึ้น จนได้ปริมาณสารอาหารชนิดต่างๆ ครบตามความต้องการ สัตว์กินน้ำน้อยลง ทำให้การเคลื่อนที่ของอาหารในกระเพาะช้าลง อาหารสามารถถูกย่อยได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า (อุทัย, 2529)

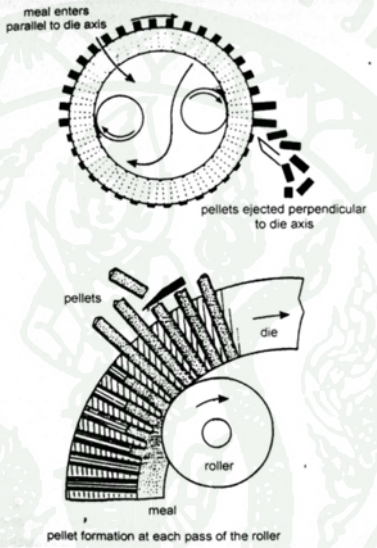
2. ลดการสูญเสียของอาหาร เนื่องจากอาหารเม็ดมีขนาดชิ้นใหญ่ ทำให้สุกรกินอาหารได้ง่ายขึ้น ไม่ต้องคุ้ยเขี่ยมาก การสูญเสียอาหารจึงน้อยลง เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหาร หรือทำให้อัตราแลกเนื้อดีขึ้นอีกทางหนึ่งด้วย

3. ทำให้อาหารสุกมากขึ้น โดยในระหว่างการอัดเม็ดอาหารมักมีการใช้ไอน้ำเข้าช่วยด้วย เพื่อทำให้การอัดเม็ดง่ายขึ้น ไอน้ำนี้ช่วยทำให้แป้งในอาหารสุกบางส่วน ทำให้การย่อยได้ของแป้งดีขึ้น นอกจากนี้ไอน้ำและความร้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการอัดเม็ดอาหาร จะช่วยทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นเชื้อโรคที่ติดมากับอาหาร เช่น เชื้อแบคทีเรีย ซาโมเนลล่า ที่ทำให้สัตว์ระยะแรกท้องเสียเป็นต้น (Smits *et. al.,*1993) การอัดเม็ดอาหารจึงเหมาะสำหรับสัตว์ระยะเล็ก เช่น ลูกสุกร ลูกไก่เล็ก เป็นอย่างมาก (อุทัย, 2529)

การคลุกไอน้ำอัดเม็ดอาหารที่ใช้ปัจจุบันเป็นเครื่องอัดเม็ดแบบ steam pelleting โดยการใช้ความร้อน ความดัน และความชื้น กับวัตถุดิบ อาหารจะถูกลำเลียงผ่านห้องผสมน้ำหรือไอน้ำ (Steam condition chamber) ซึ่งความชื้นจะเพิ่มขึ้นประมาณ 15-18 องศาเซลเซียส โดยอุณภูมิในอาหารสุกรอยู่ในช่วงประมาณ 70-90 องศาเซลเซียส อาหารไก่ และเป็ด ในช่วง 85-95 องศาเซลเซียส อาหารกุ้งกุลาดำในช่วง 80-100 องศาเซลเซียส (ณัฐชนก และคณะ, 2546) ความร้อนจากไอน้ำจะทำให้แป้งกลายเป็นเจลช่วยให้อาหารจับตัวกันดีขึ้น จากนั้นอาหารจะเคลื่อนตัวมาที่ห้อง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อัดเม็ด (Pelletier) โดยอาหารผสมจะเคลื่อนที่มายังระหว่างลูกกลิ้ง (Roller) และหน้าแว่น (Die) ซึ่งจะหมุนในทิศทางเดียวกัน อาหารจะถูกลูกกลิ้งอัดผ่านรูหน้าแว่นออกมาเป็นแท่งตามขนาดของรูที่หน้าแว่น อาหารจะถูกตัดให้มีขนาดสั้นหรือยาวขึ้นกับระยะห่างระหว่างใบมีดและหน้าแว่น ลักษณะการทำงานของหน้าแว่นและใบมีดแสดงดังภาพที่ 3 ขนาดของเม็ดอาหารส่วนใหญ่จะมีขนาดประมาณ 2.5-6 มิลลิเมตร ขึ้นกับขนาดและชนิดเม็ดของสัตว์ ความยาวของเม็ดอาหารจะมีความยาวประมาณ 1.5-2 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลาง เมื่อเม็ดอาหารออกมาภายนอกจะมีความชื้นประมาณ 10 -12 % (วีรพงศ์, 2536)



ภาพที่ 3 ลักษณะการทำงานของหน้าแว่นและใบมีด

ที่มา: วีรพงศ์ (2536)

4.1 การเกาะติดเม็ดอาหาร

การเกาะติดกันเป็นกระบวนการที่ซึ่งวัตถุดิบจะต้องถูกนำมารวมกันโดยปฏิกิริยาทางกายภาพจนไปถึงการทำปฏิกิริยาทางเคมีของวัตถุดิบ กระบวนการนี้จะสำเร็จได้โดยการเชื่อมต่อกันของผิวหน้าของวัตถุดิบโดยการหลอมวัตถุดิบเข้าด้วยกันหรือโดยการดัดแปลงใช้สิ่งอื่นที่เชื่อมพวกวัตถุดิบเข้าด้วยกัน สิ่งที่ใช้ติดเชื่อมวัตถุดิบนั้นถูกกำหนดให้เป็นวัตถุดิบชนิดหนึ่งซึ่งเมื่อนำมาใช้เป็นผิวหน้าจะสามารถเชื่อมต่อเข้าด้วยกันและต้านการแยกตัวออกจากกัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.2 ผลกระทบจากสูตรอาหาร

สูตรอาหารที่ต้นทุนต่ำถูกออกแบบให้มีปัจจัยทางโภชนาการตามที่สัตว์กลุ่มเป้าหมายต้องการ แต่อย่างไรก็ตาม ผลกระทบจากสูตรอาหารที่ใช้ในกระบวนการผลิตอาหารสัตว์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการอัดเม็ดนั้นไม่ค่อยจะได้รับการพิจารณาจากนักโภชนาการอาหารสัตว์ ซึ่งส่วนประกอบในปัจจุบันที่ใช้ในโรงงานอาหารสัตว์ได้ถูกใช้เป็นสิ่งที่ใช้ยึดให้ติดกันมานาน โดยเฉพาะการเพิ่มไขมันเข้าไปในอาหารผสมก่อนอัดเม็ดนั้นมักจะส่งผลในการลดคุณภาพของเม็ดอาหารลง แต่อย่างไรก็ตาม การเพิ่มวัตถุดิบจำพวกแป้งสาลีเข้าไปจะเป็นการเพิ่มคุณภาพของเม็ดอาหาร

Fahrenholz (1989) ได้มีการศึกษาการเพิ่มความทนทานของเม็ดอาหารของอาหารสุกรและระดับของผลิตภัณฑ์จากข้าวสาลีที่มีคุณภาพจาก 0 ถึง 45 เปอร์เซ็นต์ พร้อมทั้งยังได้รายงานถึงการเพิ่มโปรตีนที่สำคัญจากข้าวสาลีซึ่งส่งผลกระทบในทางบวกต่อคุณภาพของเม็ดอาหารและเสถียรภาพของน้ำ แต่การเพิ่มมันสำปะหลังบดนั้นส่งผลในทางลบ

ธรรมชาติของแป้งมันสำปะหลังเป็นแป้งอ่อน โมเลกุลของแป้งมีคุณสมบัติในการดูดน้ำได้เร็ว ทำให้สามารถเกิดการเจลาติไนซ์ (gelatinization) ที่อุณหภูมิ 60-65 องศาเซลเซียสเท่านั้น การอัดเม็ดสูตรอาหารมันสำปะหลังจึงต้องกระทำที่อุณภูมิต่ำเพื่อมิให้แป้งในมันสำปะหลังเกิดการเจลาติไนซ์มากเกินไป จนทำให้แป้งในมันสำปะหลังในสูตรอาหารเกิดการพองตัวหรือการฟู (dough) ซึ่งมีลักษณะหนืด จับตัวเป็นก้อนและไม่สามารถรีดผ่านรูของเครื่องอัดเม็ดไดย์ได้ โดยปกติควรอัดเม็ดสูตรอาหารมันสำปะหลังที่อุณภูมิ 65-70 องศาเซลเซียส ความชื้น 16-18 เปอร์เซ็นต์ (อุทัยและคณะ ,2547)

5. การทำให้แห้งและเย็น (cooling or drying)

อาหารที่ผ่านการอัดเม็ดจะมีความชื้นสูง ต้องนำมาอบเพื่อลดความชื้น ทำให้สามารถเก็บรักษาอาหารได้นานขึ้น ถ้าอาหารมีความชื้นสูง จะทำให้เกิดการปนเปื้อนจากเชื้อราได้ง่าย อาหารไม่แข็งตัวและทำให้การคงตัวในน้ำของอาหารลดลง การลดความชื้นอาจใช้ แสงแดด เตาอบ พัดลม หรือเครื่องอบแห้ง ซึ่งเครื่องอบแห้งนั้นมี 2 แบบ ได้แก่ เครื่องอบแห้งแบบถังตั้ง (vertical cooler and dryer) เป็นเครื่องที่มีช่องด้านบนเพื่อให้อาหารที่ผ่านการอัดเม็ดผ่านมายังตัวเครื่องด้านล่าง โดยภายในตัวเครื่องจะมีพัดลมดูดอากาศ ทำให้อาหารเม็ดเย็นลงได้เนื่องจากความชื้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สัมพัทธ์ลดลง อาหารจะถูกปล่อยออกด้านล่างเครื่อง เครื่องอบแห้งชนิดนี้นิยมใช้ในโรงงานผลิตอาหารสัตว์บก อาทิเช่น สุกร ไก่เนื้อ และอาหารสัตว์น้ำ เช่น กุ้ง อีกชนิดเป็นเครื่องอบแห้งแบบถังนอน (horizontal cooler and dryer) ภายในตัวเครื่องจะมีสายพานลำเลียงอาหารที่อัดเม็ดแล้วเข้าตัวเครื่อง นำออกอีกด้านหนึ่งของตัวเครื่อง ในระหว่างลำเลียงจะมีพัดลมดูดอากาศ ทำให้อาหารมีอุณหภูมิเย็นลง อาหารที่ผ่านการอบแห้งแล้วควรจะมีความชื้นลดลงจาก 15-16 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 9-10 เปอร์เซ็นต์ (วีรพงศ์, 2536) เครื่องอบชนิดนี้ นิยมใช้ในโรงงานผลิตอาหารสัตว์เลี้ยง เช่น สุนัข แมว

ผลของการใช้อาหารอัดเม็ดในการเลี้ยงสัตว์

อาหารอัดเม็ดเป็นสิ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ซึ่งนอกจากจะเพิ่มความพึงพอใจให้กับผู้บริโภคแล้ว ยังสามารถช่วยลดการสูญเสียระหว่างการขนส่ง (Doherty *et. al*. 2000) พร้อมทั้งยังช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของสัตว์ เนื่องจากข้อได้เปรียบทั้งทางกายภาพและทางโภชนาการของอาหารอัดเม็ด ข้อดีทางกายภาพนั้นรวมไปถึงความสะดวกในการจัดการที่ได้รับการปรับปรุงให้ดีขึ้น, การแยกตัวของส่วนประกอบที่ลดลง, การสูญเสียอาหารสัตว์ที่น้อยลง และความหนาแน่นของก้อนที่เพิ่มขึ้น ส่วนข้อดีทางโภชนาการได้มีการถูกวัดผ่านทางการติดตามการให้อาหารสัตว์ โดยในปัจจุบันได้มีการมุ่งเน้นขั้นพื้นฐานไปที่ข้อดีของการให้อาหารอัดเม็ดเปรียบเทียบกับ อาหารผง

Doherty *et. al.*(2000) ได้ทำการเปรียบเทียบอาหารอัดเม็ดกับอาหารผงต่อ คุณภาพทางโภชนาการในสุกรรุ่น และขุน โดยแบ่งเป็นอาหารอัดเม็ด, อาหารที่ผ่านกระบวนการ expander processing แล้วจึงอัดเม็ด, อาหารผง และ อาหารที่ผ่านกระบวนการ expander processing แล้วจึงทำเป็นอาหารผง พบว่าผลของอาหารที่ผ่านกระบวนการ expander processing แล้วจึงอัดเม็ด มีค่าอินทรีย์วัตถุ, โปรตีน, พลังงาน, เยื่อใยซึ่งไม่สามารถละลายในสารละลายดีเทอเจนที่เป็นกลาง (NDF), เถ้า , ค่าการใช้ประโยชน์ได้ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่ในการทดลองถึงคุณภาพซากพบว่าอาหารทั้ง 4 ชนิด ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Baird (1973) ได้ทำศึกษาการเจริญเติบโต และคุณภาพซาก ของอาหารอัดเม็ดกับ อาหารผงในสุกรสายพันธุ์ Yorkshire จากหย่านมจนถึงส่งขายตลาดที่ประมาณ 100 กิโลกรัม ซึ่งพบว่าสุกรที่ได้รับอาหารอัดเม็ดมี อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันและ อาหารต่อการเจริญเติบโต สูงกว่าสุกรที่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ได้รับอาหารผง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่เปอร์เซ็นต์ซาก และน้ำหนักซาก พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

Graham *et al.* (1989) พบว่า อาหารที่อัดเม็ดที่อุณหภูมิ 93 องศาเซลเซียส มีค่าการย่อยได้สูงกว่าอาหารผง ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งที่ลำไส้เล็กส่วนไอเลี่ยมเพิ่มขึ้นจาก 62 เปอร์เซ็นต์ เป็น 64.7 เปอร์เซ็นต์ ค่าการย่อยได้ของพลังงานเพิ่มขึ้นจาก 60.3 เปอร์เซ็นต์ เป็น 63.3 เปอร์เซ็นต์ ค่าการย่อยได้ของโปรตีนเพิ่มขึ้นจาก 52.2 เปอร์เซ็นต์ เป็น 54.9 เปอร์เซ็นต์ และค่าการย่อยได้ของไขมันเพิ่มขึ้นจาก 29.7 เปอร์เซ็นต์ เป็น 29.9 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอาหารอัดเม็ดมีค่าการย่อยได้ปรากฏของแป้งก่อนถึงปลายลำไส้เล็กส่วนไอเลี่ยมเพิ่มขึ้นจาก 90.3 เปอร์เซ็นต์ เป็น 94.9 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) ค่าการย่อยได้ปรากฏของแป้งในมูลเพิ่มจาก 98.3 เปอร์เซ็นต์ เป็น 99.7 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าแตกต่างมีนัยสำคัญยิ่งสถิติ ($P<0.01$)

Furuta *el. al.* (1980) ได้ทำการทดลองเพิ่มระดับอุณหภูมิในกระบวนการอัดเม็ดอาหารไก่ เพื่อศึกษาการปนเปื้อนของแบคทีเรีย ซึ่งใช้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน คือ 70 80 83 และ 90 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 40 kg/cm^2 เป็นเวลา 10 วินาที โดยกลุ่มทดลองที่ได้รับอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส พบว่าไม่เหมาะสมในการคลุกไอน้ำ เนื่องจากจะทำให้อาหารมีลักษณะเหลวมากจนคล้ายแป้งเปียก ซึ่งไม่สามารถอัดเม็ดได้ จากงานวิจัยนี้สรุปว่าอาหารสัตว์ที่ผ่านกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ดไม่สามารถทำลายจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับอาหาร ได้ทั้งหมด แต่สามารถฆ่าจุลินทรีย์ในกลุ่ม aerobic ได้ เช่น *Eschelichia coli* เมื่ออาหารผ่านความร้อนมากกว่า 80 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ความเข้มข้นของวิตามินก็ไม่ลดลงระหว่างที่อาหารผ่านกระบวนการอัดเม็ด

Pozza *et. al.* (2000) ได้ทำการเปรียบเทียบค่าการย่อยได้ ในอาหารสุกรที่เป็นอาหารผง, อาหารอัดเม็ดที่ 80 องศาเซลเซียส, อาหารอัดเม็ดที่ 90 องศาเซลเซียส พบว่า อาหารที่ผ่านกระบวนการอัดเม็ดที่ 90 องศาเซลเซียสจะช่วยเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ ของค่าพลังงานทั้งหมดได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารอัดเม็ดที่ 80 องศาเซลเซียส และอาหารผง

Skoch *et al.* (1983) ศึกษาผลของอาหารผง อาหารอัดเม็ดที่ใช้ และไม่ใช้ไอน้ำ และอาหารผ่านการเอ็กทรูดโดยใช้ไอน้ำในสุกรหย่านม พบว่า สุกรมีอัตราเจริญเติบโตแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่สุกรที่กินอาหารที่ผ่านการเอ็กทรูดโดยใช้ไอน้ำกินอาหารน้อยกว่าสุกรที่กินอาหารกลุ่มอื่น ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) นอกจากนี้อาหารผ่านการเอ็กทรูดโดยใช้ไอน้ำ อาหารอัดเม็ดโดยไม่ใช้ไอน้ำ และอาหารอัดเม็ดโดยใช้ไอน้ำมีประสิทธิภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การใช้อาหารดีกว่าผง ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และมีค่าประสิทธิภาพการใช้อาหารเท่ากับ 1.93, 2.03, 1.91 และ 2.21 ตามลำดับ

ลัดดา (2549) ได้ทำการศึกษาผลของระดับมันสำปะหลังในสูตรอาหารที่ผ่านกระบวนการอัดเม็ด ต่อสมรรถภาพการผลิตอาหาร คุณภาพของอาหารอัดเม็ด และการใช้ประโยชน์ของแป้ง ผลการศึกษาพบว่าอาหารสูตรมันสำปะหลังที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดพลังงานที่ใช้ในการผลิตถึง 15 เปอร์เซ็นต์ และยังไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต ทางด้านคุณภาพเม็ดอาหารพบว่า อยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจสำหรับการผลิตอาหารอัดเม็ด ส่วนการใช้ประโยชน์ได้ของแป้ง พบว่าระดับมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหารอัดเม็ด ส่งผลทำให้การใช้ประโยชน์ได้ของแป้งเพิ่มมากขึ้น

จากข้อมูลที่กล่าวมาในเบื้องต้นการอัดเม็ดจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเจริญเติบโตของสัตว์โดยเฉพาะอย่างยิ่งในมันสำปะหลัง เพราะมันสำปะหลังที่บดละเอียดจะมีลักษณะเป็นฝุ่นและอาจรบกวนการกินอาหารของสัตว์ เพราะอาหารที่เป็นฝุ่นจะทำให้สัตว์เกิดอาการระคายเคืองระบบหายใจและจำเป็นต้องดื่มน้ำมากขึ้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ส่งผลให้สัตว์กินอาหารได้น้อยลงและถ่ายมูลที่มีลักษณะเหลว ทำให้การเจริญเติบโตลดลง ดังนั้นการอัดเม็ดจะสามารถช่วยลดปัญหาเรื่องฝุ่น ซึ่งโดยธรรมชาติของแป้งมันสำปะหลังเป็นแป้งอ่อน โมเลกุลของแป้งดูดน้ำได้เร็ว การอัดเม็ดอาหารควรทำในอุณหภูมิที่ต่ำเพื่อป้องกันไม่ให้แป้งเกิดลักษณะหนืดจับตัวเป็นก้อน ซึ่งอุปกรณ์คลุกไอน้ำควรมีทางเข้าของไอน้ำหลายทางเป็นแนวยาว ทั้งนี้เพื่อช่วยให้การคลุกไอน้ำเป็นไปอย่างทั่วถึงและสามารถอัดเม็ดอาหารที่มันสำปะหลังได้อย่างสะดวก

ในส่วนของกากมันสำปะหลังพบว่าด้านการกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ดช่วยทำให้สัตว์มีความสามารถในการใช้ประโยชน์ได้จากกากมันสำปะหลังมากขึ้น เพราะในกากมันสำปะหลังพบว่ามีแป้งหลงเหลืออยู่ค่อนข้างมากเมื่อนำไปผ่านกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ดจึงทำให้แป้งเกิดความสุก (Gelatinization) ส่งผลให้สุกรสามารถมีค่าการใช้ประโยชน์ได้ที่สูง แต่นอกจากปริมาณของแป้งที่เหลืออยู่แล้วกากมันสำปะหลังยังมีเยื่อใยค่อนข้างสูง ส่งผลให้คุณลักษณะของกากมันสำปะหลังมีลักษณะฟ่ามจึงส่งผลต่อกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ดโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องของคุณภาพเม็ดอาหารหลังกระบวนการอัดเม็ด ซึ่งจะมีผลอย่างมากต่อกระบวนการขนส่งโดยเฉพาะอย่างยิ่งในระยะทางไกลๆ ได้ ซึ่งเมื่ออาหารผ่านสภาวะการกระแทก อาจทำให้เม็ดอาหารเกิดการแตกหัก หรือเป็นฝุ่นได้ เพราะฉะนั้นการคลุกไอน้ำที่ดี ควรประกอบไปด้วย ชนิดของการคลุกไอน้ำ เวลาคลุกไอน้ำ ปริมาณน้ำและไอน้ำที่เข้าสู่ห้องคลุกไอน้ำ อุณหภูมิในการคลุกไอน้ำ หากอุณหภูมิ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในการคลุกไอน้ำเพิ่มขึ้นจะทำให้ สารเชื่อมในธรรมชาติที่มีในวัตถุดิบอาหารเกิดการเกาะยึดกัน ระหว่างอาหารดีขึ้น แต่ก็อาจส่งผลทำให้ค่าไฟฟ้าต่อกำลังการผลิตในแต่ละครั้งเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

การวิจัยครั้งนี้ แบ่งออกเป็นการศึกษาวิจัยย่อยจำนวน 2 การทดลองดังนี้

การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของระดับกากมันสำปะหลังในสูตรอาหาร (สุกรน้ำหนัก 25 -60 กิโลกรัมและ 60-90 กิโลกรัม) ต่อกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ด และคุณภาพเม็ดอาหาร

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของระดับกากมันสำปะหลังในสูตรอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซากในสุกรระยะขุน

โดยแต่ละการทดลองมีรายละเอียดวิธีการทดลอง ดังต่อไปนี้

การทดลองที่ 1

ศึกษาผลของระดับกากมันสำปะหลังในสูตรอาหาร (สุกร ระยะเล็ก รุ่น และขุน) ต่อกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ด และคุณภาพเม็ดอาหาร

สมมติฐานการทดลอง

การใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารน้ำหนัก 25 -90 กิโลกรัม จะทำให้ค่าพลังงานที่ใช้ในการอัดเม็ดเพิ่มขึ้น และคุณภาพเม็ดอาหารต่ำลง

อุปกรณ์การทดลอง

1. วัตถุดิบที่ใช้ประกอบสูตรอาหารสัตว์ ได้แก่ กากมันสำปะหลัง จากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง

2. อุปกรณ์สำหรับผสมอาหารสัตว์ ได้แก่ เครื่องชั่งน้ำหนักวัตถุดิบ เครื่องบดวัตถุดิบอาหารสัตว์ เครื่องผสมอาหารสัตว์ เครื่องอัดเม็ดอาหาร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

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

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

5. เทอร์โมมิเตอร์

6. เครื่องวัดกระแสไฟ

7. อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่าง ได้แก่ ถุงพลาสติก ปากกาเคมี

8. อุปกรณ์ที่ใช้วัดคุณภาพเม็ดอาหาร ได้แก่

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

8.2 เครื่องวัดความคงทนของเม็ดอาหาร (Flender Himmel) รุ่น Z38 และตะแกรงร่อนฝุ่น No. 6

วิธีการทดลอง

อาหารทดลองแบ่งออกเป็น 2 สูตร โดยแต่ละสูตรมีระดับโภชนะตรงตามความต้องการของสุกรเล็ก รุ่น ขุน (ตารางที่ 8, ตารางที่ 9) อาหารทุกสูตรผ่านกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ดภายใต้การควบคุมสภาวะการผลิตที่เหมือนกัน โดยใช้เครื่องอัดเม็ดรุ่น SZLH40, Jiang Zhenghang, China ขนาด 125 แรงม้า ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที ความดันไอน้ำขณะคลุกไอน้ำ 2 บาร์ อุณหภูมิคลุกไอน้ำอยู่ที่ประมาณ 73 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการรีดผ่านจานอัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร ความหนาของจานอัด 50 มิลลิเมตร ทำการลดอุณหภูมิและความชื้นผ่าน cooler ก่อนทำการบรรจุกระสอบ โดยสูตรอาหารทั้ง 2 สูตรได้แก่

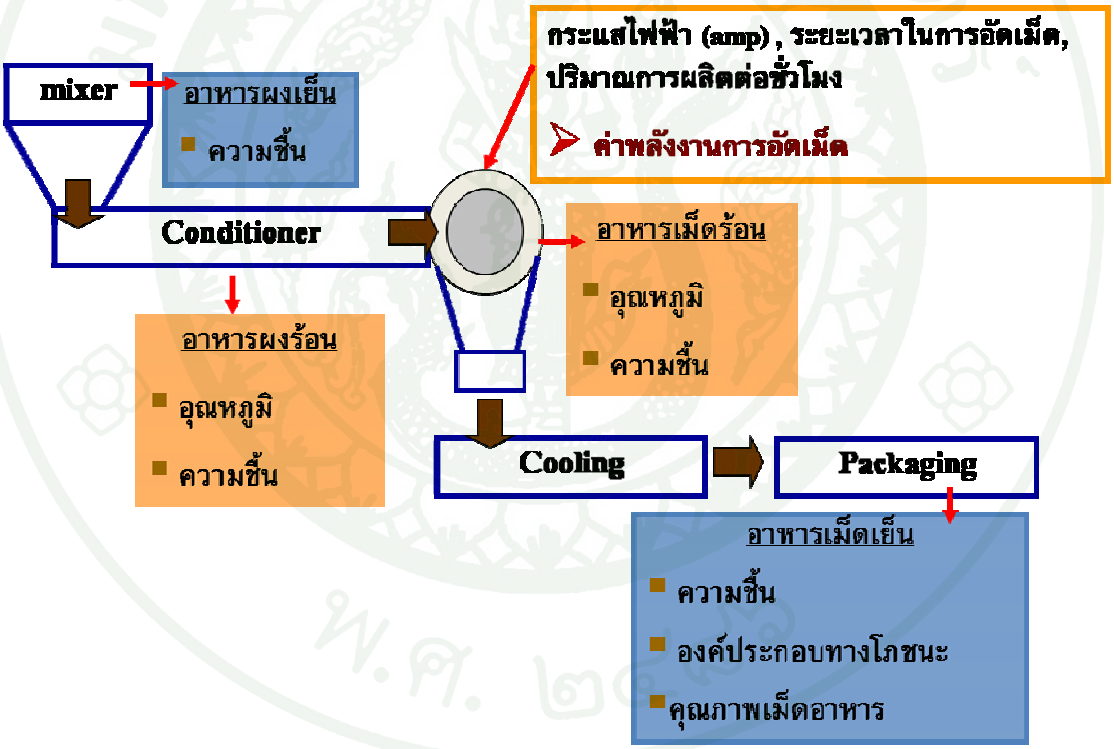
1. สูตรอาหารสุกรที่ไม่มีกากมันสำปะหลัง ผ่านกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ด (สูตรควบคุม)

2. สูตรอาหารสุกรที่มีระดับกากมันสำปะหลัง 10% ผ่านกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เก็บตัวอย่างและการบันทึกผล

เมื่อสภาวะการผลิตคงที่ สุ่มเก็บตัวอย่างตามลำดับ ได้แก่ อาหารผงเย็น อาหารผงร้อน อาหารเม็ดร้อน และอาหารเม็ดเย็นเพื่อวัดความชื้น อาหารผงร้อน อาหารเม็ดร้อนทำการวัดอุณหภูมิหน้าเครื่องผลิต โดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ thermo couple โดยการสุ่ม 3 ครั้งแล้วนำไปหาค่าเฉลี่ย ในส่วนของอาหารเม็ดเย็นทำการสุ่มตัวอย่างจากกระสอบ ไปวเคราะห์คุณภาพเม็ดอาหาร ได้แก่ ความแข็งของเม็ดอาหาร ความคงทนของเม็ดอาหาร รวมทั้งองค์ประกอบทางโภชนะของอาหารทดลองแต่ละสูตร บันทึกข้อมูลการผลิตอาหารแต่ละสูตร ได้แก่ อุณหภูมิคลุกไอน้ำ ความชื้น ปริมาณการผลิตต่อชั่วโมง กระแสไฟฟ้า ค่าพลังงานการอัดเม็ด ระยะเวลาการอัดเม็ด และอื่นๆ เพื่อนำมาคำนวณหาค่าพลังงานการอัดเม็ด โดยใช้สูตรดังนี้



ค่าพลังงานการอัดเม็ด (kWh/ton) = Amp x 380 x 0.8 x 0.8 x 1.732

Ton/hr x 1000

เมื่อ Amp = ค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดเม็ด (วัตต์)

380 = ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง (380 โวลต์)

Ton/hour = ค่ากำลังการผลิตอาหารอัดเม็ด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การวิเคราะห์ตัวอย่าง

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

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

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 Soet analysis วิเคราะห์พลังงาน ด้วย bomb calorimeter และวิเคราะห์ปริมาณแป้งโดยวิธี polarimetric method

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้จากการบันทึก ได้แก่ อุณหภูมิอาหารผงร้อนและอาหารเม็ดร้อน ความชื้นของอาหารผงเย็น อาหารผงร้อน อาหารเม็ดเย็น และอาหารเม็ดร้อน ค่าพลังงานที่ใช้ในการอัดเม็ด ความแข็งของเม็ดอาหาร และความคงทนของเม็ดอาหาร (ความคงทนมาตรฐานและความคงทนดัดแปลง) ความหนาแน่นของอาหาร

การทดลองที่ 2

ศึกษาผลของระดับกากมันสำปะหลังในสูตรอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซากในสุกร ขุน

สมมติฐานการทดลอง

อาหารสูตรกากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ ที่ผ่านกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ด จะทำให้สมรรถภาพการผลิตของสุกรน้ำหนัก 25 -90 กิโลกรัมและคุณภาพซาก ดีขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์การทดลอง

1. โรงเรือนสำหรับเลี้ยงสุกร
2. เครื่องชั่งน้ำหนัก
3. อาหารทดลอง
4. ถังใส่อาหารทดลอง
5. เครื่องรีลไทม์อัลตร้าซาวด์

สัตว์ทดลอง

การทดลองใช้สุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ (ดูร็อค x แลนด์เรซ x ลาร์จไวท์) จำนวน 96 ตัว แยกเพศ อายุ 13 สัปดาห์ มีน้ำหนักเริ่มต้น 25 กิโลกรัม แบ่งสุกรออกเป็น 2 กลุ่มการทดลอง กลุ่มละ 4 ซ้ำ ซ้ำละ 12 ตัวเลี้ยงสุกรเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ โดยแบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือน้ำหนัก 25 ถึง 60 กิโลกรัมไปจนถึงน้ำหนัก 60 ถึง 90 กิโลกรัม

อาหารทดลองและการให้อาหาร

อาหารทดลองแบ่งออกเป็น 2 สูตร (จากการทดลองที่ 1) ดังนี้

1. สูตรอาหารสุกรที่ไม่มีกากมันสำปะหลัง ผ่านกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ด (สูตรควบคุม)

2. สูตรอาหารสุกรที่มีระดับกากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ ผ่านกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ด

อาหารทดลองทุกสูตรทำการคำนวณให้มีองค์ประกอบทางเคมี ดังแสดงในตารางที่ 7 และ 8 สุกรจะได้รับอาหารและน้ำอย่างเต็มที่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 7 ส่วนประกอบในสูตรอาหารสุกรน้ำหนัก 25 -60 กิโลกรัม

วัตถุดิบ	ปริมาณกากมันสำปะหลังที่ใช้ (%)	
	0	10
กากมันสำปะหลังบด	-	10
ข้าวโพดบด	52.76	30.2
กากถั่วเหลือง (46 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน)	12.83	15.4
รำอ่อน	6.67	6.67
กากปาล์ม	6.67	6.67
เนื้อและกระดูกป่น (53เปอร์เซ็นต์ โปรตีน)	8	8
น้ำมันรำ	-	0.533
กากน้ำตาล	0.667	0.667
DDGS	10	10
เกลือ	0.493	0.333
ไดแคลเซียมฟอสเฟต	0.260	0.267
หินแป้ง	0.373	0.027
ไลซีน	0.444	0.421
ดีแอล-เมทไธโอนีน	0.059	0.077
ทรีโอนีน	0.023	0.026
สารผสมล่วงหน้าวิตามินแร่ธาตุ[1]	0.2	0.2
ยาปฏิชีวนะ[2]	0.533	0.533
รวม	100.00	100.00
องค์ประกอบทางโภชนะ (เปอร์เซ็นต์)		
โปรตีน	19.0	19.0
พลังงาน (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)	3200.00	3200.00
ไขมัน	4.63	4.68
เยื่อใย	4.15	5.17
เถ้า	6.31	6.32
ไลซีน	1.2	1.2
เมทไธโอนีน + ซีสอีน	0.65	0.65
เมทไธโอนีน	0.35	0.35
แคลเซียม	0.99	0.9
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	0.84	0.83
ฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้	0.45	0.45

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

หมายเหตุ [1]สารผสมล่วงหน้าวิตามินแร่ธาตุ 1 กิโลกรัม ประกอบด้วย วิตามินเอ 4.00 MIU; วิตามินดี 0.4 MIU; วิตามินอี 15,000 IU; วิตามินเค 1 กรัม; วิตามิน บี 1 0.5 กรัม; วิตามิน บี 2 2.00 กรัม วิตามิน บี 6 1 กรัม; วิตามิน บี12 0.01 gm; กรดไพโททีนิค 6.00 กรัม; ไนอาซิน 12.00 กรัม; ไบโอติน 0.08 กรัม; ซีลีเนียม 0.1 กรัม; ธาตุเหล็ก 40.00 กรัม; แมงกานีส 7.50 กรัม; สังกะสี 40.00 กรัม; คอปเปอร์ 2.50 กรัม; ไอโอดีน 0.50 กรัม; [2]ไทโลฟอส 1-2 กิโลกรัมต่อตัน

ตารางที่ 8 ส่วนประกอบในสูตรอาหารสุกรน้ำหนัก 60 – 90 กิโลกรัม

วัตถุดิบ	ปริมาณกากมันสำปะหลังที่ใช้ (%)	
	0	10
กากมันสำปะหลังบด	-	10
ข้าวโพดบด	43.33	33.54
กากถั่วเหลือง (48 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน)	8	8
รำอ่อน	6.67	6.67
DDGS	6.67	7.44
เนื้อและกระดูกป่น (53เปอร์เซ็นต์ โปรตีน)	5.35	6.37
รำสาลี	8	8
กากปาล์มกะเทาะเปลือก A	10	10
กากน้ำตาล	0.667	0.667
ไดแคลเซียมฟอสเฟต	0.167	-
เกลือ	0.447	0.340
หินแป้ง	0.853	0.507
ไลซีน	0.2	0.2
ดีแอล-เมทไธโอนีน	0.365	0.351
ทรีโอนีน	0.050	0.067
สารผสมล่วงหน้าวิตามินแร่ธาตุ[1]	0.045	0.048
ยาปฏิชีวนะ[2]	0.533	0.533
รวม	100.00	100.00
องค์ประกอบทางโภชนะ (เปอร์เซ็นต์)		
โปรตีน	16.0	16.0
พลังงาน (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)	3000.00	3000.00

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 8 (ต่อ)

องค์ประกอบทางโภชนะ (เปอร์เซ็นต์)		
ไขมัน	4.19	4.20
เยื่อใย	6.49	6.99
เถ้า	7.69	7.51
ไลซีน	0.99	0.99
เมทไธโอนีน + ซีสอีน	0.59	0.59
เมทไธโอนีน	0.32	0.33
แคลเซียม	0.89	0.85
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	0.80	0.75
ฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้	0.45	0.45

หมายเหตุ [1] สารผสมล่วงหน้าวิตามินแร่ธาตุ 1 กิโลกรัม ประกอบด้วย วิตามิน เอ 3.00 MIU; วิตามิน ดี 0.3 MIU; วิตามิน อี 75,000 IU; วิตามิน เค 1 กรัม; วิตามิน บี 1 0.4 กรัม; วิตามิน บี 2 2.00 กรัม วิตามิน บี 6 1.00 กรัม; วิตามิน บี 12 0.008 กรัม; กรดไพโททีนิค 4.00 กรัม; ไนอาซิน 12.00 กรัม; ไบโอติน 0.05 กรัม; ซีลีเนียม 0.1 กรัม; ธาตุเหล็ก 25.00 กรัม; แมงกานีส 5.00 กรัม; สังกะสี 25.00 กรัม; คอปเปอร์ 2.00 กรัม; ไอโอดีน 0.40 กรัม;

[2] ไทโลฟอส 1-2 กิโลกรัมต่อตัน

การเก็บตัวอย่างและการบันทึกผล

เลี้ยงสุกรเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ และเก็บข้อมูลดังนี้

อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (กิโลกรัม) (average daily gain) = $\frac{\text{น้ำหนักตัวสิ้นสุดการทดลอง-น้ำหนักตัวเริ่มการทดลอง}}{\text{จำนวนวันที่ทดลอง}}$

ปริมาณอาหารที่กินต่อวัน (กิโลกรัม) (average daily feed intake) = $\frac{\text{ปริมาณอาหารที่ให้ - ปริมาณอาหารที่เหลือ}}{\text{(จำนวนสุกรทั้งหมด x จำนวนวันที่เลี้ยง)}}$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนัก (feed conversion ratio) = ปริมาณอาหารที่กิน / น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น

อัตราการตาย (เปอร์เซ็นต์) (mortality rate) = จำนวนสุกรที่ตาย x 100 / จำนวนสุกรเมื่อเริ่มต้นการทดลอง

วิธีการทดลอง

1. การเก็บข้อมูลตัวอย่างด้านสมรรถภาพการผลิต

1.1 ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างอาหารทดลองในแต่ละสูตร เพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธี proximate analysis

1.2 ชั่ง และบันทึกน้ำหนักสุกร 3 ช่วง คือ ครั้งที่ 1 ชั่งน้ำหนักตัวเมื่อเริ่มต้นการทดลองที่อายุประมาณ 11 สัปดาห์ ครั้งที่ 2 ชั่งน้ำหนักเมื่อมีการเปลี่ยนอาหารสุกรจากช่วงระยะ เล็ก-รุ่น ไปเป็นระยะ รุ่น-ขุน เมื่อมีอายุครบ 15 สัปดาห์ ครั้งที่ 3 ชั่งน้ำหนักเมื่อสุกรอายุครบ 21 สัปดาห์

1.3 ชั่ง และบันทึกปริมาณการกินอาหาร ที่เหลือในแต่ละสัปดาห์ตลอดการทดลอง

1.4 บันทึกการป่วย สาเหตุการป่วย และอัตราการตายและคัดทิ้งในช่วงของการทดลอง

1.5 เมื่อสุกรมีอายุครบ 21 หรือ 22 สัปดาห์ วิเคราะห์ และบันทึกข้อมูลคุณภาพซาก โดยใช้ เครื่อง พิก สแกน (pig scan) รุ่น SFK-Technology ซึ่งลักษณะที่ศึกษา คือ ความหนาไขมันสันหลัง และเปอร์เซ็นต์เนื้อแดง

2. วิเคราะห์ตัวอย่าง

วิเคราะห์หาองค์ประกอบโภชนะต่างๆ ของอาหารทดลองสูตรที่แตกต่างกัน 2 สูตร คือ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า โดยวิธี proximate analysis

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ศึกษาทั้งหมด ได้แก่ ปริมาณอาหารที่กินต่อวัน อัตราการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และอัตราการตาย มาวิเคราะห์ทางสถิติตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อค (Randomized Completely Block design: RCBD) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มการทดลองโดยวิธีการ Student's t-test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

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

โดยที่ Y_{ij} คือ ค่าสังเกตจากทรีทเมนต์ที่ i ซ้ำที่ j

μ คือ ค่าเฉลี่ยทั้งหมดในการทดลอง

α_i คือ อิทธิพลของทรีทเมนต์ (treatment effect) ที่ i โดย i = 1, 2

β_j คือ อิทธิพลเนื่องจาก Block โดยที่ j = เพศผู้ และเพศเมีย

ε_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อนนอกจากอิทธิพลอื่น

สถานที่และระยะเวลาทำการวิจัย

1. ผลิตอาหารทดลองทั้ง 2 สูตร ณ บริษัท ไบโอเจน ฟีดมิลล์ อ. เมือง จ. ลำพูน

2. ศึกษาสมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะเล็ก รุ่น ขุน และคุณภาพของซากสุกรระยะขุน ที่บรรจงฟาร์ม ต. สันกำแพง อ. สันกำแพง จ. เชียงใหม่

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

4. วิเคราะห์คุณภาพเม็ดอาหาร ณ ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน

ระยะเวลาทำการทดลอง

เริ่มทำการทดลอง: มกราคม 2553

สิ้นสุดการทดลอง: เมษายน 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

การทดลองที่ 1

ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ต่อกระบวนการคลุกไอน้ำ อัดเม็ด การอัดเม็ด และคุณภาพเม็ดอาหาร

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนะต่างๆ ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า พลังงานรวม แคลเซียม และฟอสฟอรัส ของกากมันสำปะหลังและอาหารทดลองทั้ง 2 สูตร แสดงในตารางที่ 9 และตารางที่ 10

ตารางที่ 9 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลัง

องค์ประกอบทางเคมี (เปอร์เซ็นต์)	
แป้ง	39.91
ความชื้น	9.41
ไขมัน	0.29
โปรตีน	1.75
เยื่อใยรวม	16.10
เถ้า	4.41
NDF	31.33
ADF	25.98
แคลเซียม	1.26
ฟอสฟอรัส	0.05
พลังงานรวม, kcal/kg	4,346.65

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 10 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารสุกรน้ำหนัก 25-60 กิโลกรัม

องค์ประกอบทางเคมี (เปอร์เซ็นต์)	ระดับกากมันสำปะหลังในอาหาร	
	0%	10%
แป้ง	-	-
ความชื้น	9.63	9.42
ไขมัน	5.72	5.58
โปรตีน	18.52	18.48
เยื่อใยรวม	5.21	5.54
เถ้า	6.63	6.88
พลังงานรวม, kcal/kg	4,363.65	4,302.60

ตารางที่ 11 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารสุกรน้ำหนัก 60-90 กิโลกรัม

องค์ประกอบทางเคมี (เปอร์เซ็นต์)	ระดับกากมันสำปะหลังในอาหาร	
	0%	10%
แป้ง	-	-
ความชื้น	8.68	8.03
ไขมัน	5.82	4.81
โปรตีน	16.59	16.45
เยื่อใยรวม	6.48	6.19
เถ้า	6.45	6.21
พลังงานรวม, kcal/kg	4230.22	4294.38

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการคลุกไอน้ำอัดเม็ดของสุกรน้ำหนัก 25-60 กิโลกรัม

ผลของระดับอุณหภูมิในการอัดเม็ดอาหาร สุกรน้ำหนัก 25-60 กิโลกรัม ที่ใช้กากมันสำปะหลังเป็นองค์ประกอบในสูตรอาหาร 0 และ 10 % ต่อประสิทธิภาพในการคลุกไอน้ำอัดเม็ด เมื่อตั้งอุณหภูมิไอน้ำหน้าเครื่องอัดเม็ด Model SZLH40 (Jiang Zhenghang, China) ที่ 70 องศาเซลเซียส พบว่า ผลของอุณหภูมิผงร้อนที่วัดได้จากเครื่องอัดเม็ด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับเท่ากับ 64.64 และ 65.50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ อุณหภูมิเม็ดร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 75.80 และ 77.97องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตามลำดับ มีค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดเม็ด เท่ากับ 10.537 และ 13.217 กิโลวัตต์/ตัน/ชั่วโมง ตามลำดับ โดยที่อุณหภูมิคลุกไอน้ำ มีอุณหภูมิสูงขึ้นเมื่อมีกากมันสำปะหลังเป็นองค์ประกอบในสูตร โดยในอาหารสุกรน้ำหนัก 25-60 กิโลกรัม มีช่วงอุณหภูมิคลุกไอน้ำอัดเม็ด คือ 64.64 ถึง 65.50 เมื่อมีกากมันสำปะหลังในสูตรอาหารเพิ่มขึ้น 0 เป็น 10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่ออุณหภูมิคลุกไอน้ำอัดเม็ด สูงขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิเม็ดร้อนที่ได้จากเครื่องอัดเม็ด มีค่าสูงขึ้น คือ 75.80 และ 77.97 องศาเซลเซียส ซึ่งโดยทั่วไปอาหารเม็ดร้อนจะผ่านกระบวนการทำให้เย็นลง โดยผ่านเครื่องดูดลมเย็น (cooler) เพื่อทำการระเหยความร้อน และความชื้นให้สามารถเก็บอาหารไว้นานโดยไม่เกิดเชื้อรา ซึ่งอาหารสุกรน้ำหนัก 25-60 กิโลกรัม จะมีค่าความชื้นอยู่ที่ 11.04 และ 10.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนของค่าพลังงานการอัดเม็ด พบว่า เมื่อมีกากมันสำปะหลังในสูตรอาหารเพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น 10 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้ค่าพลังงานการอัดเม็ดมีค่าสูงขึ้น จาก 10.537 เป็น 13.217 กิโลวัตต์/ตัน/ชั่วโมง และยังส่งผลต่อค่าอัตรากำลังการผลิตให้มีค่าน้อยลง คือ 3.64 และ 3.00 ตัน/ชั่วโมง ซึ่งส่งผลให้ค่ากำลังการผลิตสูงขึ้นจากสูตรปกติ 25 เปอร์เซ็นต์

ผลการศึกษาคุณภาพเม็ดอาหารของอาหารอัดเม็ดที่มีกากมันสำปะหลังเป็นองค์ประกอบในสูตรอาหาร 0 และ 10 % อันประกอบด้วย ความแข็ง ความหนาแน่นเม็ดอาหาร ความคงทนเม็ดอาหารมาตรฐาน และความคงทนดัดแปร พบว่า เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ ความแข็งเม็ดอาหารมีค่าเท่ากับ 3.65 และ 3.64 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ความหนาแน่นมีค่าเท่ากับ 560 และ 555 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในส่วนของความคงทนมาตรฐาน มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 89.96 และ 89.10 และความคงทนดัดแปลง มีค่าเท่ากับ 89.96 และ 88.20 ตามลำดับ (ตารางที่ 12) สาเหตุที่ความคงทนของเม็ดอาหารลดลงในสูตรอาหารที่มีกากมันสำปะหลังเป็นองค์ประกอบ อาจเนื่องมากจากการใส่น้ำมันรำลงไปในสูตรอาหาร ซึ่งสอดคล้องกับ ณัฐชนก (2553) กล่าวว่า ไขมันจะไปเคลือบรอบอนุภาควัตถุดิบ และขัดขวางการเชื่อมยึดระหว่างอนุภาค เป็นผลให้ความคงทนของเม็ดอาหารลดลง โดยเฉพาะไขมันภายนอกเซลล์ เช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์ม และน้ำมันชนิดอื่น ๆ อย่างไรก็ตามชนิดของวัตถุดิบก็มีผลต่อคุณภาพเม็ดอาหาร การเพิ่มโปรตีน และเยื่อใยในอาหารจะสามารถช่วยปรับปรุง คุณภาพเม็ดอาหาร ตัวอย่างเช่น การเพิ่มรำข้าวสาลีในสูตรอาหารสุกรจะช่วยเพิ่มคุณภาพเม็ดอาหารได้ (Fahrenholtz, 1989) ซึ่ง Adam (2008) รายงานว่า ค่าความคงทนของเม็ดอาหารในอาหารสุกร และอาหารสัตว์ปีกควรมีไม่ต่ำกว่า 80 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 12 ผลของระดับกากมันสำปะหลังในสูตรอาหารต่อกระบวนการผลิตและคุณภาพอาหารเม็ด ในอาหารสุกรน้ำหนัก 25-60 กิโลกรัม

ข้อมูล	ระดับกากมันสำปะหลัง	
	0	10 %
อุณหภูมิ °C[1]		
อุณหภูมิผงร้อน°C	64.64	65.50
อุณหภูมิเม็ดร้อน°C	75.80	77.97
ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)[1]		
ผงร้อน %	14.59	14.34
เม็ดร้อน %	14.26	13.81
ผงเย็น %	11.83	11.00
เม็ดเย็น %	11.04	10.60
ค่าพลังงานการอัดเม็ด (กิโลวัตต์/ตัน/ชั่วโมง)[1]	10.537	13.22
ความคงทนของเม็ดอาหาร (เปอร์เซ็นต์)[1]		
ความคงทนมาตรฐาน[a]	90.0	89.1
ความคงทนดัดแปร[b]	87.0	88.0
ความหนาแน่น (กรัมต่อลิตร)[1]	560	555
ความแข็ง (กิโลกรัม แรง)[1]	3.65	3.64

หมายเหตุ [1]ไม่ได้ทำการค่าทางวิเคราะห์ทางสถิติเนื่องจากเก็บข้อมูลเพียงค่าเดียว

[a]ASAE (1987)

[b]ASAE (1987) ดัดแปลงโดยใส่น๊อตหกเหลี่ยมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 13 มิลลิเมตร จำนวน 5 ตัว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการคลุกไอน้ำอัดเม็ดของสุกรน้ำหนัก 60 -90 กิโลกรัม

ผลของระดับอุณหภูมิในการอัดเม็ดอาหาร สุกรน้ำหนัก 60 -90 กิโลกรัม ที่ใช้กากมันสำปะหลังเป็นองค์ประกอบในสูตรอาหาร 0 และ 10 % ต่อประสิทธิภาพในการคลุกไอน้ำอัดเม็ด เมื่อตั้งอุณหภูมิไอน้ำหน้าเครื่องอัดเม็ด Model SZLH40 (Jiang Zhenghang, China) ที่ 73 องศาเซลเซียส พบว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการคลุกไอน้ำอัดเม็ดอาหารมีอุณหภูมิเท่ากับ 68 และ 67.67 องศาเซลเซียส ตามลำดับ อุณหภูมิเม็ดร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 80.53 และ 81.6 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยเมื่อทำการคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 9.7733 และ 10.907 กิโลวัตต์/ตัน/ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งจากข้อมูลชี้ให้เห็นว่า สูตรอาหารข้าวโพดเมื่อใส่กากมันสำปะหลังลงไปในสูตรอาหารจะทำให้การขึ้นรูปเม็ดอาหารออกจากรูดายน์ต้องใช้พลังงานสูงขึ้น ซึ่ง ลัดดา (2549) ได้ทำการศึกษา การใช้มันสำปะหลังในสูตรอาหารปลายข้าวที่ระดับ 0, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ผลของระดับมันสำปะหลังในสูตรอาหารปลายข้าว ที่ผ่านกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ด ต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพของอาหารอัดเม็ด ซึ่งได้แก่ ความคงทนของเม็ดอาหารมาตรฐาน ความคงทนดัดแปร ความแข็ง และความเป็นฝุ่น อยู่ในเกณฑ์น่าพอใจสำหรับการผลิตอาหารอัดเม็ด ซึ่งสามารถลดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอาหารอัดเม็ดที่ใช้มันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์ โดยลดลงจาก 5.93 เป็น 5.04 และ 5.44 กิโลวัตต์/ตัน ทั้งนี้เนื่องจากมันสำปะหลังมีโครงสร้างของแป้งที่มีความหนืดสูง เมื่อได้รับความร้อนและความชื้น จึงส่งผลให้ลักษณะความหนืดของอาหารสูตรข้าวโพดสูงขึ้น ซึ่งในทางตรงกันข้ามเมื่อใช้ร่วมกับปลายข้าว พบว่าความหนืดของอาหารสูตรปลายข้าวลดลง ซึ่งจากการทดลองครั้งนี้ พบว่าอาหารสูตรที่มีกากมันสำปะหลังเป็นองค์ประกอบ 10 เปอร์เซ็นต์ มีค่าอัตราการผลิตตันต่อชั่วโมง น้อยกว่า กลุ่มควบคุมซึ่งไม่มีกากมันสำปะหลังเป็นองค์ประกอบ คือ 3.5 และ 3.37 ตัน/ชั่วโมง และมีค่าพลังงานในการผลิตสูงขึ้น 12 เปอร์เซ็นต์จาก กลุ่มควบคุม

ผลการศึกษาคุณภาพเม็ดอาหารของอาหารอัดเม็ดที่มีกากมันสำปะหลังเป็นองค์ประกอบในสูตรอาหาร 0 และ 10 % อันประกอบด้วย ความแข็ง ความหนาแน่นเม็ดอาหาร ความคงทนเม็ดอาหารมาตรฐาน และความคงทนดัดแปร พบว่า เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ ความแข็งเม็ดอาหารมีค่าเท่ากับ 6.134 และ 6.205 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ความหนาแน่นมีค่าเท่ากับ 568.05 และ 570.7 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในส่วนของความคงทนมาตรฐาน มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 89.96 และ 89.10 เปอร์เซ็นต์ และความคงทนดัดแปร มีค่าเท่ากับ 89.96 และ 88.20 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 13 ผลของระดับกากมันสำปะหลังในสูตรอาหารต่อกระบวนการผลิตและคุณภาพอาหารเม็ด ในอาหารสุกรน้ำหนัก 60 -90 กิโลกรัม

ข้อมูล	ระดับกากมันสำปะหลัง	
	0	10 %
อุณหภูมิ °C[1]		
อุณหภูมิผงร้อน°C	68	67.67
อุณหภูมิเม็ดร้อน°C	80.53	81.6
ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)[1]		
ผงร้อน %	14.29	13.10
เม็ดร้อน %	13.38	13.29
ผงเย็น %	11.28	11.08
เม็ดเย็น %	9.95	9.50
ค่าพลังงานการอัดเม็ด (กิโลวัตต์/ตัน/ชั่วโมง)[1]	9.7733	10.907
ความคงทนของเม็ดอาหาร (เปอร์เซ็นต์)[1]		
ความคงทนมาตรฐาน[a]	92.38	93.87
ความคงทนดัดแปร[b]	90.94	93.66
ความหนาแน่น (กรัมต่อลิตร)[1]	568.05	570.7
ความแข็ง (กิโลกรัม แรง)[1]	6.135	6.205

หมายเหตุ [1]ไม่ได้ทำการค่าทางวิเคราะห์ทางสถิติเนื่องจากเก็บข้อมูลเพียงค่าเดียว

[a]ASAE (1987)

[b]ASAE (1987) ดัดแปลงโดยใส่น๊อตหกเหลี่ยมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 13 มิลลิเมตร จำนวน 5 ตัว

ธรรมชาติของกากมันสำปะหลัง โดยเฉพาะลักษณะทางกายภาพ ของกากมันสำปะหลัง ที่มีลักษณะฟ่าม เบา มีความหนาแน่นต่ำ และมีเยื่อใยค่อนข้างสูง ซึ่ง พีรพจน์(2546) ได้ทำการศึกษา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เกี่ยวกับการเปรียบเทียบปริมาณเยื่อใยของกากมันสำปะหลังกับแหล่งวัตถุดิบชนิดพลังงานอื่นๆ ได้แก่ มันเส้น ข้าวโพดบด และปลายข้าว พบว่า กากมันสำปะหลังแห้ง มีเยื่อใยในระดับที่สูงกว่าแหล่งวัตถุดิบพลังงานที่ใช้โดยทั่วไป แต่อย่างไรก็ตาม ในงานวิจัยครั้งนี้ได้มีการประกอบสูตรอาหารขึ้นมาโดยที่พยายามให้โครงสร้างของวัตถุดิบในสูตรอาหารทั้ง 2 สูตรเหมือนกันมากที่สุด เพื่อศึกษาผลของกากมันสำปะหลังที่มีต่อกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ด ซึ่งพบว่าจากการศึกษาค่าพลังงานการอัดเม็ดของสูตรอาหารที่มีกากมันสำปะหลังเป็นองค์ประกอบมีค่าพลังงานการอัดเม็ดสูงกว่าสูตรปกติ ซึ่งเป็นผลมาจากสูตรอาหารที่มีกากมันสำปะหลัง อัดผ่านรูดายน์ยากกว่าสูตรปกติ เป็นผลค่าพลังงานในการอัดเม็ดสูงขึ้น และทำให้อุณหภูมิภายหลังการอัดเม็ดสูงขึ้นถึง 77.97 และ 81.60 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งยังส่งผลต่ออัตราการผลิตต่อชั่วโมงทำให้อัตราการผลิตต่อชั่วโมงของสูตรที่มีกากมันสำปะหลังต่ำกว่าสูตรปกติ ในสูตรอาหารสุกรน้ำหนัก 25-60 กิโลกรัมมีอัตราการผลิตเท่ากับ 3.64 และ 3.00 ตัน/ชั่วโมง ตามลำดับ และในสูตรอาหารสุกรน้ำหนัก 60-90 กิโลกรัมมีอัตราการผลิตเท่ากับ 3.50 และ 3.37 ตัน/ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งการแก้ปัญหาของการอัดเม็ดในสูตรอาหารที่ใช้กากมันสำปะหลัง มีหลายวิธี ได้แก่ การทำให้อาหารคงอยู่ในท่อคลุกไอน้ำนานขึ้น, การเพิ่มความชื้นของอาหารผงภายหลังกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ด ซึ่งวิธีการนี้ช่วยกระตุ้นสารเชื่อมตามธรรมชาติที่มีอยู่ในอาหาร ส่งผลให้คุณภาพเม็ดอาหารดีขึ้น การเปลี่ยนเส้นผ่านศูนย์กลางของรูดายน์ให้มีขนาดกว้างขึ้น แต่ปรับความหนาของจานอัดให้มีขนาดบางลง การปรับเปลี่ยนโครงสร้างของสูตรอาหารโดยการเพิ่มวัตถุดิบที่มีน้ำมันเป็นองค์ประกอบ เช่น รำละเอียด เป็นต้น ซึ่งการเพิ่มน้ำมันในสูตรอาหารจะช่วยเพิ่มกำลังการผลิตของโรงงานได้ อันเนื่องมาจากคุณสมบัติการหล่อลื่นของน้ำมันจะสามารถช่วยลดการเสียดสีของวัตถุดิบกับผิวของจานอัดได้

การเจลาติไนซ์นั้นจะเกิดขึ้นที่บริเวณพื้นผิวของเม็ดอาหาร แต่ขยายออกไปเพียงเล็กน้อยเท่านั้น Heffner and Pfost (1973) กล่าวว่าการเกิดเจลาติไนซ์ของแป้งนั้น จะเกิดขึ้นช่วงของกระบวนการคลุกไอน้ำ แต่จะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดตรงกระบวนการอัดเม็ด ซึ่งสอดคล้องกับ Skoch *et al.* (1981) กล่าวว่าการเจลาติไนซ์ของแป้งนั้นไม่ได้เกิดขึ้นในช่วงกระบวนการคลุกไอน้ำชนิดเร็ว แต่โมเลกุลของแป้งจะถูกทำให้เสียสภาพตอนที่แป้งถูกอัดผ่านรูดายน์ แต่แป้งก็สามารถเกิดการเจลาติไนซ์ได้ในกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ดชนิดช้า (long term condition) ได้ โดยการควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ระหว่าง 80 ถึง 90 องศาเซลเซียส หรือขึ้นอยู่กับกระบวนการอัดเม็ด เช่น ขนาด, ความเร็วในการหมุนของเมทริกซ์, ท่อคลุกไอน้ำ, อุณหภูมิ และเวลา (Collison and Chitton, 1974; Olkku and Rha, 1978) เช่นเดียวกับ Johnston *et al.*(1998) ซึ่งได้ทำการศึกษาผลของคุณภาพเม็ดอาหารจากการกระบวนการอัดเม็ดในรูปแบบต่าง ๆ พบว่า การคลุกไอน้ำชนิดช้า (long term condition) จะช่วยเพิ่มคุณภาพเม็ดอาหาร 46 เปอร์เซ็นต์ และการอัดเม็ดด้วยเครื่องเอกซ์แพนเดอร์จะช่วยปรับปรุงคุณภาพเม็ดอาหารเพิ่มขึ้น 23 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การทดลองที่ 2

สมรรถภาพการผลิต และคุณภาพซากในสุกรน้ำหนัก 25 -90 กิโลกรัม

ผลการศึกษาการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 0 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารที่ผ่านกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ด โดยสุกรเข้าทดสอบมีน้ำหนักเข้าก่อนการทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 22.73 และ 22.53 กิโลกรัมตามลำดับ และมีน้ำหนักสุดท้ายมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 87.79 และ 86.62 กิโลกรัม ตามลำดับ

สมรรถภาพการผลิตของสุกรน้ำหนัก 25-60 กิโลกรัม

ผลของการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 0 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารสุกรเพื่อศึกษาสมรรถภาพการผลิตของสุกรน้ำหนัก 25 -60 กิโลกรัม ดังแสดงในตารางที่ 14 พบว่า สุกรที่ได้รับอาหารที่มีกากมันสำปะหลังในระดับ 0, 10 เปอร์เซ็นต์ มี อัตราการเจริญเติบโตต่อวันเท่ากับ 718 และ 706 กรัมต่อวัน ตามลำดับ และประสิทธิการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวเท่ากับ 2.18 และ 2.24 ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยสุกรในกลุ่มที่ได้รับอาหารที่ไม่มีกากมันสำปะหลังเป็นองค์ประกอบ มีปริมาณการกินอาหารเท่ากับ 1560 กรัมต่อวัน ในขณะที่สุกรกลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีกากมันสำปะหลังเป็นองค์ประกอบในระดับ 10 % มีปริมาณการกินอาหาร 1580 กรัมต่อวัน ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ของอัตราการเจริญเติบโต และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวของสุกร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 14 ผลของสมรรถภาพการผลิตของสุกรน้ำหนัก 25 -60 กิโลกรัม

ลักษณะที่ศึกษา	ระดับกากมันสำปะหลังในสูตรอาหาร (%)		SE	P-value
	0	10		
น้ำหนักเริ่มต้น (กิโลกรัม)	23	23	0.4	0.7894
น้ำหนักสุดท้าย (กิโลกรัม)	50	49.35	0.2	0.2307
ระยะเวลาการเลี้ยง (วัน)	38	38	-	
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน)	718	706	15.3	0.3242
ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม/วัน)	1560	1580	0.016	0.1999
อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว	2.18	2.24	0.063	0.2268
อัตราการตาย และคัดทิ้ง (เปอร์เซ็นต์)	0	0	-	-

หมายเหตุ ไม่ได้ทำการเปรียบเทียบทางสถิติ

สมรรถภาพการผลิตของสุกรน้ำหนัก 60 -90 กิโลกรัม

ผลของการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 0 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารสุกรเพื่อศึกษาสมรรถภาพการผลิตของสุกรน้ำหนัก 60-90 กิโลกรัม ดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่า สุกรที่ได้รับอาหารที่มีกากมันสำปะหลังในระดับ 0, 10 เปอร์เซ็นต์ มี อัตราการเจริญเติบโตต่อวันเท่ากับ 821 และ 810 กรัมต่อวัน ตามลำดับ และประสิทธิการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวเท่ากับ 3.02 และ 3.03 ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) โดยสุกรในกลุ่มที่ได้รับอาหารที่ไม่มีกากมันสำปะหลังเป็นองค์ประกอบ มีปริมาณการกินอาหาร 2580 กรัมต่อวัน ในขณะที่สุกรกลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีกากมันสำปะหลังเป็นองค์ประกอบในระดับ 10 % มีปริมาณการกินอาหารเท่ากับ 2640 กรัมต่อวัน ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ของอัตราการเจริญเติบโต และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวของสุกร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 15 ผลของสมรรถภาพการผลิตของสุกรน้ำหนัก 60-90 กิโลกรัม

ลักษณะที่ศึกษา	ระดับกากมันสำปะหลังในสูตรอาหาร (%)		SE	P-value
	0	10		
น้ำหนักเริ่มต้น (กิโลกรัม)	50	49	0.2437	0.2307
น้ำหนักสุดท้าย (กิโลกรัม)	88	86	0.995	0.2816
ระยะเวลาการเลี้ยง (วัน)	46	46	-	-
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน)	821	810	31.555	0.6324
ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม/วัน)	2580	2640	0.1813	0.7047
อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว	3.02	3.03	0.1240	0.8561
อัตราการตาย และคัดทิ้ง (เปอร์เซ็นต์)	2.08	3.12	0.27	0.6704

หมายเหตุ ไม่ได้ทำการเปรียบเทียบทางสถิติ

สมรรถภาพการผลิตของสุกรน้ำหนัก 25 -90 กิโลกรัม

ผลของการทดลองใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 0 และ 10 เปอร์เซ็นต์เป็นองค์ประกอบในสูตรอาหารของ อาหารสุกรน้ำหนัก 25 -90 กิโลกรัม จะเห็นว่าปริมาณอาหารการกินได้ อัตราการเจริญเติบโต และ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว ของสุกรแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยการกินได้ เท่ากับ 2075 และ 2109 กรัมต่อวัน ตามลำดับ อัตราการเจริญเติบโต เท่ากับ 766 และ 758 กรัมต่อวันตามลำดับ และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว เท่ากับ 2.60 และ 2.64 ตามลำดับ ซึ่งตลอดการทดลองมีสุกรที่ตาย 2.08 และ 3.12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในสุกรระยะ รุ่น – ขุน ที่ได้รับอาหารที่มีกากมันสำปะหลังเป็นองค์ประกอบในระดับ 0 - 10 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 16 ผลของสมรรถภาพการผลิตของสุกรน้ำหนัก 25 -90 กิโลกรัม

ลักษณะที่ศึกษา	ระดับกากมันสำปะหลังในสูตรอาหาร		SE	P-value
	0	10%		
น้ำหนักเริ่มต้น (กิโลกรัม)	23	23	0.35	0.7894
น้ำหนักสุดท้าย (กิโลกรัม)	88	87	0.995	0.2816
ระยะเวลาการเลี้ยง (วัน)	84	84	-	-
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน)	766	758	8.24	0.6354
ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม/วัน)	2075	2109	21.30	0.6040
อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว	2.60	2.64	0.03	0.5953
อัตราการตาย และคัดทิ้ง	2.08	3.12	0.27	0.6704

หมายเหตุ ไม่ได้ทำการเปรียบเทียบทางสถิติ

สมรรถภาพการผลิตของสุกรน้ำหนัก 25 -90 กิโลกรัม พบว่าสูตรอาหารที่มีกากมันสำปะหลังเป็นองค์ประกอบ 10 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณการกินได้ต่อวันสูงกว่าสูตรอาหารที่ไม่มีกากมันสำปะหลังเป็นองค์ประกอบ คือ 1580 และ 1560 กรัมต่อวัน ตามลำดับ ในสุกรน้ำหนัก 25-60 กิโลกรัม และในสุกรน้ำหนัก 60-90 กิโลกรัม คือ 2075 และ 2109 กรัมต่อวัน ตามลำดับ Pond and Maner (1984) กล่าวว่าอาหารที่มีลักษณะฟ่าม จะมีผลทำให้กระเพาะมีความตึงเร็วส่งผลให้สุกรมีปริมาณการกินอาหารลดลง โดย พรทิมล (2551) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารสุกรน้ำหนัก 25 -90 กิโลกรัม ซึ่งได้ทำในรูปของอาหารอัดเม็ด พบว่าการอัดเม็ดอาหารทำให้อาหารไม่เป็นฝุ่น ไม่รบกวนการกินได้ของสุกร ทำให้ผลทางด้านสมรรถภาพการผลิตในด้านการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวของสุกรน้ำหนัก 25 -60 กิโลกรัม แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เช่นเดียวกับ ณัฐชนกและปฐมา (2549) รายงานว่าระดับมันสำปะหลังและอุณหภูมิไอน้ำที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหารจะทำให้เม็ดอาหารมีระดับการเข้าย่อยของเอนไซม์เพิ่มขึ้น โดย Baird (1973) ได้กล่าวว่า การอัดเม็ดช่วยลดปริมาณการกินต่อวันเฉลี่ย 3.6 เปอร์เซ็นต์ และช่วยปรับปรุงอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว 7.8 เปอร์เซ็นต์ พร้อมทั้งยังช่วยควบคุมการสูญเสียของอาหาร ได้ดีกว่าในรูปแบบของอาหารผง ซึ่ง Laird and Robertson (1963) พบว่าสุกรต้องการกินอาหารที่อัดเม็ดมากกว่าในรูปอาหารทั่วไปถึง 73 เปอร์เซ็นต์ ในปริมาณอาหารที่เท่ากัน โดย การที่สัตว์กิน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อาหารช้า ๆ จะทำให้อาหารเกิดการคลุกเคล้ากับน้ำลายมากขึ้นทำให้ สัตว์สามารถใช้ประโยชน์จากอาหารได้มากขึ้น Smits (1993) กล่าวว่าการอัดเม็ดไม่มีอิทธิพลต่อการวิธี proximate analysis ของอาหาร แต่ช่วยให้สัตว์มีกระบวนการย่อยที่ดีขึ้น

ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ อาหารที่ใช้ในสุกรแต่ละกลุ่มทดลองยังมีการปรับระดับปริมาณโภชนะให้ครบตามความต้องการของสุกร และระดับเยื่อใยในสูตรอาหารไม่สูงในระดับที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการใช้อาหาร โดยไม่เกิน 8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่ง Cunha (1977) กล่าวว่าประสิทธิภาพการใช้อาหารสุกรมีระดับเยื่อใยได้ถึง 8 เปอร์เซ็นต์ โดยมีการบดเยื่อใยให้ละเอียดพอผ่านตะแกรง 3 – 4 มิลลิเมตร โดยจากการศึกษาของ สุกัญญา (2546) ได้ทำการศึกษาผลของกากมันสำปะหลังต่อการย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ของโภชนะในสุกรรุ่น และสุกรขุน ในระยะสุกรรุ่นแบ่งกลุ่มการทดลองออกเป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มควบคุม กลุ่มที่ได้รับสูตรอาหารที่ใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการย่อยได้ของไขมัน และเยื่อใน ในกลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลังระดับ 0 เปอร์เซ็นต์ มีค่าการย่อยได้ต่ำกว่ากลุ่มที่มีกากมันสำปะหลังระดับ 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) ซึ่งพบว่าปริมาณเยื่อใยในกากมันสำปะหลังในรูปแบบของอาหารผง ส่งผลต่อการกินได้ของสัตว์ ซึ่งจากงานวิจัยของนารีรัตน์ (2552) พบว่า การใช้กากมันสำปะหลังในอาหารสุกรในรูปแบบ อาหารผง ที่ระดับ 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้ปริมาณการกินอาหารของสุกรมีแนวโน้มลดลง คือ 2657, 2585, 2561 และ 2461 กรัมต่อวัน และมีแนวโน้มลดลงของอัตราการเจริญเติบโต คือ 720, 710, 685 และ 680 กรัมต่อวัน แต่อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการใช้อาหารแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ซึ่ง Tribble *et al.* (1979) ได้รายงานเกี่ยวกับปริมาณฝุ่นที่มากเกินไปจะส่งผลต่อ สมรรถภาพการผลิตของสัตว์

คุณภาพซาก

ผลการศึกษาระดับการใช้กากมันสำปะหลังต่อลักษณะคุณภาพซาก ประกอบด้วย ความหนาไขมันสันหลัง และเปอร์เซ็นต์เนื้อแดง ในสุกรที่ได้รับอาหารที่มีกากมันสำปะหลังเป็นองค์ประกอบในระดับ 0 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 5 พบว่า สุกรที่ได้รับกากมันสำปะหลังเป็นองค์ประกอบในอาหารสุกร 0และ10 เปอร์เซ็นต์ สุกรมีลักษณะของความหนาไขมันสันหลัง และเปอร์เซ็นต์เนื้อแดง แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยสุกรในกลุ่มที่ได้รับอาหารที่ไม่มีกากมันสำปะหลังเป็นองค์ประกอบ และสุกรกลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีกากมันสำปะหลังเป็นองค์ประกอบ 10 เปอร์เซ็นต์ มีความหนาไขมันสันหลังเฉลี่ยเท่ากับ 12.23 และ 11.71

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มิลลิเมตร ตามลำดับ และมีเปอร์เซ็นต์เนื้อแดงเฉลี่ย เท่ากับ 56.86 และ 56.31 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลองเห็นได้ว่า การนำกากมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบอาหารสัตว์ ไม่มีผลทำให้คุณภาพซากเปลี่ยนแปลงไป ทั้งนี้เนื่องจากอาหารทั้ง 2 สูตรทดลองมีการปรับปริมาณโภชนะใกล้เคียงกัน และเพียงพอต่อความต้องการของสุกรในแต่ระยะ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ พรทิมล (2551) ที่ได้ทำการศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารสุกร เล็ก รุ่น ขุน ที่ระดับตั้งแต่ 0 – 40 เปอร์เซ็นต์ พบว่าลักษณะของปริมาณความหนาไขมันสันหลัง พื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน และเปอร์เซ็นต์เนื้อแดง แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)กับกลุ่มที่ไม่ใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหาร เช่นเดียวกับการศึกษาของ สุกัญญา (2546) และ นารีรัตน์ (2552) ที่ได้ทำการศึกษาผลของกากมันสำปะหลังต่อคุณภาพซาก ที่ระดับตั้งแต่ 0 – 30 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเปอร์เซ็นต์ซากอุ่น ความหนาไขมันสันหลัง ความยาวซาก และพื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) กับกลุ่มที่ไม่ใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหาร ในรายงานของสุรพันธ์ (2552) รายงานว่า ผลของอาหารผง และอาหารอัดเม็ดสูตรมันสำปะหลังในช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ ต่อคุณภาพซากสุกรระยะขุน พบว่า สุกรที่กินอาหารผงและอาหารอัดเม็ดช่วงอุณหภูมิต่างๆ มีค่าความหนาไขมันสันหลัง ความลึกของเนื้อสัน พื้นที่หน้าตัดสันหลังและเปอร์เซ็นต์เนื้อแดง แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิในการอัดเม็ดอาหารสูตรมันสำปะหลัง และลักษณะทางกายภาพ ของอาหาร ไม่มีผลต่อคุณภาพซากของสุกรระยะขุน เช่นเดียวกับ การศึกษาของ Chakrit (2000) ได้ทำการศึกษาระดับการใช้มันเส้นที่ระดับ 0, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารเพื่อทดแทนข้าวโพดในสุกรระยะ รุ่น-ขุน พบว่าคุณภาพซากในส่วนของเปอร์เซ็นต์ซาก ความยาวซาก ความหนาไขมันสันหลัง และเปอร์เซ็นต์เนื้อแดง ในแต่ละสูตรของอาหารทดลอง แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) สอดคล้องกับการศึกษาของสาโรชและเยาวมาลย์ (2528) ซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบระดับของมันสำปะหลังในสูตรอาหารที่ระดับ 0, 20, 40 และ 60 เปอร์เซ็นต์ พบว่าลักษณะซากไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่ง Campell *et al* . (1970) รายงานว่าระดับเยื่อใย 3.5, 5.5 และ 11.5 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารสุกรรุ่น และขุน โดยในแต่ละสูตรกำหนดให้มีระดับพลังงานเท่ากันตามความต้องการของสุกร พบว่าคุณภาพซากไม่แตกต่างกัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 17 คุณภาพซากของสุกรที่ได้รับกากมันสำปะหลังทั้ง 2 กลุ่มทดลอง

ลักษณะที่ศึกษา	ระดับของกากมันสำปะหลังในสูตรอาหาร		SE	P- value
	0 %	10 %		
น้ำหนักตัวสุดท้าย (กิโลกรัม)	87.79	86.62	0.45	0.2801
ความหนาไขมันสันหลัง (มิลลิเมตร)	12.228	11.71	0.15	0.1382
เปอร์เซ็นต์เนื้อแดง (%)	56.86	56.31	0.39	0.4894

ความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจของการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารคลุกไอน้ำอัดเม็ด

ความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจของการใช้กากมันสำปะหลังสูตรอาหารคลุกไอน้ำอัดเม็ด ทั้ง 2 ระยะ โดยทำการพิจารณาจากราคาอาหาร ค่าพลังงานอัดเม็ด และต้นทุนอาหารที่ใช้ในการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ดังต่อไปนี้

(หมายเหตุ : ราคาวัตถุดิบ ณ วันที่ 7 มกราคม 2553 และ วันที่ 3 มกราคม 2553)

1. ราคาอาหาร

เมื่อนำกากมันสำปะหลังทดแทนแหล่งพลังงานในสูตรอาหารที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ทดแทนข้าวโพด พบว่าทำให้ในอาหารสุกรน้ำหนัก 25 – 60 กิโลกรัม มีต้นทุนค่าอาหารราคาลดลงจาก 10.03 เป็น 9.81 บาทต่อกิโลกรัม ในรูปแบบอาหารผง โดยมีราคาต่างกัน 0.22 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งพบว่าในสุกรน้ำหนัก 25-60 กิโลกรัม กินอาหารเฉลี่ย 60 กิโลกรัมต่อตัว เพราะฉะนั้นพบว่า ในสุกรน้ำหนัก 25-60 กิโลกรัมสามารถลดต้นทุนค่าอาหารได้ 13.2 บาทต่อตัว โดยที่อัตราการเจริญเติบโตของสุกรน้ำหนัก 25-60 กิโลกรัมไม่แตกต่างจากสูตรปกติที่ไม่ได้ใช้กากมันสำปะหลัง ในส่วนของสุกรน้ำหนัก 60 -90 กิโลกรัม พบว่าเมื่อใช้กากมันสำปะหลังทดแทนข้าวโพดที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดต้นทุนค่าอาหารจาก 9.33 เป็น 8.98 บาทต่อกิโลกรัม ในรูปแบบอาหารผง โดยมีราคาต่างกัน 0.35 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งในสุกรน้ำหนัก 60-90 กิโลกรัม กินอาหารเฉลี่ย 120 กิโลกรัมต่อตัว เพราะฉะนั้นพบว่า ในระยะสุกรน้ำหนัก 60 -90 กิโลกรัม สามารถ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ลดต้นทุนค่าอาหารได้ 42 บาทต่อตัว โดยที่อัตราการเจริญเติบโตไม่แตกต่างจากสูตรที่ใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 18 ราคาอาหาร (บาท/กิโลกรัม)

ระยะทดลอง	ระดับของกากมันสำปะหลัง	
	0 %	10 %
สุกรน้ำหนัก 25-60 กิโลกรัม	10.03	9.81
สุกรน้ำหนัก 60-90 กิโลกรัม	9.33	8.98

2. ต้นทุนการอัดเม็ดในการผลิตอาหาร 1 ตัน

ในกระบวนการอัดเม็ด สามารถแบ่งการคำนวณต้นทุนออกเป็น 2 ประเภท คือ ต้นทุนคงที่ และต้นทุนผันแปร ซึ่งต้นทุนคงที่ หมายถึง ค่าใช้จ่ายในการผลิตที่เกิดจากการใช้ปัจจัยคงที่ หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งว่า ต้นทุนค่าใช้จ่ายหรือรายจ่ายที่ไม่ได้ขึ้นอยู่กับการผลิต กล่าวคือ ไม่ว่าจะผลิตปริมาณมาก หรือน้อย หรือไม่ผลิตเลย ก็จะเสียค่าใช้จ่ายในจำนวนคงที่ ถัดมาคือ ต้นทุนผันแปร หมายถึง ค่าใช้จ่ายหรือรายจ่ายในการผลิตที่เกิดจากการใช้ปัจจัยผันแปร หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งได้ว่าต้นทุนผันแปรเป็นค่าใช้จ่ายหรือรายจ่ายที่ขึ้นอยู่กับปริมาณการผลิต กล่าวคือ ถ้าผลิตมากก็จะเสียต้นทุนมาก ถ้าผลิตน้อยก็จะเสียต้นทุนน้อย และจะไม่ต้องจ่ายเลยถ้าไม่มีการผลิต ซึ่งในที่นี้จะเป็นการคำนวณต้นทุนผันแปรการอัดเม็ด ประกอบไปด้วย ค่าน้ำสำหรับไอน้ำ 0.53 บาทต่อตัน ค่าน้ำมันเตา 42.3 บาทต่อตัน ค่ากระแสไฟฟ้าแบ่งออกทั้งหมดเป็น 3 ค่า 1. ค่า FT 0.978 บาทต่อกิโลวัตต์ ค่ายูนิต 1.65 บาทต่อกิโลวัตต์ ค่าดีมาน 35 บาทต่อตัน ค่าภาษีไฟฟ้า 7 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 19 ราคาต้นทุนในการอัดเม็ดต่ออาหาร 1 ตัน (บาท/ตัน)

ระยะทดลอง	ระดับของกากมันสำปะหลัง	
	0 %	10 %
สุกรน้ำหนัก 25-60 กิโลกรัม	441.95	542.79
สุกรน้ำหนัก 60-90 กิโลกรัม	413.21	455.87

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. ต้นทุนค่าอาหารเมื่อราคากากมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่ไม่ได้ประโยชน์จากการใช้กากมันสำปะหลัง

ต้นทุนค่าอาหารเมื่อราคากากมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่ไม่ได้ประโยชน์จากการใช้กากมันสำปะหลัง ดังแสดงในตารางที่ 20 จากผลการศึกษาพบว่า

สูตรอาหารสุกรน้ำหนัก 25 -60 กิโลกรัม เมื่อใช้กากมันสำปะหลังเป็นองค์ประกอบที่ราคา 3.03 บาท (ราคาวัตถุดิบ ณ วันที่ 7 มกราคม 2553) รวมค่ากำลังการอัดเม็ด พบว่าต้นทุนค่าอาหารสุกรน้ำหนัก 25 – 60 กิโลกรัมมีราคาเท่ากับ 10.35 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอาหารปกติที่ไม่มีการใช้กากมันสำปะหลัง พบว่าสูตรอาหารที่ไม่มีการใช้กากมันสำปะหลังมีราคาเท่ากับ 10.47 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ในสูตรอาหารสุกรน้ำหนัก 25-60 กิโลกรัม สามารถใช้กากมันสำปะหลังเป็นองค์ประกอบในสูตรอาหารได้โดยที่ราคาไม่เกิน 4.2 บาท จะทำให้ราคาต้นทุนค่าอาหารเมื่อรวมค่ากำลังการอัดเม็ด มีราคาเท่ากับ 10.47 บาทต่อกิโลกรัม

สูตรอาหารสุกรน้ำหนัก 60 -90 กิโลกรัม เมื่อใช้กากมันสำปะหลังเป็นองค์ประกอบที่ราคา 2.73 บาท (ราคาวัตถุดิบ ณ วันที่ 3 มีนาคม 2553) รวมค่ากำลังการอัดเม็ด พบว่าต้นทุนค่าอาหารสุกรน้ำหนัก 60 – 90 กิโลกรัมมีราคาเท่ากับ 9.44 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอาหารปกติที่ไม่มีการใช้กากมันสำปะหลัง พบว่าสูตรอาหารที่ไม่มีการใช้กากมันสำปะหลังมีราคาเท่ากับ 9.75 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ในสูตรอาหารสุกรน้ำหนัก 60-90 กิโลกรัม สามารถใช้กากมันสำปะหลังเป็นองค์ประกอบในสูตรอาหารได้โดยที่ราคาไม่เกิน 5.7 บาท จะทำให้ราคาต้นทุนค่าอาหารเมื่อรวมค่ากำลังการอัดเม็ด มีราคาเท่ากับ 9.74 บาทต่อกิโลกรัม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 20 ต้นทุนอาหารสุกรเมื่อราคากากมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น

ระยะทดลอง	ราคากากมันสำปะหลัง (บาท/กิโลกรัม)	ระดับของกากมันสำปะหลัง
		10 %
สุกรน้ำหนัก 25-60 กิโลกรัม	3.03	10.35
	3.50	10.40
	4.00	10.45
	4.20	10.47
สุกรน้ำหนัก 60-90 กิโลกรัม	2.73	9.44
	3.5	9.52
	4.0	9.57
	4.5	9.62
	5.0	9.67
	5.7	9.74

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. ผลการศึกษาการใช้กากมันสำปะหลังที่มีต่อกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ด พบว่าสูตรอาหารที่มีการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้ค่าพลังงานในการอัดเม็ดสูงขึ้นจากสูตรที่ไม่มีการใช้กากมันสำปะหลัง โดยเพิ่มขึ้นจากสูตรอาหารที่ไม่มีการใช้กากมันสำปะหลัง 25 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารสุกรน้ำหนัก 25 -60 กิโลกรัม และเพิ่มขึ้น 12 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารสุกรน้ำหนัก 60-90 กิโลกรัม

2. ผลการศึกษาคุณภาพเม็ดอาหารซึ่งได้แก่ ความคงทนเม็ดอาหารมาตรฐาน ความคงทนเม็ดอาหารดัดแปร ความแข็งเม็ดอาหาร และความหนาแน่นเม็ดอาหาร พบว่าสูตรอาหารที่มีการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ มีคุณภาพเม็ดอาหารที่ด้อยกว่าเพียงเล็กน้อย ในสูตรอาหารสุกรน้ำหนัก 25 -60 กิโลกรัมแต่ในสูตรอาหารสุกรน้ำหนัก 60-90 กิโลกรัมพบว่าสูตรอาหารที่มีการใช้กากมันสำปะหลังมีคุณภาพเม็ดอาหารที่ดีกว่าเพียงเล็กน้อยเช่นกัน ซึ่งทั้ง 2 ระยะจัดว่าอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจสำหรับการผลิตอาหารอัดเม็ด เพื่อลดปัญหาต่างๆ ที่มีในอาหารผง

3. ผลของการใช้กากมันสำปะหลังทดแทนข้าวโพด ในอาหารสุกรน้ำหนัก 25-90 กิโลกรัม ที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโต อัตราการกินอาหาร และประสิทธิภาพการใช้อาหาร เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอาหารปกติที่ใช้ข้าวโพดเป็นแหล่งพลังงาน แต่อย่างไรก็ตามอัตราการเจริญเติบโต น้ำหนักตัวที่เพิ่ม และน้ำหนักสุดท้ายของสุกรที่ได้รับสูตรอาหารปกติให้ค่าเฉลี่ยที่ดีกว่า กลุ่มที่ใช้กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่าแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งลักษณะคุณภาพซากของสุกรในส่วนความหนาไขมันสันหลัง และเปอร์เซ็นต์เนื้อแดง พบว่า คุณภาพซากสุกรที่ใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหาร ในระดับ10 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ กับกลุ่มที่ใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหาร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้อเสนอแนะ

การเลือกใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารสุกรควรมีการตรวจสอบคุณค่าทางโภชนะของกากมันสำปะหลัง เนื่องจากกากมันสำปะหลังเป็น วัตถุดิบที่มีความแปรปรวนสูง มีฝุ่นมาก โรงงานควรมีระบบการจัดการฝุ่นที่มีประสิทธิภาพ การอัดเม็ดควรมีการเลือกใช้อุณหภูมิที่เหมาะสม และไม่สูงจนเกินไป เพราะจะทำให้เครื่องเกิดปัญหาขณะอัดเม็ด ซึ่งส่งผลต่อค่าไฟฟ้า และค่าบำรุงรักษาของเครื่องจักรในโรงงาน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมการค้าต่างประเทศ. 2546. รายงานสถานการณ์มันสำปะหลัง เดือน กันยายน 2546.

กานดา พันสุรินทร์, อุทัย คันโธ และ สุกัญญา จัตตุพรพงษ์. 2546. การศึกษาการเปรียบเทียบการใช้มันสำปะหลังและข้าวโพดในสูตรอาหารต่อระดับพีเอช ปริมาณจุลินทรีย์กลุ่มที่ก่อให้เกิดโรค/ไม่ก่อให้เกิดโรคที่ปลายลำไส้เล็กสุกรระยะรุ่น และในมูลสุกรระยะขุน. *ใน* เรื่องเต็มการประชุมวิชาการครั้งที่ 41 สาขาสัตว์ สัตวแพทย์ศาสตร์ ประมง.มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

กระทรงเกษตรและสหกรณ์. 2547. เอกสารวิชาการ มันสำปะหลัง สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ. กรุงเทพฯ. 225 น.

กล้าณรงค์ ศรีรอต. 2542. เทคโนโลยีของแป้ง. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพ ฯ.

_____ และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีการผลิตแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 3. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ

จิรวรรณ อภิรักษากร. 2540. การผลิตน้ำเชื่อมกลูโคสจากการย่อยกากมันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ

เจริญศักดิ์ โรจนฤทธิ์พิเชษฐ์. 2519 ก. มันสำปะหลัง. ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 249 น.

เจริญศักดิ์ โรจนฤทธิพิเชษฐ์. 2532 ข. มันสำปะหลังการปลูก อุตสาหกรรมแปรรูป และการใช้ประโยชน์. ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นารีรัตน์ เจริญวัฒนสกุล. 2552. ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารสุกรเล็ก รุ่น และขุนต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซาก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นันทวัน ธนะศรีสุธารัตน์, สุจิตตรา มูลชัยสุข และ สุพรรษา ตาถาวรรณ. 2545. ผลของการใช้มันสำปะหลังเปรียบเทียบกับข้าวโพดในอาหารไก่กระทงที่มีการเสริมและไม่เสริมยาปฏิชีวนะ. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปรีดา คำศรี. 2552. ผลการใช้กากมันสำปะหลังต่อลักษณะทางกายภาพของอาหาร สมรรถภาพผลิตและคุณภาพซากของไก่เนื้อ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พันทิพา พงษ์เพียรจันทร์. 2539. หลักการอาหารสัตว์ หลักโภชนศาสตร์และการประยุกต์ เล่ม 2. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, กรุงเทพฯ

พรทิมล ตนสิงห์. 2551. ผลของการใช้กากมันสำปะหลังต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซาก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พีรพจน์ นิติพจน์ และกฤตพล สมาตย์. 2546. การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนะอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องของกากมันสำปะหลังและเปลือกมันสำปะหลังโดยวิธี in vitro gas production technique. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ลัดดา แก้วตา. 2549. ผลของรูปแบบอาหารและระดับมันสำปะหลัง ต่อกระบวนการอัดเม็ด การย่อยได้ของสารอาหาร และสมรรถภาพการผลิตของลูกสุกรหย่านม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย. 2540. รายงานประจำปี 2540. กรุงเทพฯ

วัชรพงษ์ วัฒนกูล, ณรงค์ กิจพาณิชย์, สาโรช ค้าเจริญ และ สถาพร พาชีรัตน์. 2531. การศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของใบมันสำปะหลังป่นในอาหารมันสำปะหลังสำหรับสุกร. *ใน* การใช้วัสดุในท้องถิ่นเป็นอาหารสัตว์. ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, กรุงเทพฯ.

วีระพงษ์ วุฒิพันธุ์ชัย. 2536. บทที่ 6 การผลิตอาหารสัตว์น้ำ. หน้า 54-75. ใน: อาหารปลา. ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา. กรุงเทพฯ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วริยา โกสุม. 2552. ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารสุกรอนุบาลต่อสมรรถภาพการผลิต. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วัฒนะ วัฒนานน์. 2549. การผลิต การใช้ประโยชน์ งานวิจัยและพัฒนามันสำปะหลังในประเทศไทย. มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตกาญจนบุรี, กรุงเทพฯ

ณัฐชนก อมรเทวภัทร. 2548. เทคโนโลยีการผลิตอาหารสัตว์. คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 143 น.

_____. 2553. กระบวนการคลุกไอน้ำและอัดเม็ดจม. 127. ณัฐชนก อมรเทวภัทร การผลติอาหารสัตว์. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

_____, รวิพิมน์ ฉวีสุข, ชุติมา ไวศรายุทธ์ และวิเชียรชมชัย. 2546. รายงานสถานภาพอุตสาหกรรมการผลิตอาหารสัตว์ในประเทศไทย.

_____และ ปฐมา จาตกานนท์. 2549. ผลของอุณหภูมิคลุกไอน้ำอัดเม็ดและระดับมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่เนื้อต่อความคงทนของเม็ดอาหารและการใช้ประโยชน์ได้ของสารโภชนะแป้ง , น. 3-10. ใน รายงานประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 44 วันที่ 30 ม.ค.-2 ก.พ. 2549. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สาโรช ค้าเจริญ และเยาวมาลย์ ค้าเจริญ. 2531. การใช้มันสำปะหลังในอาหารสุกร เป็ด และไก่. ชุมนุมผู้เลี้ยงสุกร จำกัด, กรุงเทพฯ

สาโรช ค้าเจริญ. 2547. อาหารและการให้อาหารสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, กรุงเทพฯ. 667 น.

สาธิต ล้อแล้วมณี, อุทัย คันโธ และ สุกัญญา จัตตุพรพงษ์. 2546. การศึกษาเปรียบเทียบการใช้มันสำปะหลังและข้าวโพดในสูตรอาหารต่อเนื้อเยื่อลำไส้เล็กและระดับภูมิคุ้มกันต่อโรคอหิวาต์ในสุกร. *ใน* เรื่องเต็มการประชุมวิชาการครั้งที่ 41สาขาสัตว์ สัตวแพทย์ ประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สุรพันธ์ จิตวิริยนนท์. 2552. อิทธิพลของระดับอุณหภูมิในการอัดเม็ดอาหารสูตรมันสำปะหลังต่อกระบวนการอัดเม็ดอาหาร ปริมาณจุลินทรีย์และสมรรถภาพการผลิตของสุกร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2551. สถิติการเกษตรประเทศไทย ปี 2550.

เสกสม อาตมางกูร, ณัฐชนก อมรเทวภัทร, เนรมิต สุขมณี, สุกัญญา รัตนทิบทิมทอง, ยุวเรศ เรืองพานิช, ทิพย์มน ใยเกษ และ วรรณี ชิวปรีชา. 2550. การใช้ประโยชน์ของกากมันสำปะหลังในการนำมาเป็นอาหารสุกร. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ

สุกัญญา ทิมทอง 2546. ผลของกากมันสำปะหลังในอาหารต่อสมรรถนะการผลิตและคุณภาพซากของสุกรรุ่น – ขุน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยขอนแก่น

อนุชา ชะลอกลาง, อุทัย คันโธ, สมโภชน์ ทับเจริญ, สุกัญญา จัตตุพรพงษ์ และ ลอลิต้า เมฆสองสี. 2543. การใช้มันสำปะหลังทดแทนข้าวโพดสูตรอาหารสุกรรุ่น – ขุน. *ใน* เรื่องเต็มการประชุมวิชาการครั้งที่ 38 สาขาสัตว์ สัตวแพทย์ ประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

อุทัย คันโธ. 2529. อาหารและการผลิตอาหารเลี้ยงสุกรและสัตว์ปีก. ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัย-เกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม

อุทัย คันโธ. 2546. มันสำปะหลังวัตถุดิบอาหารสัตว์สำหรับสหัสวรรษใหม่ ตลาดยังกว้างไกลทั้งในประเทศและต่างประเทศส ตอนหนึ่ง. บทความพิเศษ/เอกสารวิเคราะห์, กรมการค้าต่างประเทศ. แหล่งที่มา :
http://www.dft.moc.go.th/document/Tropioca/data/article_animalfood.htm.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

_____ และ สุกัญญา จัตตุพรพงษ์. 2547. การใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์: ผลการใช้และข้อมูลการวิจัยในประเทศไทย. ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ สถาบันสุวรรณวาจกกสิกิจฯ และ ภาควิชาสัตวบาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม.

อังคณา หาญบรรจง และดวงสมร สินเจิมสิริ. 2532. การวิเคราะห์และประเมินคุณภาพอาหารสัตว์. ภาควิชาสัตวบาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

เอกรินทร์ ทองราม. 2550. การทดแทนปลายข้าวด้วยกากมันสำปะหลังผสมกากตะกอนเบียร์ในสูตรอาหารรุ่น–ขุน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Adam, C.F. 2008. The Effect of DDGS inclusion on Pellet Quality and Pelleting Performance. M.S. thesis, Kansas State University

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

Baird D.M. 1973. Influence of pelleting swine diets on metabolizable energy, growth and carcass characteristics. Journal of Animal Science, vol 36 no. 3:516-520

Balogun, T. F. and G. S. Bawa. 1997. Cassava peels in the diet of young pigs in Nigeria. Trop. Anim. Health Prod. 29 (4):209-215.

Cambell , E.W., G.C. Ashton and L.E. Loyd. 1970. Improvement of bacon carcass quality by the introduction of fibrous feeds into the hog finishing ration. J. Anim. Sci. 13:327

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Chakrit, R. 2000. Thailand promotes greater use of cassava. Asian Pork Magazine. 150: 26-31

Conn, E. E. 1994. Cyanogenesis-A personal perspective, pp. 31-44. *In* M. Bokanga, A. J. A. Essers, N. poulter, H. Rosling and O. Tewe (eds.). Acta Horticulture: International Workshop on Cassava Safety, 1-4 March 1994, Ibadan, Nigeria

Collinson, R. and Chitton, W.G. 1974. Starch gelatinization as ad function of water content. J. Feed Technol., 9: 305-315

Cunha, T. J. 1977. Swine Feeding and Nutrition. Academic Press, New York. 351p.

Defloor, I., I. Dehing, Leuven, and J.A. Decour. 1998. Physico-chemical properties of Cassava starch. *In* Starch/Starke. 50 (2-3):58-64

Doherty, O. JV., SG. Mcglynn and Murphy D. 2000. The effect of expander processing and pelleting on the nutritive value of feed for growing and finishing pig. Sci Food Agric 81: 135-141

Fahrenholz, C. H. 1989. Utilization of wheat milling by-products I. Ph.D. Dissertation. Kansas State University, Manhattan.

Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. 2009. FAOSTAT http://faostat.fao.org [16 September 2010]

Furuta, K., I. Oku and S. Morimoto. 1980. Effect of steam temperature in the pelleting process of chicken foof on the viability of contamination bacteria. Lab Anim. 14(4):293-296.

Gill, D.R. and Oldfield, J.E. 1965. Effects of pelleting and addition of fat to high barley rations on rate and efficiency of gains of swine. J. Anim. Sci., 24:599.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Goodband, R.D., M.D. Tokach and J.L. Nelssen. 2002. The Effect of Diet Particle Size on Animal Performance. Dept. of Grain Science and Industry, Kansas State University, Manhattan, Kansas.

Graham, H., J.G. Fadel, C.W. Newman and R.K. Newman. 1989. Effect of pelleting and β-glucanase supplementation on the ileal and fecal digestibility of a barley-based diet in the pig. 1,2 J. Anim. Sci. 67:1293-1298

Hedde, R.D., T.O. Lindsey, R.C. Parish, H.D. Daniels, E.A. Morgenthien and H.B. Lewis. 1985. Effect of diel particle size and feeding of H_2 –receptor antagonists on gastric ulcers in swine. J. Anim. Sci. 61: 179-186

Heffner L.E., Pfost H.B. 1973. Gelatinization during pelleting. Feedstuffs, 45 (23) : 32-33

Jimenez, R. F., C. Gonzalez, A. Ojeda, H. Vecchionacce and J. Ly. 2004. Performance traits of finishing pigs fed graded levels of cassava roots and a mixed foliage meal of cassava and trichanthera leaves. Livestock Research for Rural Development. Available Source: http://www.lrrd.org/lrrd17/2/jime17014.htm, 6 December 2008.

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

Jordan, K. 1983. Manioc in livestock feeds. Feed Comp. January:6-11.

Keith and C. Behnke. 2001. Factors influencing pellet quality. Feed tech volume 5 number 4: 19-22

Khajarern, J., S . Khajarern, K. Bunsiddhi and P. Sakiya. 1979. Determination of basic chemical parameters of cassava root products of diferrent origin, processing technology and

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

quality. Pp 13-32. In KKU – IDRC cassava/Nutrition Project 1978 Annunal Report, Khon Kaen University, KhonKaen, Thailand.

Khajarern, J., S. Khajaren, A. Sivapraphagon and L. Nandhapipat 1982. A survey on the changes in chemical composition of cassava root products in Khon Kaen region in 1980. pp 22 – 29. In KKU – IDRc Cassava/ Nutrition project 1976 Annual Report, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand.

Laird, R., Jr. and J. B. Robertson. 1963. A comparison of cubes and meal for growing and fattening pigs. Animal Prod. 5:97.

McCoy, R..A., K.C. Behnke, J.D. Hancock and R.R. McEllhiney. 1994. Effect of mixing uniformity on broiler chick performance. Poultry Sci. 73: 443-451.

Montaldo, A. 1977. Whole plant utilization of cassava for animal feed, pp. 95-106. In B. nestle and M. Graham, CassaVa as Animal Feed. Imt. Dev. Res. Center, IRDC-095, ttawa. Canada

Nguyaun, V.P. and V.N. Nguyaun. 2003. Protein enrich of cassava by product using *Aspergillus niger* and feeding to pigs. Available: http://www.mekarn.org/sareco3/phong%20hue.html, October 25, 2008.

Nitipot, P. and K. Sommart, 2003. Evaluation of ruminant nutritive value of cassava starch industry by products, energy feed sources and roughages using *in vitro* gas production technique. *In* Proceeding of Annual Agriculture Seminar for year 2003, 27-28 January, KKU., pp: 179-190

Nir, I. 1994. Effect of particle size on performance. 1. Corn. Poult. Sci. 73: 45-49

Olkku, J. and Rha, C.K. 1978. Gelatinisation of starch and wheat floue and starch. A review. Food Chem., 3:293-317.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Pond, W. G. and J.H. Maner. 1984. Swine Production and Nutrition. AVIPPublishing Company, Inc. Westport, Connecticut, U.S.A.

Pfost, H.B. 1976. Feed Manufacturing Technology. American Feed Manufactures Association, Inc. Virginia 22209. 574 p.

Parsons, A.S., N.P. Buchanan, K.P. Blemings, M.E. Wilson and J.S. Moritz. 2006. Effect of corn particle size and pellet texture on broiler performance in the growing Phase. J. Appl. Poult. Res. 15:245-255

Pond, W.G. and J.H. Maner.1984. Swine Production and Nutrition. AVI Publishing Company , Inc. Westpost, Connecticut, U.S.A

Pozza, P.C., Nunes R.V., Pozza, M.S.S., Richart S., Bellincanta O. and Oliveira F.G. 2000 Energy digestibility and metabolizibilty of swine diets in the pellet and meal form. [cited 27 september 2008] Available Source: http://e-revista.unioeste.br/index.php/scientiaagraria/article/download/2035/1607

Preston, R. L. 2002. Typical composition of commonly used feeds for sheep and cattle. [cited 11 september 2008] Avialable from : URL. http:// www. Vcn. Vnn.

Santisopasri, V ., K. Kurotijanawong, S Chotineeranat, K. Piyachomkwan, Sriroth, K., and C. G. Oates. 2001. Impact of water stress on yield and quality of cassava starch. *In* Inductrail Crops and Products. 13:115-129.

Smits B., A.W. Jongbloed and L.B.J. Sebek. 1993. Effect of pelleting and feeding level on apparent digestibility and feeding value of diets for growing-finishing pigs. Animal Feed Science and Technology, 45 (1994): 349-362.

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

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Skock, E.R., S.F. Binder, C.W. Deyoe, G.L. Allee and K.C. Behnke. 1983. Effects of steam pelleting conditions and extrusion cooking on a swine diet containing wheat middling. J. Anim. Sci. 57: 929-935

Sriroth K., Piyachomkwan, K. Wanlapatit, S. and Oates, C.G. 2000. Cassava Starch Technology: The Thai Experience. Starch/Starke. 52(11-12): 439-449.

Trbble, L.F., D.D. Harris, and D.E. Orr, Jr. 1979. Effect of pellet size (diameter) on performance of finishing swine. Proc. 27th Swine short Course. Texas Tech University Agric. Sci. Tech. Rep. T-5-144, p. 59.

Wondra, K.J., J.D. Hancock, K.C. Behke, R.H. Hines and C.R. stark. 1995. Effect of particle size and pelleting on growth performance, nutrient digestibility, and stomach morphology in finishing pigsm 1,2. J. Anim. Sci. 73:757-763.

Wisitiporn, S., P. Lounglawan and P. Noosen. 2006. Energy and protein evaluation of five feedstuffs. Used in diet in which cassava pulp as main energy source for lactating dairy cows. Suranaree J. Sci. Technol. 14(1): 99-107

Yutste, P. , M. A. Longstaff, J. M. McNab and C. McCorquodate. 1991. Anim. Feed Sci. Tech. 35 : 289.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

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 หรือ 5 x 23 เซนติเมตร วางทแยงภายในกล่อง และหมุนด้วยความเร็ว 50 รอบต่อนาที

2. ตะแกรงร่อนที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดอาหาร ในที่นี้ใช้ตะแกรงร่อนฝุ่น No. 6 ขนาดรูเปิด 4 มิลลิเมตร

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักเม็ดอาหารที่ร่อนฝุ่นออกด้วยตะแกรงร่อนฝุ่นแล้ว 500 กรัม (น้ำหนักก่อนเขย่า)

2. เทตัวอย่างเม็ดอาหารลงในกล่องเขย่าเป็นเวลา 10 นาที

3. ร่อนตัวอย่างเม็ดอาหารหลังการเขย่าเพื่อทำการแยกฝุ่นออกจากเม็ดอาหาร ด้วยตะแกรงร่อนฝุ่น

4. ชั่งน้ำหนักเม็ดอาหารที่ค้างอยู่บนตะแกรงร่อน (น้ำหนักหลังเขย่า)

5. คำนวณหาค่าความคงทนของเม็ดอาหาร โดยใช้สูตร

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

หมายเหตุ การวิเคราะห์สามารถใส่น็อตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ½ หรือ 1.27 เซนติเมตร จำนวน 5 ตัวลงในกล่องเพื่อเพิ่มความรุนแรงในการเขย่า โดยใช้สูตรในการคำนวณเหมือนเดิม ค่าที่ได้ เรียกว่า ค่าความคงทนดัดแปรของเม็ดอาหาร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การประเมินลักษณะซากของสุกรมีชีวิตโดยใช้เครื่องพิก สแกน

(Pig Scan รุ่น SFK Technology)

การประเมินลักษณะซากของสุกรที่ใช้ในปัจจุบันมีหลายวิธีซึ่งวิธีที่นิยมใช้ในฟาร์มมี 2 แบบ คือ การใช้เครื่องรีลไทม์ อัลตร้าซาวด์ (Real-time ultrasound) ซึ่งใช้หลักการของพลังงานไฟฟ้าถูกเปลี่ยนเป็นระบบคลื่นเสียงไปกระทบชั้นต่างๆ กันของเนื้อเยื่อเช่น เนื้อแดง ไขมัน และกระดูก คลื่นเสียงจะถูกเปลี่ยนกลับมาเป็นพลังงานไฟฟ้าและปรากฏเป็นภาพบนจอภาพ ซึ่งลักษณะซากที่ได้ คือ ความหนาไขมันสันหลัง พื้นที่หน้าตัดเนื้อสันและเปอร์เซ็นต์เนื้อแดง และการใช้เครื่อง พิก สแกน ซึ่งการทำงานของเครื่อง พิก สแกน จะคล้ายเครื่องรีลไทม์ อัลตร้าซาวด์ แต่ลักษณะการประมวลผลที่ได้คือ ความหนาไขมันสันหลังและเปอร์เซ็นต์เนื้อแดง

อุปกรณ์และเครื่องมือ

วิธีการประเมินลักษณะซากของสุกรมีชีวิตโดยใช้เครื่อง พิก สแกน

1. ชั่งน้ำหนักสุกร
2. จัดสุกรให้ยืนอยู่ในท่าที่นิ่ง
3. บันทึกข้อมูลของสุกรที่จะประเมินลักษณะซาก เช่น ทรีทเมนต์ เบอร์ เพศ

4. วัดตำแหน่ง (P1, P2, P3) โดย P1 วัดในตำแหน่งแนวเดียวกับซอกขาหน้าในตำแหน่ง P2 วัดแนวเดียวกับกระดูกซี่โครงซี่สุดท้าย P3 วัดในตำแหน่ง แนวเดียวกับซอกขาหลัง โดยทุกจุดวัดห่างจากแนวเส้นกลางหลัง 1.5-2.5 นิ้ว

5. ขูดขนบริเวณที่วัดตำแหน่งเพื่อให้เครื่องวัดสัมผัสกับผิวหนังสุกร จากนั้นใช้น้ำมันพืชทาบริเวณที่ทำเครื่องหมายทิ้งไว้ทั้ง 3 จุด

6. ใช้ probe กดทับลงบนหลังของสุกรบริเวณที่ทาน้ำมันพืช
7. บันทึกค่าความหนาไขมันสันหลังแต่ละจุด และเปอร์เซ็นต์เนื้อแดง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายศุภกร ภวะนันท์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	26 กันยายน 2528
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (เกษตรศาสตร์) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพ (2551)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์