



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์)
ปริญญา

.....
โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์

.....
สัตว์บาล

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ผลของอุณหภูมิอัดเม็ดอาหารสูตรข้าวโพด – กากถั่วเหลืองต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และโภชนะของเม็ดอาหาร สมรรถภาพการผลิต และการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหาร ในไก่เนื้อ

Effect of Pellet Temperature of Corn – Soy Based Diet on Physical and Nutritional Propertie of Feed Pellets, Growth Performance and Nutrient Availability in Broilers

นามผู้วิจัย นางสาวศิริวรรณ สมถา

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(..... ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสกสม อามมวงกูร, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(..... ผู้ช่วยศาสตราจารย์ยุวเรศ เรืองพานิช, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(..... ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณัฐชนก อมรเทวกัทร, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(..... ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสกสม อามมวงกูร, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....
(..... รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สิงสิงห์ มตาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของอุณหภูมิอัดเม็ดอาหารสูตรข้าวโพด-กากถั่วเหลืองต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และ
โภชนะของเม็ดอาหาร สมรรถภาพการผลิต และการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหารในไก่เนื้อ

Effect of Pelleting Temperature of Corn – Soy Based Diet on Physical and Nutritional
Properties of Feed Pellets, Growth Performance and Nutrient Availability in Broiler

โดย

นางสาวศิริวรรณ สมลา

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศิริวรรณ สมลา 2553: ผลของอุณหภูมิอัดเม็ดอาหารสูตรข้าวโพด – กากถั่วเหลืองต่อคุณสมบัติทางกายภาพและโภชนะของเม็ดอาหาร สมรรถภาพการผลิต และการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหารในไก่เนื้อ ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์) สาขาโภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสกสม อาตมางกูร, Ph.D. 67 หน้า

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิในการอัดเม็ดอาหารสูตรข้าวโพด

- กากถั่วเหลืองต่อคุณสมบัติทางกายภาพของเม็ดอาหาร สมรรถภาพการผลิต และค่าการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหารในไก่เนื้อ โดยแบ่งอาหารออกเป็น 3 กลุ่ม คือ อาหารอัดเม็ดที่อุณหภูมิ 85 90 และ 95°ซ แต่ละกลุ่มแบ่งออกเป็น 3 ระยะ (1-16 วัน, 17-35 วัน และ 36-49 วัน) ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการอัดเม็ดสูงขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตอาหารอัดเม็ดดีขึ้น โดยมีผลให้ค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตอาหารอัดเม็ด และค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตอัดเม็ดต่อตันลดลง แต่กำลังการผลิตไม่แตกต่างกัน ในส่วนของคุณสมบัติทางกายภาพของเม็ดอาหาร พบว่า อาหารทั้ง 3 ระยะมีค่าความคงทน และค่าความสูงของเม็ดอาหารมากขึ้น ($P<0.01$) ในขณะที่ค่าเปอร์เซ็นต์ฝุ่นและขนาดอนุภาคฝุ่นของอาหารลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) เมื่ออัดเม็ดอาหารด้วยอุณหภูมิอัดเม็ดที่สูงขึ้นจาก 85 เป็น 95°ซ สำหรับค่าความแข็งของเม็ดอาหารในไก่เนื้อระยะเล็กมีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิอัดเม็ดสูงขึ้นจาก 85 เป็น 95°ซ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) แต่ในไก่เนื้อระยะรุ่น และระยะท้ายมีค่าความแข็งของเม็ดอาหาร แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) และจากการศึกษาผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อค่าการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหารในไก่เนื้อ โดยใช้ไก่เนื้อสายพันธุ์ Ross 308 เพศผู้อายุ 21 วัน จำนวน 72 ตัว แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 8 ซ้ำ ซ้ำละ 3 ตัว พบว่า ค่าการใช้ประโยชน์ได้ของพลังงานรวมและในโตรเจนลดลง เมื่อไก่เนื้อได้รับอาหารอัดเม็ดที่อุณหภูมิสูงขึ้นจาก 85 เป็น 95°ซ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) สำหรับการศึกษาผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อโดยใช้ไก่เนื้อสายพันธุ์ Ross 308 เพศผู้อายุ 1 วัน จำนวน 9,600 ตัว แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 16 ซ้ำ ซ้ำละ 200 ตัว ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด พบว่า ไก่เนื้อระยะเล็กมีน้ำหนักตัวที่ลดลง ปริมาณอาหารที่กินและประสิทธิภาพการใช้อาหารด้อยลงเมื่อได้รับอาหารที่อัดเม็ดด้วยอุณหภูมิอัดเม็ดสูงขึ้น แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) ส่วนไก่เนื้อระยะรุ่นและระยะขุนมีสมรรถภาพการผลิต แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

Siriwan Somla 2010: Effect of Pellet Temperature of Corn – Soy Based Diet on Physical and Nutritional Properties of Feed Pellets, Growth Performance and Nutrient Availability in Broilers. 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. 67 pages.

The objective of this study was to determine the effect of pelleting temperature of corn soybean diet on physical properties of feed pellets, growth performance and nutrient availability in broilers. Three phase diets (1-16 day, 17-35 day and 36-49 day) were pelleted at the temperature of 85, 90 and 95°C in a randomized completely design. Increasing pelleting temperature of the diets resulted in the reduction of current ampere and electrical consumption of pelleting. Increasing pelleting temperature from 85 to 95°C resulted in increased pellet durability index, hardness and starch cooking ($P < 0.01$) but, the percentage of fines and fine particles size decreased ($P < 0.01$). For the nutrient availability study, the total of 72 twenty one days old Ross 308 male broiler chicks was allotted into 3 groups, 8 pens per groups and 3 chicks per pen in a randomized completely design. The chicks fed diet conditioned with increasing pelleting temperature from 85 to 95°C resulted in decreased ($P < 0.01$) energy and nitrogen utilization. For the growth performance study, the total of 9,600 day old Ross 308 male broiler chicks was allotted into 3 groups, 16 pens per groups and 200 chicks per pen in a randomized completely design. Results showed that bodyweight gain, feed intake and feed efficiency of starter phase decreased ($P < 0.01$) as fed with diet conditioned with increased temperature but there were no significant differences in grower and finisher phase.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้ากราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เสกสม อาตมางกูร ประธานกรรมการที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐชนก อมรเทวภัทร และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุวเรศ เรืองพานิช กรรมการที่ปรึกษา สำหรับการให้คำปรึกษา แนะนำ สนับสนุนและให้การตรวจแก้ไขข้อบกพร่องในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จไปได้ด้วยดี

ข้าพเจ้ากราบขอบพระคุณผู้บริหารบริษัท ชันพีค จำกัด ได้แก่ คุณสมเกียรติ ตั้งใจอารณ์ คุณพรชัย สุวิทย์รัตน์ และคุณจำลอง เดิมกลิ่นจันทร์ ที่ให้โอกาสในการศึกษาต่อระดับปริญญาโท โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณจำลอง เดิมกลิ่นจันทร์ ที่ให้การสนับสนุนในด้านต่างๆด้วยดีเสมอมา สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ในการให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย อาจารย์และเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตสัตว์ปีก ภาควิชาสัตวบาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสนที่ให้ความช่วยเหลือในระหว่างการวิจัยเป็นอย่างดี คุณเรณู ม้าทอง เพื่อนสนิทที่ให้ความช่วยเหลือในทุกๆอย่าง เพื่อน พี่ น้อง บริษัท ชันพีค จำกัด และสาขาวิชาสัตวบาล ตลอดจนผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่กล่าวนามและไม่ได้กล่าวนาม ณ ที่นี้ ที่ได้กรุณาสนับสนุนช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์

ข้าพเจ้ากราบขอบพระคุณ คุณแม่พรสุขแก้ว คุณพ่อแดง สมลา ที่ช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดมา การเรียนปริญญาโทในครั้งนี้ทำให้พบคำตอบบางอย่างในชีวิตและรักในวิชาชีพนี้มากยิ่งขึ้น คุณค่าและประโยชน์จากการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่ มารดา บิดา ครู อาจารย์ ผู้มีพระคุณทุกท่าน รวมถึงเกษตรกรไทยทุกคน

ศิริวรรณ สมลา

ตุลาคม 2553

สารบัญ

| | หน้า |
|----------------------------|------|
| สารบัญ | (1) |
| สารบัญตาราง | (2) |
| สารบัญภาพ | (4) |
| คำนำ | 1 |
| วัตถุประสงค์ | 3 |
| การตรวจเอกสาร | 4 |
| อุปกรณ์และวิธีการ | 21 |
| ผลและวิจารณ์ | 40 |
| สรุป | 53 |
| สรุป | 53 |
| ข้อเสนอแนะ | 54 |
| เอกสารและสิ่งอ้างอิง | 55 |
| ภาคผนวก | 62 |
| ประวัติการศึกษาและการทำงาน | 67 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | | หน้า |
|---------------------|--|------|
| 1 | ผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อคุณสมบัติทางกายภาพของเม็ดอาหารไก่เนื้อ | 14 |
| 2 | ผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อขนาดอนุภาคฝุ่นอาหาร (μm) อาหารไก่เนื้อ | 15 |
| 3 | ส่วนประกอบของวัตถุดิบในอาหารไก่เนื้ออายุ 1-16 วัน | 22 |
| 4 | ส่วนประกอบของวัตถุดิบในอาหารไก่เนื้ออายุ 17-35 วัน | 23 |
| 5 | ส่วนประกอบของวัตถุดิบในอาหารไก่เนื้ออายุ 36-49 วัน | 24 |
| 6 | ขนาดช่องเปิดของตะแกรงร้อนที่ใช้ในการทดลอง | 30 |
| 7 | ผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อประสิทธิภาพการผลิตอาหารไก่เนื้อ | 41 |
| 8 | ผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อคุณสมบัติทางกายภาพของเม็ดอาหารไก่เนื้ออายุ 1-49 วัน | 44 |
| 9 | ผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อค่าความสุกของเม็ดอาหารไก่เนื้อ | 45 |
| 10 | ผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อค่าการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหารในไก่เนื้อ | 47 |
| 11 | ผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อสมรรถภาพการผลิตไก่เนื้ออายุ 1-16 วัน | 49 |
| 12 | ผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อสมรรถภาพการผลิตไก่เนื้ออายุ 17-35 วัน | 51 |
| 13 | ผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อสมรรถภาพการผลิตไก่เนื้ออายุ 36-49 วัน | 51 |
| 14 | ผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อสมรรถภาพการผลิตไก่เนื้ออายุ 1-49 วัน | 51 |
| | | |
| ตารางผนวกที่ | | |
| 1 | ขนาดของตะแกรงร้อนที่ใช้ร่อนอาหารขนาดต่าง | 64 |

สารบัญภาพ

| ภาพที่ | | หน้า |
|------------|---|------|
| 1 | เครื่องบดแบบแฮมเมอร์มิลล์ | 9 |
| 2 | เครื่องบดแบบโรลเลอร์มิลล์ | 9 |
| 3 | กระบวนการผลิตอาหารอัดเม็ด | 13 |
| 4 | ผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อค่าความชื้นในอาหาร | 17 |
| ภาพผนวกที่ | | |
| 1 | เครื่องวัดความแข็งของเม็ดอาหาร | 66 |

ผลของอุณหภูมิอัดเม็ดอาหารสูตรข้าวโพด-ถั่วเหลืองต่อคุณสมบัติทางกายภาพ
และโภชนะของเม็ดอาหาร สมรรถภาพการผลิต และการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหาร
ในไก่เนื้อ

**Effect of Pellet Temperature of Corn-Soy Based Diet
on Physical and Nutritional Propertie of Feed Pellets, Growth Performance
and Nutrient Availability in Broilers**

คำนำ

การผลิตอาหารไก่เนื้อในระดับอุตสาหกรรมของประเทศไทย อยู่ในรูปของอาหารอัดเม็ด (pellet feed) หรืออาหารขบแตก (crumble feed) โดยอาหารทั้งสองชนิดดังกล่าวเป็นรูปแบบของอาหารที่ช่วยให้ไก่มีสมรรถภาพการผลิตดีที่สุด (น้ำหนักตัว ปริมาณอาหารที่กิน และประสิทธิภาพการใช้อาหาร) โดยการผลิตอาหารไก่เนื้อทั้งในรูปแบบของอาหารเม็ดหรืออาหารขบแตกจะต้องผ่านกระบวนการผลิตที่เรียกว่า “การคลุกไอน้ำอัดเม็ด” เพื่อเปลี่ยนลักษณะทางกายภาพของวัตถุดิบอาหารสัตว์จากสภาพที่เป็นผง ฟ้าม และความหนาแน่นต่ำ ให้อยู่ในรูปเม็ดอาหารรูปทรงระบอความยาวเม็ดอาหารสม่ำเสมอ สะดวกต่อการลำเลียงและการขนส่ง และยังทำให้อาหารมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น

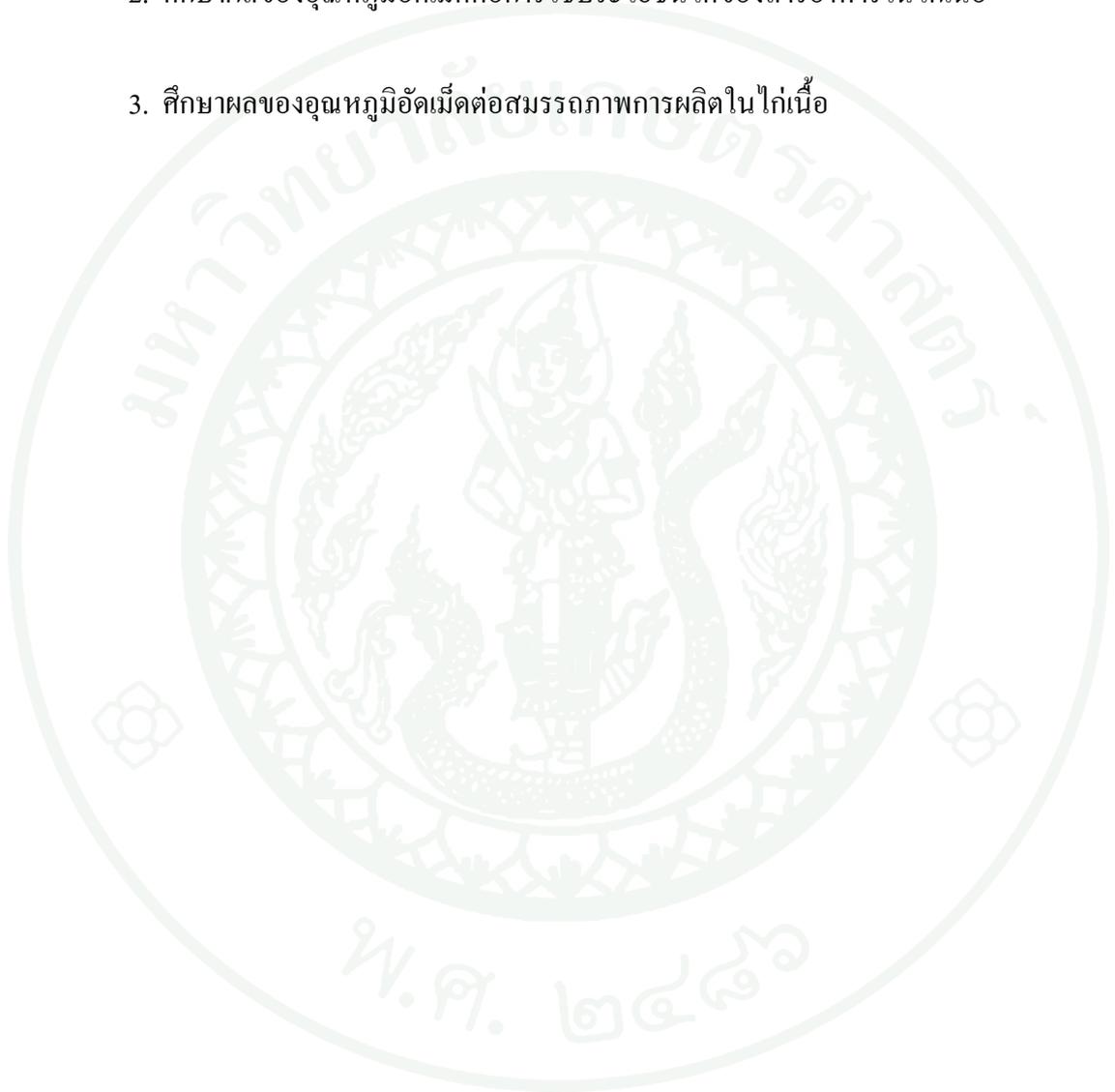
อุณหภูมิอัดเม็ดเป็นอุณหภูมิสมดุลระหว่างอุณหภูมิของไอน้ำที่คายออกให้กับอาหารผง และเป็นอุณหภูมิที่อาหารผงรับมาจากไอน้ำภายในท่อคลุกไอน้ำของเครื่องอัดเม็ดอาหารสัตว์ โดยมีเกจวัดอุณหภูมิติดที่ปลายทางออกของท่อคลุกไอน้ำเพื่ออ่านค่าอุณหภูมิ ความร้อนและความชื้นจากไอน้ำจะทำให้พื้นผิวภายนอกของวัตถุดิบอาหารสัตว์ภายในท่อคลุกไอน้ำนุ่มและอ่อนตัว ช่วยให้ขึ้นรูปเม็ดอาหารได้ง่ายขึ้น ใช้ค่าพลังงานการอัดเม็ดต่ำและลดการสึกหรอของงานอัดเม็ด โดยอุณหภูมิอัดเม็ด เป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งที่โรงงานอาหารสัตว์ใช้เป็นดัชนีบอกถึงคุณภาพของเม็ดอาหารที่ผลิตได้ทั้งในค่าความคงทนและความแข็งของเม็ดอาหาร

นอกจากนี้แล้วมาตรการความปลอดภัยในอาหาร (feed safety regulation) ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญต่อการผลิตอาหารไก่เนื้อ เนื่องจากอาหารไก่เนื้อที่ผลิตในประเทศไทยมากกว่าร้อยละ

ละ 50 เป็นอาหารที่นำไปเลี้ยงไก่เนื้อและแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เนื้อไก่ส่งออกซึ่งทางโรงงานได้ใช้การอัดเม็ดอาหารไก่เนื้อที่อุณหภูมิอัดเม็ดสูงเป็นจุดควบคุมและป้องกันเชื้อซาลโมเนลลา (*Salmonella spp.*) ปนเปื้อนในอาหารไก่เนื้อ เป็นสิ่งที่ผู้ผลิตอาหารให้ความสนใจ แต่อย่างไรก็ตามความร้อนที่ใช้สามารถที่จะทำให้ลายคุณค่าทางโภชนาของอาหารได้ เนื่องจากประเทศไทยมีความต้องการอาหารไก่เนื้อมากถึงกว่าปีละ 3.11 ล้านตันต่อปี สำหรับไก่เนื้อจำนวน 870 ล้านตัวต่อปี (สมาคมผู้ผลิตอาหารสัตว์, 2552) จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่เทคโนโลยีการผลิตอาหารไก่เนื้อด้วยการคลุกไอน้ำอัดเม็ด จะได้เม็ดอาหารไก่เนื้อที่มีทั้งคุณภาพทางกายภาพและทางโภชนาที่จะส่งเสริมให้ไก่มีการย่อยได้ของสารอาหารและสมรรถภาพการผลิตที่ดีที่สุด ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาถึงผลของอุณหภูมิอัดเม็ดซึ่งเป็นดัชนีสำคัญในการผลิตอาหารไก่เนื้อต่อคุณค่าทางโภชนาของเม็ดอาหารอันจะนำไปสู่สมรรถภาพการผลิตและการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหารในไก่เนื้อ

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อคุณภาพทางกายภาพและโภชนะของเม็ดอาหารไก่เนื้อ
2. ศึกษาผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหารในไก่เนื้อ
3. ศึกษาผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อสมรรถภาพการผลิตในไก่เนื้อ



การตรวจเอกสาร

สถานการณ์อุตสาหกรรมการผลิตไก่เนื้อ

การพัฒนาปศุสัตว์มีการพัฒนาและก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะอุตสาหกรรมไก่เนื้อ ทั้งเพื่อการบริโภคภายในประเทศและเพื่อการส่งออก การคาดการณ์ในปี พ.ศ.2553 คาดว่าผลผลิตไก่เนื้อของโลกที่สามารถผลิตได้ประมาณ 68.5 ล้านตัน

สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตไก่เนื้อของไทยในปี พ.ศ.2552 ประเทศไทยมีกำลังการผลิตประมาณ 15.8 ล้านตัว/สัปดาห์ คิดเป็นผลผลิตเนื้อไก่ประมาณ 1.2-1.3 ล้านตัน/ปี เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของตลาด การผลิตไก่เนื้อของไทยจัดอยู่ในลำดับที่ 10 ของโลก มีปริมาณผลผลิตคิดเป็นร้อยละ 2 ของผลผลิตเนื้อไก่ทั่วโลก และในปี พ.ศ.2553 คาดว่าการผลิตไก่เนื้อของไทยจะเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 8 จากปี พ.ศ.2552 โดยผลิตอยู่ที่ 16.8 ล้านตัว/สัปดาห์ คิดเป็นไก่เนื้อประมาณ 1.5 ล้านตันและมีความต้องการอาหารไก่เนื้อมากถึงปีละ 3.45 ล้านตันต่อปี

สถานการณ์การส่งออกในปี พ.ศ.2552 คาดว่าไทยยังคงเป็นผู้ส่งออกอันดับที่ 5 ของโลก ส่งออกได้ 330 พันตัน มูลค่า 36,961 ล้านบาท ตลาดส่งออกที่สำคัญคือ ญี่ปุ่นร้อยละ 44 สหภาพยุโรป ร้อยละ 47 และตลาดอื่นๆ อีกร้อยละ 9 โดยผลิตภัณฑ์ส่งออกปี พ.ศ.2553 เป็นเนื้อไก่แปรรูป ร้อยละ 97 และเนื้อไก่สดร้อยละ 3 คู่แข่งที่สำคัญคือ บราซิล จีน สหรัฐอเมริกา และอาร์เจนตินา (สมาคมผู้ผลิตอาหารสัตว์, 2552)

จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าอุตสาหกรรมการผลิตไก่เนื้อมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และในระบบอุตสาหกรรมการผลิตอาหารไก่เนื้อ อาหารจะอยู่ในรูปของอาหารอัดเม็ดหรืออาหารขบแตก โดยสภาวะการผลิตอาหารไก่เนื้อจะอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 85-90°C ระยะเวลา 10-15 วินาที และที่ระดับความชื้น 12-16% ด้วยข้อดีทั้งในด้านการขนส่งและการลำเลียง คือ ลดฝุ่นในการผลิต ลดการแยกตัวของส่วนผสม เพิ่มความหนาแน่นของอาหาร และข้อดีในด้านสมรรถภาพการผลิตที่มีการศึกษาวิจัยในต่างประเทศทั้งไก่เนื้อและไก่วง คือ เพิ่มอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน เพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหารของสัตว์ให้ดีขึ้น และเพิ่มการย่อยได้ของสารอาหาร (Israelsen *et al.*, 1995 และ Wilson and Beyer, 1997)

ความสำคัญของกระบวนการอัดเม็ดอาหาร

กระบวนการในการอัดเม็ดอาหารเริ่มขึ้นในทวีปยุโรป ก่อนปี ค.ศ. 1920 หลังจากนั้นจึงเริ่มมีการอัดเม็ดอาหารในประเทศสหรัฐอเมริกา และเริ่มได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้น โดยพบว่าโรงงานอาหารสัตว์ในสหรัฐอเมริกาประมาณ 80% มีกระบวนการผลิตอาหารอัดเม็ด เนื่องจากกระบวนการอัดเม็ดมีประโยชน์ต่ออาหารทั้งทางด้านกายภาพ และคุณค่าทางสารอาหาร (Schoeff, 1994) เพื่อให้สอดคล้องกับพันธุกรรมของสัตว์ที่มีการปรับปรุงพันธุ์ให้มีผลผลิตที่สูงขึ้น นอกจากนี้การอัดเม็ดอาหารมีผลช่วยยืดระยะเวลาในการเก็บรักษาอาหาร ลดการเกิดการแยกชั้นของอาหาร ลดการสูญเสียของอาหาร และช่วยเพิ่มความหนาแน่นของอาหาร

ณัฐชนก (2548) อธิบายว่าการอัดเม็ดอาหารมีวัตถุประสงค์หลัก 2 ส่วน คือวัตถุประสงค์ของกระบวนการคลุกไอน้ำก่อนการอัดเม็ดซึ่งมีผลเพิ่มความชื้นและอุณหภูมิกับอาหารผงด้วยไอน้ำเพิ่มประสิทธิภาพการอัดเม็ด และขึ้นรูปเป็นเม็ดอาหาร ลดการระเหยของมอเตอร์ทำให้การใช้พลังงานลดลง กระตุ้นสารเชื่อมธรรมชาติที่มีอยู่ในอาหารผง เช่น แป้ง โปรตีน ทำหน้าที่เป็นสารยึดระหว่างอนุภาคของอาหารผงให้อาหารเกาะตัวเป็นเม็ด ทำลายเชื้อแบคทีเรียที่ติดมากับวัตถุดิบ และวัตถุประสงค์ของการอัดเม็ดอีกประการหนึ่ง คือ การอัดเม็ดมีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหาร ลดการเลือกจิกอาหาร โดยเฉพาะในไก่ลดการสูญเสียอาหารในถังเลี้ยง เพิ่มการย่อยได้ของพลังงาน และ โปรตีน เพิ่มความหนาแน่นของอาหาร ลดความเป็นฝุ่นใน โรงงาน เพิ่มประสิทธิภาพในการลำเลียงอาหารในโรงงาน

Behnke (1994) รายงานผลของอาหารอัดเม็ดต่อการปรับปรุงสมรรถภาพการผลิตในไก่เนื้อพบว่า กระบวนการในการอัดเม็ดอาหาร มีผลลดการสูญเสียของอาหาร ลดการเลือกกินอาหารของสัตว์ ลดการแยกตัวของวัตถุดิบในอาหารสัตว์ ทำลายเชื้อโรคในอาหาร มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแป้งและโปรตีนในอาหาร รวมทั้งช่วยเพิ่มปริมาณการกินอาหาร

Fairfield (2003) รายงานว่ากระบวนการในการอัดเม็ดอาหารมีผลดีต่อการผลิตอาหารสัตว์ ดังนี้ ช่วยเพิ่มความหนาแน่นของอาหาร ช่วยปรับปรุงการไหลของอาหาร ช่วยลดต้นทุนค่าอาหาร เนื่องจากสามารถใช้วัตถุดิบในอาหารสัตว์ได้หลากหลายชนิด ดังนั้นการผลิตอาหารอัดเม็ดจึงเหมาะกับการผลิตอาหารสัตว์เพื่อการค้าที่ต้องการกำไรจากการผลิตอาหารสัตว์ว่าความดีเด่นเหนือพ่อแม่เกิดจากการรวมตัวของ gene ที่มีความแตกต่างกันมากเข้ามาอยู่รวมกันในสภาพ heterozygous โดย gene แต่ละคู่จะสนับสนุนซึ่งกันและกัน ส่งผลให้ลักษณะเด่นซึ่งเป็น

Moran (1989) รายงานว่าการที่สัตว์ได้รับอาหารอัดเม็ดจะทำให้สัตว์ประหยัดพลังงานในการเลือกกินอาหาร และการเคลื่อนไหวของอวัยวะในทางเดินอาหารลดลง นอกจากนี้อวัยวะของระบบทางเดินอาหารจะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

Dick (n.d.) รายงานว่า กระบวนการอัดเม็ดอาหาร การเอ็กซ์ทรูชัน เป็นกระบวนการที่ใช้ความร้อนสามารถลดปริมาณของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในอาหาร ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการลดปริมาณเชื้อ *Samonella spp.* ในอาหารอัดเม็ดขึ้นอยู่กับระดับความร้อนที่ใช้ในการอัดเม็ด ความชื้นในอาหาร และระยะเวลาที่ใช้อัดเม็ด

นอกจากนี้ McCapes *et al.* (1998) พบว่าการอัดเม็ดอาหารที่ต้องการฆ่าเชื้อ *Escherichia coli* และเชื้อ *Samonella spp.* ต้องใช้อุณหภูมิอัดเม็ดสูง 85.7°C ความชื้น 14.5% นาน 4.1 นาที ซึ่งในสภาวะดังกล่าวสามารถฆ่าเชื้อทั้ง 2 ชนิดได้ทั้งหมด Kimse *et al.* (2008) ศึกษาผลของระดับอุณหภูมิในการอัดเม็ดอาหารกระต่ายต่อการอยู่รอดของยีสต์ (*Saccharomyces cerevisiae*) ในอาหารเม็ด พบว่าการเพิ่มระดับอุณหภูมิในการอัดเม็ดอาหารจาก 19°C เป็น 80°C สามารถลดปริมาณของยีสต์ในอาหารจาก 3 log₁₀CFU/g DM เหลือ 2.5 log₁₀CFU/g DM และต่ำกว่า 2 log₁₀CFU/g DM ตามลำดับ ดังนั้นการอัดเม็ดที่อุณหภูมิสูง 80°C ไม่สามารถฆ่ายีสต์ได้ทั้งหมด

การผลิตอาหารอัดเม็ด

การผลิตอาหารอัดเม็ดมีความสำคัญต่อการผลิตสัตว์ในปัจจุบัน ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อเม็ดอาหารแตกต่างกัน อาทิ ลักษณะของสูตรอาหารมีผลต่อคุณภาพเม็ดอาหารประมาณ 40% ขนาดอนุภาควัตถุดิบ 20% ลักษณะงานอัดเม็ด 15 % การทำให้แห้งและเย็น 5 % ซึ่งการผลิตอาหารอัดเม็ดในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์มีขั้นตอนหลักๆ 8 ขั้นตอน (ณัฐชนก, 2548) ดังนี้

1. การรับวัตถุดิบ การตรวจรับวัตถุดิบเป็นการประเมินคุณภาพเบื้องต้น ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการประกันคุณภาพอาหารสัตว์ หลักในการตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบในทางปฏิบัติสามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ (สุกัญญา, 2539) ดังนี้

- 1.1 การตรวจสอบลักษณะคุณภาพ เป็นการตรวจสอบวัตถุดิบทางกายภาพเบื้องต้น โดยการใช้ประสาทสัมผัสต่างๆ อาทิ การใช้มือสัมผัส การใช้สายตา การใช้จมูกดมกลิ่น และการใช้ลิ้นชิม แต่การใช้ลิ้นชิมเป็นวิธีการที่ไม่นิยม เนื่องจากอาจได้รับสารที่เป็นอันตรายต่อร่างกายได้ง่าย

นอกจากนี้การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพอาจใช้กล้องจุลทรรศน์เพื่อจำแนกชนิด และประเภทของวัตถุดิบอาหารได้ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยพิจารณาจากขนาด รูปร่าง และลักษณะของเนื้อวัตถุดิบซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวของวัตถุดิบชนิดนั้น

1.2 การตรวจสอบลักษณะปริมาณ เป็นการตรวจสอบวัตถุดิบทางเคมี โดยการประเมินระดับของคุณค่าทางโภชนาที่เป็นองค์ประกอบในวัตถุดิบอาหารสัตว์ เพื่อใช้ในการคำนวณสูตรอาหารสัตว์ การวิเคราะห์ทางเคมี อาทิ การวิเคราะห์ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใย และแร่ธาตุ รวมทั้งการตรวจสอบสารพิษจากเชื้อราที่ปนเปื้อนในวัตถุดิบ และความสุกดิบของกากถั่วเหลือง

2. การบด (grinding) เป็นการแปรรูปวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ใช้บ่อยที่สุด และถือว่าเป็นวิธีการแปรรูปอาหารที่มีราคาถูกที่สุดวิธีหนึ่ง โดยวิธีการบดเป็นการลดขนาดของวัตถุดิบอาหารสัตว์ให้เล็กลงได้ขนาดตามต้องการ เพื่อวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

2.1 เพื่อเพิ่มการย่อยได้ วัตถุดิบประเภทข้าวโพด ข้าวฟ่าง มันเส้น และอื่นๆ บ้างก็มีขนาดใหญ่ บ้างก็มีเปลือกแข็งห่อหุ้มเมล็ด สัตว์ย่อยได้ยาก หากทำการบดให้มีขนาดเล็กลง เอนไซม์ในน้ำย่อยก็สามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้ดียิ่งขึ้น (สาโรช, 2547) สอดคล้องกับ Goodband *et al.* (2002) พบว่าการบดอาหารให้มีอนุภาคเล็กลงจะเพิ่มพื้นที่ของอาหารในการสัมผัสกับเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของสัตว์ ส่งผลให้สัตว์สามารถย่อยอาหารได้ดีขึ้น รวมทั้งลดพลังงานในการเคี้ยวของสัตว์ให้น้อยลง แต่การบดอาหารที่ละเอียดเกินไปส่งผลให้ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตอาหารเพิ่มขึ้น แต่กำลังการผลิตอาหารลดลง แต่ในบางการทดลองพบว่าอาหารไก่อเนื้อที่มีขนาดอนุภาคข้าวโพดที่ใหญ่ขึ้นจาก 525 เป็น 897 ไมครอน ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตไก่อเนื้อดีขึ้น (Nir, 1994) อาจเนื่องจากขนาดของเม็ดอาหารที่ใหญ่ขึ้น หรือการให้เมล็ดธัญพืชทั้งเมล็ดจะช่วยในการพัฒนาระบบทางเดินอาหารของไก่อเนื้อ โดยเฉพาะกล้ามเนื้อในส่วนองกระเพาะบดของไก่อเนื้อ และเพิ่มการขยายตัวของกระเพาะไก่อเนื้อน้อย ส่งผลให้อาหารอยู่ในระบบทางเดินอาหารนานขึ้น และมีการย่อยอาหารมากขึ้น Hetland *et al.* (2002) สอดคล้องกับ Parson *et al.* (2006) พบว่าไก่อเนื้อที่กินอาหารที่มีขนาดอนุภาคข้าวโพดปานกลางถึงหยาบที่มีขนาด 1,042 ถึง 2,242 ไมครอน มีการขยายขนาดของกระเพาะบด ทำให้อาหารอยู่ในระบบทางเดินอาหารนานขึ้น แต่ประสิทธิภาพการผลิตและค่าการใช้ประโยชน์ได้ของพลังงานต่ำกว่าไก่อเนื้อที่กินข้าวโพดที่มีขนาด 781 ถึง 950 ไมครอน

Goodband *et al.* (2002) รายงานว่าขนาดของอนุภาคอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์ทั่วไปควรมีขนาดอนุภาคประมาณ 600 ถึง 800 ไมครอน Healy *et al.* (1994) ศึกษาการบดเมล็ดข้าวโพดและ

เมล็ดข้าวฟ่างให้มีขนาดอนุภาค 900, 700, 500 และ 300 ไมครอน พบว่าขนาดของอนุภาควัตถุดิบที่เล็กลงมีผลต่อการลดกำลังการผลิต แต่มีผลต่อการเพิ่มพลังงานไฟฟ้า รวมทั้งการบดข้าวโพดต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการบดสูง แต่ให้ผลผลิตในการบดน้อยกว่าการบดข้าวฟ่าง

2.2 เพื่อให้ผสมวัตถุดิบอาหารสัตว์เข้ากันได้ดียิ่งขึ้น อาหารที่บดจนมีขนาดละเอียดสม่ำเสมอผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีกว่าอาหารที่มีขนาดแตกต่างกัน สัตว์บางชนิดจะเลือกกินอาหารชิ้นใหญ่ก่อน เมื่อหมดแล้วค่อยมากินอาหารที่บดละเอียดขึ้น โดยเฉพาะในไก่ จึงได้รับโภชนาการแปรไปตามชิ้นส่วนของอาหารที่กิน หากอาหารผสมเข้ากันเป็นเนื้อเดียวไม่มีการแยกตัว สัตว์เลือกกินไม่ได้จึงได้รับอาหารที่มีโภชนาการสม่ำเสมอ เป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหารอีกทางหนึ่ง (สาริธ, 2547)

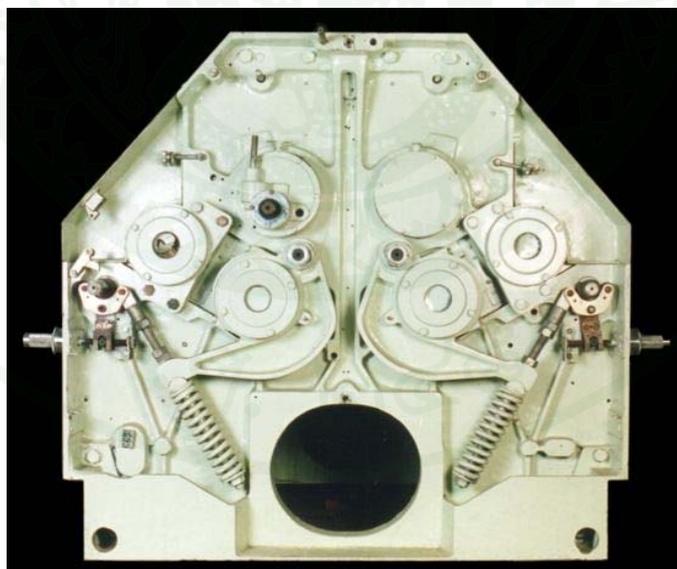
2.3 เพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการอาหาร ทั้งการทำให้แห้ง การทำให้สุก และทำลายสารพิษ ตลอดจนการอัดเม็ด การเอ็กซ์ทรูชัน และการให้อาหารแก่สัตว์ เพราะอาหารมีขนาดเท่าๆกันเมื่อนำไปทำให้แห้งหรือทำให้สุกก็ต้องการอุณหภูมิและเวลาที่แปรปรูปเท่ากัน แห้งหรือสุกสม่ำเสมอ เมื่อผสมในสูตรอาหารก็เข้ากันได้ดี เมื่อตัดให้สัตว์กินก็ยอมได้คุณภาพสม่ำเสมอ และหากนำไปอัดเม็ดจะได้เม็ดอาหารที่เกาะตัวกันได้ดี มีปริมาณโภชนาการครบถ้วน (สาริธ, 2547)

สำหรับเครื่องบดอาหารที่นิยมใช้ในโรงงานอาหารสัตว์ คือ เครื่องบดอาหารแบบแฮมเมอร์ มิลล์ (ภาพที่ 1) นอกจากนี้อาจใช้เครื่องบดแบบโรลเลอร์ มิลล์ (ภาพที่ 2) ในการขบเม็ดอาหารที่ต้องการให้มีลักษณะเป็นเกล็ดหรือเม็ดขบ และอาหารสัตว์ที่ต้องการวัตถุดิบที่มีอนุภาคละเอียดสูง



ภาพที่ 1 เครื่องบดแบบแฮมเมอร์มิลล์

ที่มา: Healy *et al.* (1994)



ภาพที่ 2 เครื่องบดแบบโรลเลอร์มิลล์

ที่มา: Healy *et al.* (1994)

3. การผสมอาหาร มีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้วัตถุดิบทั้งหมดในอาหารสัตว์ผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน เพื่อให้สารอาหารในวัตถุดิบมีการกระจายตัวสม่ำเสมอ ส่งผลให้สัตว์สามารถเจริญเติบโตให้ผลผลิต และสุขภาพดี เนื่องจากได้รับสารอาหารและสารที่เสริมในอาหารครบถ้วน (Behnke and Beyer, n.d.) เครื่องผสมอาหารที่ใช้ในโรงงานอาหารสัตว์ มีทั้งเครื่องผสมอาหารแบบถังตั้ง และเครื่องผสมอาหารแบบถังนอน เครื่องผสมอาหารทำหน้าที่ผสมคลุกเคล้าวัตถุดิบให้เป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อนำอาหารนั้นไปผ่านกระบวนการอัดเม็ดจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการอัดเม็ด และความคงทนของเม็ดอาหาร หลังจากการผสมอาหารสัตว์ควรมีการทดสอบความสม่ำเสมอในการกระจายตัวของอาหาร โดยทั่วไปทดสอบโดยใช้ตัวบ่งชี้จากเกลือ ซึ่งการวิเคราะห์ควรเป็นวิธีที่ทำได้รวดเร็ว และราคาไม่แพง เช่น วิเคราะห์ประจุของคลอไรด์หรือประจุโซเดียมในเกลือ โดยใช้ขั้วไฟฟ้าที่จำเพาะต่อประจุ (Eisenberg, 1992) การประเมินประสิทธิภาพของเครื่องผสมโดยวิธีการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารติดตาม (tracer) ในตัวอย่างอาหารที่สุ่มเก็บมาจากเครื่องผสมจำนวน 10 จุด เพื่อประเมินค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (coefficient of variation: CV) ของระดับสารติดตามในตัวอย่างอาหารสัตว์ ซึ่งค่า CV ที่ยอมรับโดยทั่วไปต้องไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ หากค่า CV เกินกว่า 10% ถือว่าเครื่องผสมนั้นจะต้องได้รับการปรับปรุงแก้ไขใหม่

McCoy *et al.* (1994) รายงานผลของระยะเวลาในการผสมอาหารต่อประสิทธิภาพในการผลิตไก่เนื้อ และทำการศึกษาประสิทธิภาพในการผสมอาหารต่อประสิทธิภาพการผลิตไก่เนื้ออายุ 1-24 วัน พบว่าระยะเวลาในการผสมอาหารไม่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย ปริมาณการกินอาหารเฉลี่ย ความแข็งแรงของกระดูก และปริมาณเถ้า ปริมาณของโปรตีน ไขมัน และเถ้าในซาก ($P>0.10$) แต่ในไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มีประสิทธิภาพในการผสมที่ดี มีอัตราการเจริญเติบโตต่อปริมาณอาหารที่กินดีขึ้นประมาณ 3.5%

4. การคลุกไอน้ำและการอัดเม็ดอาหาร หลังจากทีอาหารผ่านเครื่องผสม อาหารจะถูกลำเลียงเข้าสู่เครื่องคลุกไอน้ำและอัดเม็ด โดยความร้อนและความชื้นจากไอน้ำในเครื่องคลุกไอน้ำ จะทำให้อาหารพองมีอุณหภูมิและความชื้นสูงขึ้น ทำให้แป้งในวัตถุดิบอาหารสัตว์สุก (Reimer and Beggs, 1993) รวมทั้งไอน้ำที่เกาะอยู่กับอาหารจะทำให้อาหารชุ่มชื้นและอ่อนตัวลง ทำให้เกิดการหล่อลื่น ลดการเสียดสีระหว่างอาหารกับผนังของจานอัดเม็ด (Skoch *et al.*, 1981)

Moran (1989) ได้กล่าวถึงขั้นตอนในการอัดเม็ดอาหารดังนี้ การอัดเม็ดอาหารสัตว์จะต้องมีการปรับสภาพด้วยไอน้ำ (conditioning) การอัดผ่านรูของจานอัด (die extrusion) และการทำให้เม็ดอาหารเย็นและแห้ง (cooling and drying) ซึ่งการปรับสภาพอาหารด้วยไอน้ำกระทำโดย

การเพิ่มไอน้ำเข้าไปในอาหาร พร้อมกับการผสมคลุกเคล้าอยู่ตลอดเวลาานาน 10-30 วินาที แล้วจึงเคลื่อนเข้าสู่จานอัด ในขั้นตอนนี้ความชื้นของอาหารเพิ่มขึ้นประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ และอุณหภูมิของส่วนผสมเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 70-90°C แรงดันไอน้ำจะเป็นปัจจัยสำคัญที่จะเพิ่มความชื้นและอุณหภูมิของอาหารก่อนอัด สำหรับอาหารที่จะถูกอัดเม็ดจะถูกอัดผ่านรูของจานอัดโดยแรงอัดของลูกกลิ้งที่มีผิวเป็นร่องจับอาหาร (rollers) จานอัดที่ใช้มีรูหลายขนาด และมีความหนา (ความยาวของรูที่เจาะ) ประมาณ 7-10 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของรู แรงเสียดสีที่เกิดขึ้นขณะที่อาหารผ่านรูจะทำให้เกิดความร้อนเพิ่มขึ้น ความร้อนที่เกิดขึ้นผันแปรไปกับขนาดและความยาวของรูและการออกแบบรูจานอัด ความชื้นในอาหารจะช่วยให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี เช่น ทำให้แป้งสุก (gelatinize) ซึ่งจะมีผลต่อเนื่องไปถึงกับการจับกันเป็นเม็ดของอาหาร ตลอดจนช่วยหล่อลื่นให้อาหารเคลื่อนผ่านรูอัดได้ง่ายขึ้นลดแรงเสียดสีลง โดยปกติเม็ดอาหารที่ผ่านออกมาจากรูอัดจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 5°C หากอาหารได้รับการปรับสภาพด้วยไอน้ำก่อน ส่วนในกรณีที่อาหารไม่ได้รับการปรับสภาพด้วยไอน้ำก่อนอัด อุณหภูมิของอาหารที่ผ่านจานอัดจะเพิ่มขึ้นประมาณ 25°C

5. การเอ็กซ์ทรูชัน (extrusion) เป็นกระบวนการผลิตอาหารเม็ดพอง โดยใช้ในการผลิตอาหารสัตว์เลี้ยงที่มีรูปร่างต่างๆ และอาหารสัตว์น้ำที่สามารถลอยน้ำได้ แต่ไม่นิยมใช้ในปศุสัตว์ การเอ็กซ์ทรูชันเป็นกระบวนการที่ใช้ความร้อน ความชื้น และแรงเฉือน โดยปริมาณความร้อนและความดันที่ใช้ในการทำอาหารเม็ดประเภทลอยน้ำประมาณ 100-120°C และอาหารมีความชื้นประมาณ 25%

6. การทำให้อาหารแห้งและเย็น เพื่อระเหยความชื้นจากการคลุกไอน้ำ และทำให้เม็ดอาหารมีอุณหภูมิลดลง อาหารอัดเม็ดที่ผ่านออกจากจานอัดเม็ดมีความร้อนสูง 90-100°C และมีความชื้นสูง 15-17% ซึ่งไม่สามารถบรรจุลงถุงอาหาร หากบรรจุอาหารที่มีความร้อนและความชื้นสูงลงถุงอาหาร จะส่งผลให้อาหารเสียหายจากเชื้อรา นอกจากนี้อาหารที่เพิ่งผ่านกระบวนการอัดเม็ด เม็ดอาหารจะมีความอ่อนตัว หากบรรจุใส่ถุงทันทีจะส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ฝุ่นในอาหารสูงชัน ดังนั้นเม็ดอาหารจะมีความคงทนมากขึ้นหลังจากที่ผ่านกระบวนการทำให้แห้งและเย็น โดยอาหารที่ผ่านกระบวนการอัดเม็ดจะถูกลำเลียงเข้าสู่เครื่องลดความชื้นและอุณหภูมิเม็ดอาหาร ทำให้อาหารแห้งขึ้น ส่งผลให้อาหารที่ผ่านกระบวนการทำให้แห้งและเย็น มีระดับอุณหภูมิ 25-30°C ความชื้น 12-13% รวมทั้งความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของอาหาร และอุณหภูมิลังแวดล้อมไม่ควรเกิน $\pm 5^{\circ}\text{C}$

Moran (1989) อธิบายว่าอาหารเม็ดที่ผ่านงานอัดมาจะมีความร้อนสูงจึงต้องใช้ลมเป่าทำให้ค่อยๆ เย็นลงจนมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้อง 6-8°C ขณะเดียวกันความชื้นในเม็ดอาหารจะถูกระเหยออกไปจนลดลงเหลือเท่าๆ กับความชื้นในอาหารผงก่อนการพ่นไอน้ำหรือสูงกว่าเล็กน้อย หลังจากนั้นก็จะถูกลำเลียงเข้าสู่ส่วนที่ทำให้แห้ง (drying cyclone) เพื่อทิ้งให้เย็นเท่าอุณหภูมิของบรรยากาศ และจะถูกลำเลียงเพื่อไปบรรจุ ซึ่งจะต้องผ่านตะแกรงร้อนเพื่อแยกเอาผงหรือเม็ดที่แตกหักมีขนาดเล็ก (fine) ไปอัดเม็ดใหม่

7. การขบเม็ดอาหาร เป็นขั้นตอนการลดขนาดเม็ดอาหาร โดยการนำเม็ดอาหารผ่านการขบให้แตกด้วยลูกกลิ้ง ซึ่งนิยมใช้ในการผลิตอาหารไก่เนื้อ และอาหารกึ่งกุดาคำวัยอ่อน แต่ข้อเสียในกระบวนการขบเม็ดอาหารคือ ถ้าหากเม็ดอาหารมีความแข็งต่ำอาจส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ฝุ่นในการผลิตอาหารสูงขึ้น

8. การบรรจุ อาหารที่ผลิตจากโรงงานอาหารสัตว์จะถูกบรรจุในถุง ถุงละ 25-50 กิโลกรัม แต่โดยส่วนมากมีน้ำหนัก 30 กิโลกรัม การบรรจุอาหารในถุงเพื่อป้องกันการปนเปื้อนในอาหารหลังจากนั้นจึงลำเลียงไปเพื่อจำหน่าย

จากกระบวนการผลิตอาหารอัดเม็ดที่กล่าวมาข้างต้น สามารถแบ่งกระบวนการผลิตอาหารอัดเม็ดออกเป็น 2 ประเภทคือ กระบวนการผลิตอาหารอัดเม็ดแบบ pre- grinding คือ การบดวัตถุดิบที่ละชนิดแยกออกจากกัน แล้วจึงทำการชั่งวัตถุดิบแต่ละชนิดตามปริมาณที่กำหนดเพื่อเข้าสู่กระบวนการผสมและอัดเม็ด และกระบวนการผลิตอาหารอัดเม็ดแบบ post- grinding คือ การชั่งวัตถุดิบแต่ละชนิดตามปริมาณที่กำหนดแล้วจึงทำการบดวัตถุดิบทั้งหมดพร้อมกันดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 กระบวนการผลิตอาหารอัดเม็ด

หมายเหตุ 1 คือ การอัดเม็ดแบบ pre-grinding และ 2 คือ การอัดเม็ดแบบ post-grinding

ที่มา: Moran (1989)

ผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อคุณสมบัติทางกายภาพของเม็ดอาหาร

Remus (2002) ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิอัดเม็ดที่สูงขึ้นจาก 75-85 °ซ ในอาหารไก่เนื้อ พบว่าเมื่อระดับของอุณหภูมิอัดเม็ดสูงขึ้นจะส่งผลต่อคุณภาพของเม็ดอาหารที่ดีขึ้น โดยเม็ดอาหารจะมีค่าความคงทนและค่าความแข็งสูงขึ้น ในขณะที่ค่าเปอร์เซ็นต์ฝุ่นของอาหารมีค่าลดลง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) ดังแสดงในตารางที่ 1 เนื่องจากอุณหภูมิอัดเม็ดที่สูงขึ้นจะมีผลทำให้เกิดกระบวนการเจลาติไนซ์ (gelatinization) ของอนุภาคแป้งในวัตถุดิบได้มากขึ้น ส่งผลต่อการเชื่อมต่อระหว่างอนุภาคของวัตถุดิบ กระตุ้นการเกิดสารเชื่อมตามธรรมชาติ เม็ดอาหารจึงถูกอัดแน่นได้มากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 1 ผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อคุณสมบัติทางกายภาพของเม็ดอาหารไก่เนื้อ

| อายุ (วัน) | คุณภาพทางกายภาพของเม็ดอาหาร | อุณหภูมิอัดเม็ด (°ซ) | | | P-value | Pooled SE |
|---------------|-----------------------------|----------------------|--------------------|--------------------|---------|-----------|
| | | 75 | 80 | 85 | | |
| 1-14 | ค่าความคงทน (%) | 89.50 ^C | 90.90 ^B | 94.50 ^A | <0.001 | 3.22 |
| | ค่าความแข็ง (kg force) | 1.82 ^C | 2.15 ^B | 2.30 ^A | <0.001 | 4.16 |
| | ค่าเปอร์เซ็นต์ฝุ่น (%) | 15.10 ^A | 14.70 ^B | 14.10 ^C | <0.0001 | 3.88 |
| 15-30 | ค่าความคงทน (%) | 90.20 ^B | 90.00 ^B | 93.10 ^A | <0.001 | 3.25 |
| | ค่าความแข็ง (kg force) | 3.73 | 3.85 | 3.93 | <0.001 | 4.22 |
| | ค่าเปอร์เซ็นต์ฝุ่น (%) | 18.00 ^A | 17.72 ^B | 17.21 ^C | <0.0001 | 3.77 |
| 31-40 | ค่าความคงทน (%) | 90.10 ^B | 90.25 ^B | 93.34 ^A | <0.001 | 3.44 |
| | ค่าความแข็ง (kg force) | 6.53 | 6.78 | 6.98 | <0.001 | 4.36 |
| | ค่าเปอร์เซ็นต์ฝุ่น (%) | 19.51 ^A | 19.20 ^B | 18.63 ^C | <0.0001 | 3.93 |

A, B, C อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแถวเดียวกัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$)

ที่มา: Remus (2002)

นอกจากนี้ Cutlip *et al.*, (2008) รายงานถึงผลของแรงดันและอุณหภูมิในการอัดเม็ดอาหารไก่เนื้ออายุ 1-42 วัน พบว่าอาหารอัดเม็ดที่ได้รับแรงดันที่ 552 kPa และอุณหภูมิที่ 93.3°ซ จะมีความคงทนของเม็ดอาหารสูงกว่าอาหารอัดเม็ดที่ได้รับแรงดันที่ 138 kPa และอุณหภูมิที่ 82.2°ซ แต่เปอร์เซ็นต์ฝุ่นของอาหารต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Gilpin *et al.* (2002) ศึกษาผลของอุณหภูมิกดอัดเม็ด 4 ระดับคือ 75, 80, 85 และ 90°ซ พบว่าคุณภาพของเม็ดอาหารดีขึ้น (อาหารมีค่าความแข็งและค่าความคงทนสูงขึ้น แต่เปอร์เซ็นต์ฝุ่นของอาหารลดลง) เมื่ออุณหภูมิในการอัดเม็ดอาหารสูงขึ้น แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

การที่เม็ดอาหารที่ผลิตด้วยอุณหภูมิกดอัดเม็ดที่สูงมีความคงทนและความแข็งของเม็ดอาหารสูงกว่าเม็ดอาหารที่ผลิตด้วยอุณหภูมิกดอัดเม็ดที่ต่ำกว่า ส่งผลให้เม็ดอาหารแตกหักได้ยากกว่า เมื่อผ่านกระบวนการขนส่งอาหารไปยังฟาร์มหรือระบบการให้อาหารอัตโนมัติ (auto feed) ที่ใช้ภายในฟาร์มทั่วไป ดังนั้นเปอร์เซ็นต์ฝุ่นของอาหารทั้งที่เกิดระหว่างกระบวนการผลิตและการขนส่งก็จะต่ำกว่า (Thomas *et al.*, 1996) และขนาดอนุภาคฝุ่นของอาหารมีขนาดเล็กลงตามไปด้วย (Harmon, 2005) สอดคล้องกับการทดลองของ Xiuau (2004) พบว่าขนาดอนุภาคฝุ่นของอาหารไก่เนื้ออายุ 1-42 วันมีขนาดลดลงเมื่ออุณหภูมิกดอัดเม็ดอาหารสูงขึ้นจาก 75 เป็น 90°ซ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลของอุณหภูมิกดอัดเม็ดต่อขนาดอนุภาคฝุ่น (μm) อาหารไก่เนื้อ

| อายุ (วัน) | อุณหภูมิในการอัดเม็ด (°ซ) | | | | P-value | Pooled SE |
|------------|---------------------------|------------------|------------------|------------------|---------|-----------|
| | 75 | 80 | 85 | 90 | | |
| 1-15 | 730 ^A | 721 ^B | 715 ^C | 704 ^D | 0.02 | 0.69 |
| 16-30 | 765 ^A | 753 ^B | 742 ^C | 735 ^D | 0.03 | 0.77 |
| 31-42 | 790 ^A | 782 ^B | 773 ^C | 764 ^D | 0.03 | 0.75 |

^{A, B, C, D} อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแถวเดียวกัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

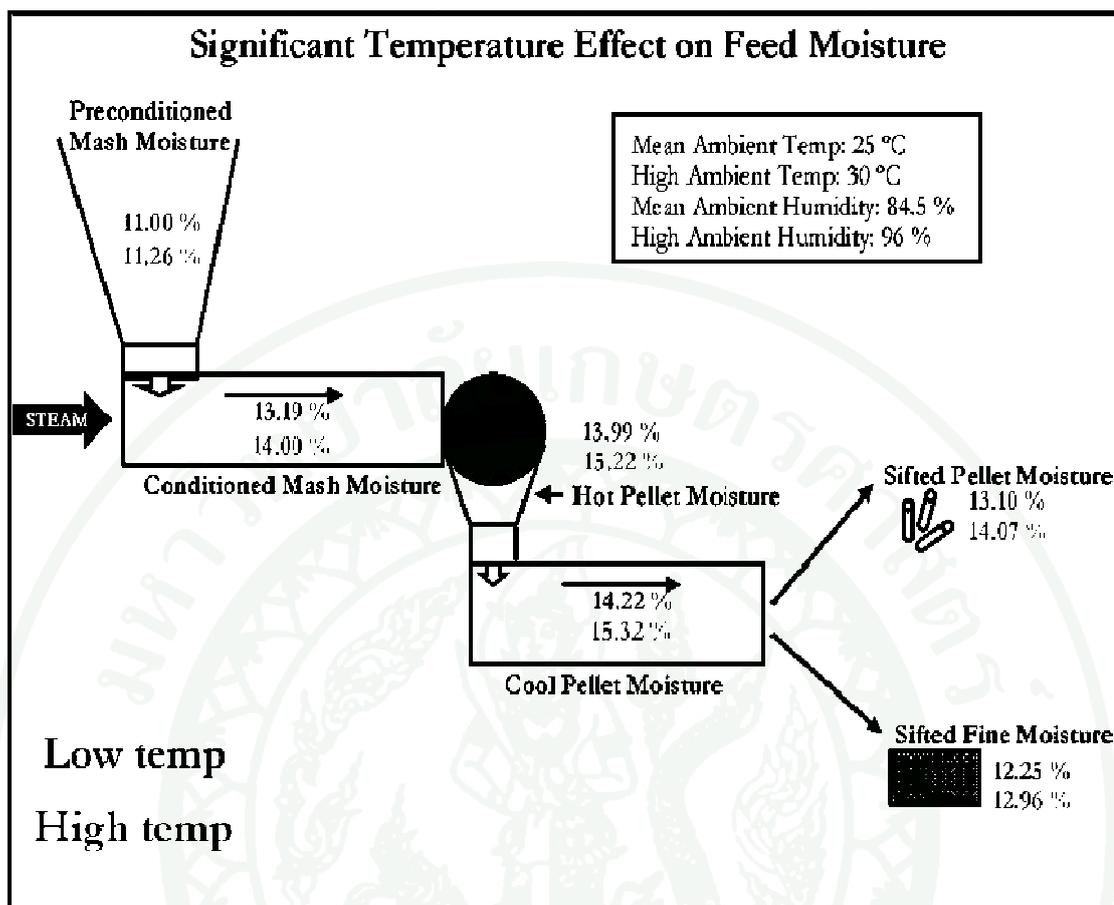
ที่มา: Xiuau (2004)

สำหรับผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อค่าความสุกของเม็ดอาหารไก่เนื้อ Hongtrakul *et al.* (1998) รายงานว่า อุณหภูมิอัดเม็ดที่สูงขึ้นจะเพิ่มปริมาณไอน้ำที่เข้าสู่เม็ดอาหารได้มากขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของน้ำสามารถแทรกตัวอยู่ในอนุภาคแป้งของวัตถุดิบหรือระหว่างสายของอะไมโลสได้มากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเม็ดอาหารที่ผลิตด้วยอุณหภูมิอัดเม็ดต่ำกว่า ส่งผลต่อการเกิดกระบวนการเจลลิตไนซ์ทำให้เม็ดอาหารมีค่าความสุกสูงขึ้น (Zhan *et al.*, 2007) สอดคล้องกับการทดลองของ McDevitt *et al.* (2002) ทำการศึกษาอุณหภูมิในการอัดเม็ดอาหารไก่เนื้อด้วยอุณหภูมิอัดเม็ด 3 ระดับคือ 80, 85 และ 90 °ซ พบว่าเม็ดอาหารมีค่าความสุกสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิอัดเม็ดสูงขึ้น โดยมีค่าความสุกของเม็ดอาหารเท่ากับ 4.75, 5.35 และ 5.90 ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และสอดคล้องกับการทดลองของ Braton *et al.* (2006) พบว่าเมื่ออุณหภูมิอัดเม็ดอาหารสูงขึ้นจาก 75 เป็น 85°ซ ค่าความสุกของเม็ดอาหารมีค่าสูงขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

นอกจากนี้ Skoch *et al.* (1981) ศึกษาถึงผลของอุณหภูมิอัดเม็ดอาหารในช่วง 23-80°ซ ต่อระดับความสุกของแป้งข้าวโพด ผลการศึกษาพบว่า อุณหภูมิอัดเม็ดที่สูงขึ้นจะทำให้ระดับการสุกของแป้งในเม็ดอาหารสูงขึ้น และระดับการสุกจะกระจายอย่างสม่ำเสมอตลอดทั้งเม็ดอาหาร เมื่อเปรียบเทียบกับการอัดเม็ดอาหารด้วยอุณหภูมิต่ำ

ผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อโภชนะของอาหาร

อุณหภูมิอัดเม็ดที่สูงขึ้นจะเพิ่มปริมาณไอน้ำที่เข้าสู่เม็ดอาหารได้มากขึ้น ส่งผลให้เม็ดอาหารมีความชื้นสูงขึ้นตามไปด้วยเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารที่ผลิตด้วยอุณหภูมิอัดเม็ดที่ต่ำกว่า (Hongtrakul *et al.*, 1998) ดังแสดงในภาพที่ 4 สอดคล้องกับการทดลองของ Braton *et al.* (2006) ศึกษาผลของอุณหภูมิอัดเม็ดอาหารไก่เนื้อ 3 ระดับคือ 75, 80 และ 85°ซ ต่อค่าโภชนะของสารอาหารในไก่เนื้อ พบว่าอาหารไก่เนื้อมีความชื้นสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิอัดเม็ดสูงขึ้นจาก 75 เป็น 85°ซ โดยมีค่าความชื้นเท่ากับ 11.20, 11.52 และ 11.85% ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) สำหรับค่าโภชนะอื่นๆ ได้แก่ แคลเซียมและฟอสฟอรัส แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)



ภาพที่ 4 ผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อค่าความชื้นในอาหาร

ที่มา: Cutlip *et al.* (2008)

อย่างไรก็ตามอุณหภูมิอัดเม็ดที่สูงเกินไปอาจมีผลทำลายคุณค่าโภชนะของอาหารได้ ไม่ว่าจะเป็นโปรตีนหรือพลังงาน อีกทั้งวิตามินซึ่งมีความไวต่อความร้อนหรือแสงสามารถถูกทำลายได้ง่าย (อุทัย, 2550) สอดคล้องกับ Benke (2002) พบว่าอาหารไก่เนื้อมีค่าโปรตีนและพลังงานรวมในสูตรอาหารลดลงเมื่ออุณหภูมิอัดเม็ดสูงขึ้นจาก 75 เป็น 90 °ซ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และสอดคล้องกับ Braton *et al.* (2006) พบว่าอาหารไก่เนื้อมีค่าโปรตีนลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่ออุณหภูมิอัดเม็ดสูงขึ้นจาก 75 เป็น 85°ซ

เมื่อพิจารณาระดับของกรดอะมิโนในสูตรอาหาร อาทิ ทรีโอนีน ไลซีน อะลานีน ลูซีน ซีลิตินไอโซลูซีน เมทไทโอนีน ของอาหารอัดเม็ดที่ได้รับแรงดันที่ 552 kPa และอุณหภูมิที่ 93.3°ซ

และอาหารอัดเม็ดที่ได้รับแรงดันที่ 138 kPa และอุณหภูมิที่ 82.2°C พบว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (Cutlip *et al.*, 2008)

นอกจากนี้ Braton *et al.* (2006) ศึกษาผลของอุณหภูมิอัดเม็ดอาหารไก่เนื้อ 3 ระดับคือ 75, 80 และ 85°C พบว่า ระดับของวิตามินเอ วิตามินดี และวิตามินบีของอาหารไก่เนื้อมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิอัดเม็ดสูงขึ้น โดยเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของวิตามินที่สูญเสียหลังจากผ่านกระบวนการอัดเม็ดพบว่าระดับของวิตามินเอสูญเสีย 5, 8 และ 10% ส่วนระดับของวิตามินดีสูญเสีย 7, 10 และ 11% สำหรับวิตามินบีสูญเสีย 6, 8 และ 10% ตามลำดับ

ผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหาร

Wondra *et al.* (1995) พบว่าการอัดเม็ดอาหารส่งผลให้การย่อยได้ของวัตถุดิบในโตรเจนและพลังงานทั้งหมดสูงกว่าอาหารผง ส่งผลต่อการลดการขับของเสียออกนอกร่างกายสัตว์ แต่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) เนื่องจากอุณหภูมิในการอัดเม็ดจะส่งผลต่อการเกิดกระบวนการเจลาติไนเซชัน ทำให้เม็ดอาหารมีความสุกเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารผง ส่งผลให้สัตว์สามารถย่อยและดูดซึมสารอาหารไปใช้ได้มากขึ้น นอกจากนี้การอัดเม็ดจะช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของสัตว์ได้ดีกว่าอาหารผง เพราะสัตว์จะได้รับสารอาหารครบถ้วน และสูญเสียพลังงานในการกินน้อยกว่าจึงเหลือพลังงานเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตหรือการสร้างผลผลิตได้มากกว่า อีกทั้งอาหารอัดเม็ดจะมีความน่ากินมากกว่าอาหารผง

Graham *et al.* (1989) พบว่าอาหารที่อัดเม็ดที่อุณหภูมิ 93°C มีค่าการย่อยได้สูงกว่าอาหารผง ค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบที่ลำไส้เล็กส่วนไอเล็กเพิ่มขึ้นจาก 62% เป็น 64.7% ค่าการย่อยได้ของพลังงานเพิ่มขึ้นจาก 60.3% เป็น 63.3% ค่าการย่อยได้ของโปรตีนเพิ่มขึ้นจาก 52.2% เป็น 54.9% และค่าการย่อยได้ของไขมันเพิ่มขึ้นจาก 29.7% เป็น 29.9% ซึ่งอาหารอัดเม็ดมีค่าการย่อยได้ปรากฏของแป้งก่อนถึงปลายลำไส้เล็กส่วนไอเล็กเพิ่มขึ้นจาก 90.3% เป็น 94.9% ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) และค่าการย่อยได้ปรากฏของแป้งในมูลเพิ่มขึ้นจาก 98.3% เป็น 99.7% ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$)

Raastad and Skrede (2003) ศึกษาถึงผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของไก่เนื้อ พบว่าอุณหภูมิอัดเม็ดที่สูงขึ้นจาก 69°C เป็น 80°C ทำให้ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ในไก่เนื้อลดลงจาก 3,174 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม เหลือ 3,075 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม จากค่าพลังงานใช้

ประโยชน์ที่ได้ที่ลดลงส่งผลต่อการเจริญเติบโตของไก่เนื้อ โดยกลุ่มที่ได้รับอาหารที่ผ่านการอัดเม็ดที่อุณหภูมิ 80°C มีการเจริญเติบโตดีกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารที่ผ่านการอัดเม็ดที่อุณหภูมิ 69°C แต่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับ FinnFeeds (1997, 1998) พบว่าไก่เนื้อที่มีน้ำหนักตัวและประสิทธิภาพการใช้อาหารลดลงเมื่อเลี้ยงด้วยอาหารอัดเม็ดที่ผลิตที่อุณหภูมิอัดเม็ดสูงขึ้นจาก 70°C เป็น 95°C และสอดคล้องกับการทดลองของ Bedford *et al.* (2003) ที่รายงานว่าไก่ที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดผลิตที่อุณหภูมิอัดเม็ด 85°C มีสมรรถภาพการผลิตที่ดีกว่าไก่ที่เลี้ยงด้วยอาหารอัดเม็ดที่อุณหภูมิ 93°C

อุณหภูมิอัดเม็ดที่สูงเกินไปจะมีผลต่อการทำลายสารอาหารต่างๆ ได้ เช่น การเกิดปฏิกิริยาเมลลาคีรีแอคชั่น (Maillard reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการจับกันระหว่างกรดอะมิโนไลซีน (lysine) กับน้ำตาลรีดิวซิงซูการ์ (reducing sugar) เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่สัตว์ไม่สามารถย่อยและนำไปใช้ประโยชน์ได้ (สาโรช, 2547) เนื่องจากอุณหภูมิอัดเม็ดที่สูงขึ้นจะเป็นการเพิ่มปริมาณไอน้ำเข้าสู่อนุภาคแข็งของอาหารมากยิ่งขึ้น แป้งจะมีความหนืดมากขึ้นและใสขึ้น แป้งเคลื่อนไหวได้ยาก อาหารจึงถูกอัดผ่านจานอัดได้ยากขึ้น สารอาหารต่างๆ จึงสามารถถูกทำลายได้ในขั้นตอนนี้

ผลของคุณภาพเม็ดอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อ

Scheideler (1991) ศึกษาผลของคุณภาพเม็ดอาหาร และ เปอร์เซ็นต์ฝุ่นต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อ พบว่าไก่เนื้อที่เลี้ยงด้วยอาหารประกอบด้วยเม็ดอาหาร 75% และฝุ่น 25% มีประสิทธิภาพการใช้อาหารที่ดีกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับไก่เนื้อที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ประกอบด้วยเม็ดอาหาร 25% และฝุ่น 75% ซึ่งสอดคล้องกับ McKinney *et al.* (2002) ที่พบว่าไก่เนื้อที่เลี้ยงด้วยอาหารประกอบด้วยเม็ดอาหาร 20% และ 40% มีประสิทธิภาพการใช้อาหารดีกว่าไก่เนื้อเลี้ยงด้วยอาหารที่ประกอบด้วยเม็ดอาหาร 80% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เนื่องจากอาหารที่มีเปอร์เซ็นต์ฝุ่นสูงจะทำให้ความน่ากินของอาหารลดลง ทำให้ปริมาณการกินน้ำและอาหารลดลงตามไปด้วย ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักตัว (weight gain)

Acar *et al.* (1991) ศึกษาผลของการเพิ่มคุณภาพของเม็ดอาหาร โดยใช้ calcium lignosulfonate (CaLS) เป็นสารช่วยอัดเม็ด (binder) พบว่าเมื่อคุณภาพของเม็ดอาหารดีขึ้น คืออาหารประกอบด้วยเม็ดอาหารเพิ่มขึ้นจาก 43% เป็น 67% ส่งผลต่อให้ไก่เนื้อมีสมรรถภาพการผลิตดีขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

นอกจากนี้อาหารที่มีค่าความแข็งของเม็ดอาหารที่มากเกินไปจะส่งผลต่อพฤติกรรมการกินอาหารของไก่เนื้อระยะเล็ก (อายุ 1-14 วัน) โดยไก่เนื้อจะกินอาหารได้น้อยลงหรือไม่กินเลย ดังนั้นอาหารไก่เนื้อระยะเล็กจึงนิยมทำในรูปของอาหารขบแตก (crumble feed) มากกว่า (Wondra *et al.*, 2003) สอดคล้องกับการทดลองของ Braton *et al.* (2006) พบว่าไก่เนื้ออายุ 1-14 วัน ที่ได้รับอาหารที่มีค่าความแข็งของเม็ดอาหารเท่ากับ 1,482 กรัมของแรงที่ทำให้เม็ดอาหารแตก มีสมรรถภาพการผลิตที่ดีกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีค่าความแข็งของเม็ดอาหารเท่ากับ 1,621 กรัมของแรงที่ทำให้เม็ดอาหารแตก อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) แต่ขัดแย้งกับ Parson *et al.* (2006) ที่รายงานว่าไก่เนื้ออายุ 0-14 วัน ที่ได้รับอาหารที่มีค่าความแข็งของเม็ดอาหารเท่ากับ 1,856 กรัมของแรงที่ทำให้เม็ดอาหารแตก มีปริมาณการกินอาหาร การคงอยู่ของสารอาหารในร่างกาย (nutrient retention) พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ และประสิทธิภาพการผลิตไก่เนื้อดีกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีค่าความแข็งของเม็ดอาหารเท่ากับ 1,662 กรัมของแรงที่ทำให้เม็ดอาหารแตก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

อุปกรณ์และวิธีการ

การทดลองที่ 1

ศึกษาผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อคุณสมบัติทางกายภาพและโภชนะของเม็ดอาหาร

สมมติฐาน

อาหารไก่เนื้อที่ผ่านการอัดเม็ดที่อุณหภูมิสูงจะมีคุณสมบัติทางกายภาพของเม็ดอาหารได้แก่ ความแข็งของเม็ดอาหาร ความคงทนของเม็ดอาหารและเปอร์เซ็นต์ฝุ่นของอาหาร ดีกว่าอาหารไก่เนื้อที่ผ่านการอัดเม็ดที่อุณหภูมิต่ำ

อุปกรณ์

อาหารทดลอง

อาหารทดลองประกอบด้วยอาหารไก่เนื้อ 3 ระยะ (1-16 วัน, 17-35 วัน และ 36-49 วัน) โดยอาหารแต่ละระยะผลิตด้วยการคลุกไอน้ำอัดเม็ด โดยมีอุณหภูมิอัดเม็ดอ่านได้จากเกจวัดที่แตกต่างกันดังนี้

สูตรที่ 1 อาหารไก่เนื้ออัดเม็ดที่อุณหภูมิ 85°C

สูตรที่ 2 อาหารไก่เนื้ออัดเม็ดที่อุณหภูมิ 90°C

สูตรที่ 3 อาหารไก่เนื้ออัดเม็ดที่อุณหภูมิ 95°C

โดยการคำนวณสูตรอาหารให้มีสารอาหารเพียงพอต่อความต้องการของไก่เนื้อ องค์ประกอบของสูตรอาหารและคุณค่าทางโภชนะจากการคำนวณ แสดงในตารางที่ 3, 4 และ 5

ตารางที่ 3 ส่วนประกอบของวัตถุดิบในอาหารไก่เนื้ออายุ 1-16 วัน

| วัตถุดิบ | ปริมาณที่ใช้ (%) |
|--|------------------|
| ข้าวโพด | 46.75 |
| รำละเอียด | 6.00 |
| กากถั่วเหลือง (46% โปรตีน) | 26.00 |
| ถั่วอบไขมันเต็ม | 11.55 |
| ปลาป่น (52% โปรตีน) | 3.00 |
| น้ำมันรำข้าว | 3.50 |
| หินแป้ง | 0.80 |
| โมโนแคลเซียมฟอสเฟต | 1.13 |
| วิตามิน+แร่ธาตุ+สารเสริมต่างๆ ¹ | 0.50 |
| เกลือ | 0.30 |
| ดีแอล-เมทไธโอนีน | 0.28 |
| แอล-ทรีโอนีน | 0.10 |
| แอล-ไลซีน | 0.09 |
| รวม | 100 |
| องค์ประกอบทางโภชนาที่ได้จากการคำนวณ (%) | |
| โปรตีน (%) | 22.00 |
| พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (kcal/kg) | 3,131 |
| ไขมัน (%) | 8.05 |
| เยื่อใย (%) | 4.35 |
| แคลเซียม (%) | 0.95 |
| ฟอสฟอรัสใช้ประโยชน์ได้ (%) | 0.45 |
| ไลซีน (%) | 1.23 |
| เมทไธโอนีน + ซีสตีน (%) | 0.91 |

Vitamin¹ per kilogram of diet : vit A 14850 IU, vit D₃ 4950 IU, vit E 55 IU, vit K 3.3 mg, vit B₁ 3.3 mg, vit B₂ 7.7 mg, vit B₆ 4.4 mg, vit B₁₂ 0.017 mg, Niacin 77 mg, pantothenic 22 mg, folic acid 1.92 mg, biotin 0.16 mg, choline 600 mg Mineral¹ per kilogram of diet : Cu 8 mg, I 1 mg, Fe 80 mg, Mn 100 mg, Mo 1 mg, Se 0.15 mg, Zu 80 mg, salinomycin 60 g, antioxidant 100 g, antimold 500 g

ตารางที่ 4 ส่วนประกอบของวัตถุดิบในอาหารไก่เนื้ออายุ 17-35 วัน

| วัตถุดิบ | ปริมาณที่ใช้ (%) |
|--|------------------|
| ข้าวโพด | 56.43 |
| รำละเอียด | 5.00 |
| กากถั่วเหลือง (46% โปรตีน) | 21.60 |
| ถั่วอบไขมันเต็ม | 7.00 |
| ปลาป่น (52% โปรตีน) | 3.00 |
| น้ำมันรำข้าว | 4.00 |
| หินแป้ง | 0.69 |
| โมโนแคลเซียมฟอสเฟต | 0.95 |
| วิตามิน+แร่ธาตุ+สารเสริมต่างๆ ¹ | 0.50 |
| เกลือ | 0.30 |
| ดีแอล-เมทไธโอนีน | 0.30 |
| แอล-ทรีโอนีน | 0.11 |
| แอล-ไลซีน | 0.12 |
| รวม | 100 |
| องค์ประกอบทางโภชนาที่ได้จากการคำนวณ (%) | |
| โปรตีน (%) | 19.01 |
| พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (kcal/kg) | 3,200 |
| ไขมัน (%) | 8.20 |
| เยื่อใย (%) | 4.05 |
| แคลเซียม (%) | 0.85 |
| ฟอสฟอรัสใช้ประโยชน์ได้ (%) | 0.41 |
| ไลซีน (%) | 1.05 |
| เมทไธโอนีน + ซีสตีน (%) | 0.85 |

Vitamin¹ per kilogram of diet : vit A 13500 IU, vit D₃ 4500 IU, vit E 50 IU, vit K 3.0 mg, vit B₁ 3.0 mg, vit B₂ 7.0 mg, vit B₆ 4.0 mg, vit B₁₂ 0.016 mg, Niacin 70 mg, pantothenic 20 mg, folic acid 1.75 mg, biotin 0.15 mg, choline 600 mg Mineral¹ per kilogram of diet : Cu 8 mg, I 1 mg, Fe 80 mg, Mn 100 mg, Mo 1 mg, Se 0.15 mg, Zu 80 mg, salinomycin 60 g, antioxidant 100 g, antimold 500 g

ตารางที่ 5 ส่วนประกอบของวัตถุดิบในอาหารไก่เนื้ออายุ 36-49 วัน

| วัตถุดิบ | ปริมาณที่ใช้ (%) |
|--|------------------|
| ข้าวโพด | 56.60 |
| รำละเอียด | 4.90 |
| กากถั่วเหลือง (46% โปรตีน) | 21.65 |
| ถั่วอบไขมันเต็ม | 7.00 |
| ปลาป่น (52% โปรตีน) | 3.00 |
| น้ำมันรำข้าว | 4.00 |
| หินแป้ง | 0.69 |
| โมโนแคลเซียมฟอสเฟต | 0.95 |
| วิตามิน+แร่ธาตุ+สารเสริมต่างๆ ¹ | 0.50 |
| เกลือ | 0.30 |
| ดีแอล-เมทไธโอนีน | 0.30 |
| แอล-ทรีโอนีน | 0.11 |
| รวม | 100 |
| องค์ประกอบทางโภชนาที่ได้จากการคำนวณ (%) | |
| โปรตีน (%) | 19 |
| พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (kcal/kg) | 3,200 |
| ไขมัน (%) | 8.20 |
| เยื่อใย (%) | 4.05 |
| แคลเซียม (%) | 0.85 |
| ฟอสฟอรัสใช้ประโยชน์ได้ (%) | 0.40 |
| ไลซีน (%) | 0.95 |
| เมทไธโอนีน + ซีสทีน (%) | 0.85 |

Vitamin¹ per kilogram of diet : vit A 13500 IU, vit D₃ 4500 IU, vit E 50 IU, vit K 3.0 mg, vit B₁ 3.0 mg, vit B₂ 7.0 mg, vit B₆ 4.0 mg, vit B₁₂ 0.016 mg, Niacin 70 mg, pantothenic 20 mg, folic acid 1.75 mg, biotin 0.15 mg, choline 600 mg Mineral¹ per kilogram of diet : Cu 8 mg, I 1 mg, Fe 80 mg, Mn 100 mg, Mo 1 mg, Se 0.15 mg, Zu 80 mg, antioxidant 100 g, antimold 500 g

อุปกรณ์ที่ใช้ในการผสมอาหาร

1. เครื่องบดแบบแฮมเมอร์มิด (Van Aarsen 700 2D, Holland)
2. เครื่องผสมอาหารแบบถังนอนความจุขนาด 5,000 กิโลกรัม (Van Aarsen 1400 2D, Holland)

3. เครื่องอัดเม็ด

3.1 เครื่องอัดเม็ด กำลังมอเตอร์ 160 แรงม้า (Triumph TMP420, Ratchaburi, Thailand)
สำหรับผลิตอาหารไก่เนื้อระยะเล็ก (อายุ 1-16 วัน)

3.2 เครื่องอัดเม็ด กำลังมอเตอร์ 214.5 แรงม้า (CPM 3020-6, California, USA)
สำหรับผลิตอาหารไก่เนื้อระยะรุ่น (อายุ 17-35 วัน)

3.3 เครื่องอัดเม็ด กำลังมอเตอร์ 214.5 แรงม้า (CPM 3022-6, California, USA)
สำหรับผลิตอาหารไก่เนื้อระยะขุน (อายุ 36-49 วัน)

4. เครื่องकुलเลอร์

4.1 เครื่องकुलเลอร์ความเร็ว 20 ตัน/ชั่วโมง (Geelen Counterflow, Netherland)

4.2 เครื่องकुलเลอร์ความเร็ว 8-10 ตัน/ชั่วโมง (TC19*19, Ratchaburi, Thailand)

5. เครื่องชั่งน้ำหนักคิติดอลสำหรับชั่งฟรีเมิกซ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บผลการทดลอง

1. กระตักน้ำจำนวน 2 ใบ
2. เทอร์โมมิเตอร์
3. ถังซีปสำหรับใส่ตัวอย่างอาหารขนาด 6 x 8 นิ้ว
4. ปากกามาจิก

อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

1. อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการวิเคราะห์ห่อหุ้มประกอบทางเคมีและโภชนะของอาหารทดลองโดยวิธี proximate analysis และหาค่าพลังงานรวมโดยวิธีการ bomb calorimeter

2. อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ค่าความเป็นฝุนของอาหาร
3. อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ค่าความแข็งของเมล็ดอาหาร
4. อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ค่าความคงทนของเมล็ดอาหาร
5. อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคฝุนของอาหาร
6. อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการวิเคราะห์การเข้าย้อยได้ของเอนไซม์

สถานที่ทดลอง

ทำการผลิตอาหารทดลอง ณ บริษัทชันฟีด จำกัด อำเภอหนองแค จังหวัดสระบุรี

ทำการทดสอบคุณภาพเมล็ดอาหาร ณ ห้องปฏิบัติการภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ

ทำการวิเคราะห์ห่อหุ้มประกอบทางเคมีและโภชนะของอาหารทดลองโดยวิธี proximate analysis ณ ห้องปฏิบัติการบริษัทชันฟีด จำกัด อำเภอหนองแค จังหวัดสระบุรี

วิธีการ

การศึกษาผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อคุณสมบัติทางกายภาพและโภชนะของเมล็ดอาหาร ศึกษาเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการอัดเม็ด กำลังการผลิต เปอร์เซ็นต์ฝุน ค่าความแข็ง ค่าความคงทน ขนาดอนุภาคฝุนของอาหาร และการเข้าย้อยได้ของเอนไซม์ของเมล็ดอาหาร

การเก็บบันทึกข้อมูล

1. บันทึกข้อมูลการผลิตอาหารในแต่ละกลุ่มทดลอง เช่น อุณหภูมิคลุกไอน้ำ ปริมาณการผลิตต่อชั่วโมง และค่าพลังงานการอัดเม็ด

1.1 ทำการผลิตอาหารอัดเม็ด โดยเริ่มจับเวลาที่ใช้ในกระบวนการอัดเม็ดอาหาร หลังจากที่อุณหภูมิอยู่ในระดับที่ต้องการ และเริ่มทำการวัดค่าแอมแปร์เมื่อค่าแอมแปร์ที่ใช้ในกระบวนการอัดเม็ดอาหารที่อุณหภูมิต่างๆ มีค่าค่อนข้างคงที่ โดยจดค่าแอมแปร์ตลอดช่วงที่ทำการอัดเม็ดอาหาร จดบันทึกเวลาที่ใช้ในการอัดเม็ดอาหารและค่าแอมแปร์ที่ใช้ในการอัดเม็ดจนถึงสิ้นสุดกระบวนการอัดเม็ดอาหาร

1.2 หาค่าพลังงานที่ใช้ในการอัดเม็ดอาหาร โดยนำค่าแอมแปร์ที่ใช้ในระหว่างกระบวนการอัดเม็ดอาหารมาลบด้วยค่าแอมแปร์ที่ยังไม่ได้ทำการอัดเม็ดอาหาร ซึ่งค่าที่ได้คือ ค่าแอมแปร์ที่ใช้การอัดเม็ดอาหารที่แท้จริง หลังจากนั้นนำค่าแอมแปร์ที่ได้ไปใช้ในการคำนวณค่าพลังงานโดยใช้สูตร

$$E = \text{Amp} \times \text{Volt} \times 0.8 \times 0.8 \times \sqrt{3}$$

1.3 หาค่ากำลังการผลิต โดยนำค่าปริมาณอาหารที่ผลิตหารด้วยระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการอัดเม็ดที่อุณหภูมิต่างๆ ค่าที่ได้คือจำนวนตันอาหารที่ผลิตได้ต่อชั่วโมง เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่จดบันทึกได้จากหน้าจอคอมพิวเตอร์

1.4 หาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตอาหารอัดเม็ดต่อชั่วโมง โดยนำค่าที่ได้มาทำการคำนวณหาค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตอาหารอัดเม็ดต่อตัน โดยใช้สูตร

$$E = \frac{\text{Amp} \times \text{Volt} \times 0.8 \times 0.8 \times \sqrt{3}}{\text{Ton} \times 1000 \text{ Hr}}$$

เมื่อ E คือค่าพลังงานที่ใช้ในการอัดเม็ดอาหาร (กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตัน) Amp คือค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดเม็ด Volt คือค่าศักย์กระแสไฟฟ้าซึ่งในการทดลองนี้มีค่า 380 โวลต์ และ Ton/hr คือ ค่ากำลังการผลิตอาหารอัดเม็ด

2. สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารทดลองในแต่ละกลุ่มทดลองเพื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและโภชนะ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

 • สุ่มเก็บอาหารทดลองที่เป็นผงร้อน (hot mash)

 • สุ่มเก็บอาหารทดลองที่เป็นเม็ดร้อน (hot pellet)

 • สุ่มเก็บอาหารทดลองที่เป็นผงเย็น (cool mash)

 • สุ่มเก็บอาหารทดลองที่เป็นเม็ดเย็น (cool pellet)

โดยสุ่มเก็บตัวอย่างอาหารทดลองดังกล่าวกลุ่มละ 5 ซ้ำ ซ้ำ ละ 500 กรัม ตัวอย่างอาหารทดลองทุกตัวอย่างจะต้องนำมาวิเคราะห์หาค่าความชื้น สำหรับตัวอย่างอาหารทดลองที่เป็นเม็ดเย็นจะต้องนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและโภชนะ ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย ถ้ำแคลเซียม ฟอสฟอรัสรวม เกลือ และค่าพลังงานรวม (gross energy)

3. สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารทดลองในแต่ละกลุ่มทดลองโดยสุ่มเก็บตัวอย่างอาหารทดลองเฉพาะส่วนที่เป็นเม็ดเย็นเพื่อนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

การวิเคราะห์ค่าความคงทนของเม็ดอาหาร (pellet durability index, PDI)

 • สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารทดลองเฉพาะส่วนที่เป็นเม็ดเย็นในแต่ละกลุ่มทดลอง กลุ่มละ 3 ซ้ำ ซ้ำ ละ 4 กิโลกรัม ทำการทดสอบความสามารถของเม็ดอาหารในการทนต่อสภาวะการขนส่งและการกระแทกโดยไม่ทำให้เม็ดของอาหารแตกหักหรือเป็นฝุ่น ทั้งการทดสอบความคงทนของเม็ดอาหารโดยชนิดปกติ (standard pellet durability index) (ASAE, 1987) และชนิดดัดแปลง (modified pellet durability index) ซึ่งใส่นี้อัดขนาด 12.7 มิลลิเมตร จำนวน 5 ตัว ในเครื่องวัดความคงทนของเม็ดอาหาร (ASAE, 1991) คำนวณค่าความคงทนของเม็ดอาหารจากสูตร

$$PDI = \frac{\text{weight of pellet after tumbling}}{\text{weight of pellet before tumbling}} \times 100$$

การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ฝุ่นของอาหาร

สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารทดลองเฉพาะส่วนที่เป็นเม็ดเย็นในแต่ละกลุ่มทดลอง กลุ่มละ 4 ซ้ำ ซ้ำ ละ 30 กิโลกรัม เพื่อนำไปวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ฝุ่นของอาหาร โดยนำตัวอย่างอาหารดังกล่าวร่อนผ่านตะแกรง โดยในการทดลองนี้ใช้ตะแกรงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรง 1.6 มิลลิเมตรสำหรับอาหารไก่เนื้อระยะเล็ก และ 2.8 มิลลิเมตรสำหรับอาหารไก่เนื้อระยะรุ่นและขุน แล้วทำการจดบันทึกน้ำหนักของฝุ่นอาหาร แล้วจึงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ฝุ่นของอาหารจากสูตร

$$\text{Fine percentage} = \frac{\text{weight of fine}}{\text{weight of pelleted feed}} \times 100$$

การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของฝุ่นอาหาร

สุ่มเก็บตัวอย่างฝุ่นอาหารในแต่ละกลุ่มทดลองกลุ่มละ 4 ซ้ำ ซ้ำ ละ 500 กรัม เพื่อนำไปวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของฝุ่นอาหาร โดยวิธีการของ (ASAE, 1983) โดยชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 100 กรัม เติลงบนตะแกรงร่อน (sieve) ชั้นที่อยู่บนสุด โดยจัดเรียงตะแกรงร่อนที่มีช่องเปิดใหญ่ที่สุดอยู่ชั้นบนสุด และช่องเปิดเล็กที่สุดอยู่ชั้นล่างสุด ดังตารางที่ 6 จากนั้นปรับระดับการสั่น (amplitude) ให้อยู่ที่ระดับ 7.5 ตั้งเวลาที่ 15 นาที เมื่อครบเวลา ทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่ค้างอยู่บนตะแกรงร่อนแต่ละชั้น บันทึกน้ำหนักแล้วนำไปคำนวณหาขนาดของอนุภาคของตัวอย่างโดยใช้สูตร

$$d_{gw} = \log^{-1} \frac{\sum W_i \log d_i}{\sum W_i}$$

เมื่อ d_{gw} = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค

W_i = น้ำหนักของตัวอย่างที่ค้างอยู่บนตะแกรงร่อนชั้นที่ i

d_i = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิดของตะแกรงร่อนชั้นที่ i

$\bar{d}_i = (d_i \times d_{i+1})^{1/2}$

ตารางที่ 6 ขนาดช่องเปิดของตะแกรงร่อนที่ใช้ในการทดลอง

| หมายเลขเมช | รูเปิด (μm) |
|------------|--------------------------|
| No.12 | 1700 |
| No.16 | 1191 |
| No.20 | 841 |
| No.30 | 594 |
| No.40 | 420 |
| No.50 | 297 |
| No.70 | 212 |
| pan | 0 |

การวิเคราะห์ความแข็งของเม็ดอาหาร

สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารทดลองเฉพาะส่วนที่เป็นเม็ดเย็นในแต่ละกลุ่มทดลองกลุ่มละ 3 ซ้ำ ซ้ำ ละ 500 กรัม เลือกเม็ดอาหารที่มีความยาวของเม็ดอาหารใกล้เคียงกันจำนวน 20 เม็ดในแต่ละซ้ำ เพื่อนำมาวิเคราะห์ความแข็งของเม็ดอาหาร โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Kahl hardness tester (Model 21465, Reinbek, Germany)

การวิเคราะห์การเข้าย่อยได้ของเอนไซม์ fungal α -amylase และ amyloglucosidase (ค่าความสูงของอาหาร)

สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารทดลองเฉพาะส่วนที่เป็นเม็ดเย็นในแต่ละกลุ่มทดลองกลุ่มละ 3 ซ้ำ ซ้ำ ละ 500 กรัม เพื่อนำมาวิเคราะห์การเข้าย่อยได้ของเอนไซม์โดยวิธีการของ Gibson *et al.* (1993) โดยทำการวิเคราะห์การเข้าย่อยได้ของเอนไซม์ของเม็ดอาหารโดยพิจารณาการเข้าย่อยได้ของเอนไซม์ fungal α -amylase และ amyloglucosidase ซึ่งมีการเร่งการเกิดปฏิกิริยาโดยการบ่มใน water bath ที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 2-5 นาที และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้ spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร นำค่าที่ได้ไปคำนวณโดยใช้สูตร

$$\% \text{ การเข้าย่อยได้ของเอ็นไซม์} = \Delta E \times (F/W) \times 8.1$$

เมื่อ ΔE = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

$$F = 150 \text{ (ไมโครกรัมของกลูโคส)}$$

ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคส

$$W = \text{น้ำหนักของตัวอย่างที่ชั่ง (มิลลิกรัม)}$$

การทดลองที่ 2

ศึกษาผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหารในไก่เนื้อ

สมมติฐาน

ไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่ผ่านการอัดเม็ดที่อุณหภูมิสูงจะมีค่าการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหารต่ำกว่าไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่ผ่านการอัดเม็ดที่อุณหภูมิต่ำ

อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในโรงเรือน

โรงเรือนทดลองเป็นโรงเรือนระบบปิด ควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือนด้วยเครื่องปรับอากาศซึ่งติดตั้งอยู่ด้านท้ายของโรงเรือนที่ระดับอุณหภูมิ 25°C ภายในโรงเรือนมีพัดลมระบายอากาศ จำนวนกรง metabolic cage ที่ใช้ทั้งหมด 24 กรง โดยมีอุปกรณ์ที่ใช้ภายในโรงเรือนประกอบด้วย

1. รางให้น้ำ
2. รางให้อาหาร
3. ถังมีฝาปิดสำหรับใส่อาหารทดลองประจำไก่ทดลองแต่ละกลุ่ม

4. เทอร์โมมิเตอร์แบบกระเปาะเปียก-กระเปาะแห้งสำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน

สัตว์ทดลอง

ไก่กระทงอายุ 21 วันสายพันธุ์ ROSS 308 จำนวน 72 ตัวเป็นเพศผู้ทั้งหมด

อุปกรณ์ที่ใช้ในการผสมอาหาร

1. เครื่องบดแบบแฮมเมอร์มิล (Van Aarsen 700 2D, Holland)
2. เครื่องผสมอาหารแบบถังนอนความจุขนาด 5,000 กิโลกรัม (Van Aarsen 1400 2D, Holland)
3. เครื่องอัดเม็ด กำลังมอเตอร์ 214.5 แรงม้า (CPM 3020-6, California, USA)
4. เครื่องคูลเลอร์
 - 4.1 เครื่องคูลเลอร์ความเร็ว 20 ตัน/ชั่วโมง (Geelen Counterflow, Netherland)
 - 4.2 เครื่องคูลเลอร์ความเร็ว 8-10 ตัน/ชั่วโมง (TC19*19, Ratchaburi, Thailand)
5. เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลสำหรับชั่งฟรีเมิกซ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บผลการทดลอง

1. ถุงซิปลงสำหรับใส่มูลไก่ขนาด 6 x 8 นิ้ว
2. ถุงมือยาง
3. ช้อนตักมูล
4. ตู้เย็นอุณหภูมิต่ำ -4°C

อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการวิเคราะห์หาค่าพลังงานรวมโดยวิธี proximate analysis และหาค่าพลังงานรวมโดยวิธีการ bomb calorimeter

สถานที่ทดลอง

ทำการผลิตอาหารทดลอง ณ บริษัทชันฟีด จำกัด อำเภอหนองแค จังหวัดสระบุรี

ทำการทดลองเพื่อศึกษาศึกษาผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหารในไก่เนื้อ ณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตสัตว์ปีก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

ทำการวิเคราะห์ค่าพลังงานรวมในมูลไก่ ณ ห้องปฏิบัติการภาควิชาสัตวบาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

วิธีการ

แผนการทดลอง

การทดลองนี้ศึกษาถึงผลของอุณหภูมิอัดเม็ด ต่อการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหารในไก่เนื้อ วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design, CRD) โดยใช้ไก่เนื้อเพศผู้ สายพันธุ์ Ross 308 อายุ 21 วัน จำนวน 72 ตัว แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 8 ซ้ำ ซ้ำละ 3 ตัว แล้วทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยโปรแกรมสำเร็จรูป SAS (2003) ใช้แบบหุนการทดลองดังนี้

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij}$$

โดยที่ Y_{ij} แทนค่าสังเกตของหน่วยทดลองในทรีตเมนต์ที่ i

μ = แทนค่าเฉลี่ยของประชากรทั้งหมด

α_i = แทนอิทธิพลของทรีตเมนต์ที่ 1, 2, 3

ϵ_{ij} = แทนความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

แต่ละกลุ่มการทดลองจะถูกสุ่มให้ได้รับอาหารทดลองดังต่อไปนี้เพียงสูตรเดียว

สูตรที่ 1 อาหารไก่เนื้ออัดเม็ดที่อุณหภูมิ 85°C

สูตรที่ 2 อาหารไก่เนื้ออัดเม็ดที่อุณหภูมิ 90°C

สูตรที่ 3 อาหารไก่เนื้ออัดเม็ดที่อุณหภูมิ 95°C

โดยที่ไก่ทดลองจะถูกเลี้ยงในกรง metabolic cage ด้วยสูตรอาหารทดลองระยะ 17-35 วัน เป็นเวลา 10 วัน โดยมีองค์ประกอบของสูตรอาหารและคุณค่าทางโภชนาการจากการคำนวณดังตารางที่ 2 สูตรอาหารทดลองทั้ง 3 สูตรจะผสมโครมิกซ์ออกไซด์ปริมาณ 0.5% เพื่อเป็นสารบ่งชี้ในการเก็บตัวอย่างมูล ไก่เนื้อในแต่ละกลุ่มทดลองจะได้รับอาหารทดลองที่ไม่ผสมโครมิกซ์ออกไซด์ 7 วัน (pretest) หลังจากนั้นจึงให้อาหารผสมโครมิกซ์ออกไซด์ 3 วัน (test) ตลอดการทดลองไก่จะได้รับน้ำและอาหารแบบเต็มตลอดเวลา

การเก็บบันทึกข้อมูล

1. ชั่งปริมาณอาหารทดลองเมื่อเริ่มต้นการทดลอง (อาหารผสมโครมิกซ์ออกไซด์) และชั่งปริมาณอาหารทดลองที่เหลือเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

2. เก็บตัวอย่างมูลไก่แบบเก็บหมด (total collection) เป็นเวลา 3 วัน โดยเริ่มเก็บมูลเมื่อมูลไก่เริ่มมีสีเขียวของโครมิกซ์ออกไซด์ และสิ้นสุดการเก็บมูลเมื่อไม่มีสีเขียวของโครมิกซ์ออกไซด์ โดยการเก็บมูลจะต้องพยายามเก็บให้หมด และปราศจากการปนเปื้อนของอาหารทดลองและเศษขนไก่ หรือเก็ดคของแข็ง ในการทดลองจะแบ่งการเก็บมูลไก่ออกเป็น 2 ช่วง คือ มูลไก่ในช่วงเวลา 16 ชั่วโมง (กลางคืน) และมูลไก่ในช่วงเวลา 8 ชั่วโมง (กลางวัน) เพื่อใช้เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ทาง

เคมี ทำการบันทึกน้ำหนักมูลสด จากนั้นทำการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของมูลให้มีค่าประมาณ 4 แล้วนำมูลที่ได้ในแต่ละวันเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ -4 °ซ เมื่อสิ้นสุดการทดลองจึงนำมูลทั้งหมดมารวมกันแล้วผสมจนเข้ากันดี หลังจากนั้นนำมูลไปตากแดดให้แห้งแล้วจึงนำมาอบให้แห้งสนิทที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมูลที่อบแห้งแล้วมาบดให้ละเอียดจากนั้นจึงนำมาวิเคราะห์ทางเคมี(Golband *et al.*,2001) นำค่าที่ได้มาคำนวณโดยใช้สูตร

% ค่าการใช้ประโยชน์ได้ = ปริมาณ โภชนะที่สัตว์ได้รับ - ปริมาณ โภชนะทั้งหมดที่ขับออกทางมูล

การทดลองที่ 3

ศึกษาผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อสมรรถภาพการผลิตและอัตราการตายในไก่เนื้อ

สมมติฐาน

ไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่ผ่านการอัดเม็ดที่อุณหภูมิสูงจะมีสมรรถภาพการผลิตต่ำกว่าไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่ผ่านการอัดเม็ดที่อุณหภูมิต่ำ

อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในโรงเรือน

โรงเรือนทดลองเป็นโรงเรือนระบบปิด ควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือนด้วยระบบระเหยไอน้ำ (evaporative cooling system) มีพัดลมระบายอากาศติดอยู่ท้ายโรงเรือน ซึ่งควบคุมด้วย thermostat ควบคุมการปิด-เปิดพัดลมและปั้มน้ำ มีระบบระบายอากาศแบบอุโมงค์ลม (tunnel ventilation system) ใช้เกลบเป็นวัสดุรองพื้น จำนวนคอกที่ใช้ทั้งหมด 48 คอก โดยแต่ละคอกมีขนาด 5 x 5 เมตร แต่ละคอกจะมีแผงเหล็กกั้นคอก อุปกรณ์ที่ใช้ภายในโรงเรือนประกอบด้วย

1. หัวกกแก๊สจำนวน 48 หัว ใช้กกกลูกไก่ตั้งแต่อายุแรกเกิดจนถึง 2 สัปดาห์
2. อุปกรณ์ให้น้ำเป็นระบบให้น้ำแบบหัวหยดอัตโนมัติ (nipple)
3. ถังใส่อาหารทดลองประจำไก่ทดลองแต่ละกลุ่ม

สัตว์ทดลอง

ลูกไก่กระหวงแรกเกิดสายพันธุ์ ROSS 308 จำนวน 9,600 ตัว เป็นเพศผู้ทั้งหมด

อาหารทดลอง

อาหารทดลองประกอบด้วยอาหารไก่เนื้อ 3 ระยะ (1-16 วัน, 17-35 วัน และ 36-49 วัน) โดยอาหารแต่ละระยะผลิตด้วยการคลุกไอน้ำอัดเม็ด โดยมีอุณหภูมิอัดเม็ดอ่านได้จากเกจวัดที่แตกต่างกันดังนี้

สูตรที่ 1 อาหารไก่เนื้ออัดเม็ดที่อุณหภูมิ 85°C

สูตรที่ 2 อาหารไก่เนื้ออัดเม็ดที่อุณหภูมิ 90°C

สูตรที่ 3 อาหารไก่เนื้ออัดเม็ดที่อุณหภูมิ 95°C

คำนวณสูตรอาหารให้มีสารอาหารเพียงพอต่อความต้องการของไก่เนื้อ โดยองค์ประกอบของสูตรอาหารและคุณค่าทางโภชนาการจากการคำนวณ แสดงในตารางที่ 3, 4 และ 5

อุปกรณ์ที่ใช้ในการผสมอาหาร

1. เครื่องบดแบบแฮมเมอร์มิล (Van Aarsen 700 2D, Holland)
2. เครื่องผสมอาหารแบบถังนอนความจุขนาด 5,000 กิโลกรัม (Van Aarsen 1400 2D, Holland)
3. เครื่องอัดเม็ด
 - 3.1 เครื่องอัดเม็ด กำลังมอเตอร์ 160 แรงม้า (Triumph TMP420, Ratchaburi, Thailand)
 - 3.2 เครื่องอัดเม็ด กำลังมอเตอร์ 214.5 แรงม้า (CPM 3020-6, California, USA)
 - 3.3 เครื่องอัดเม็ด กำลังมอเตอร์ 214.5 แรงม้า (CPM 3022-6, Californi, USA)

4. เครื่องคัดเลือกร

4.1 เครื่องคัดเลือกรความเร็ว 20 ตัน/ชั่วโมง (Geelen Counterflow, Netherland)

4.2 เครื่องคัดเลือกรความเร็ว 8-10 ตัน/ชั่วโมง (TC19*19, Ratchaburi, Thailand)

5. เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลสำหรับชั่งฟริกซ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บผลการทดลอง

เครื่องชั่งดิจิทัลสำหรับชั่งน้ำหนักไก่และน้ำหนักอาหารทดลอง

สถานที่ทดลอง

ทำการผลิตอาหารทดลอง ณ บริษัทชั้นฟีด จำกัด อำเภอนองแคะ จังหวัดสระบุรี

ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อสมรรถภาพการผลิตและอัตราการตายในไก่เนื้อ ณ ฟาร์มทดลองบริษัทชั้นฟีด จำกัด อำเภอบ้านนา จังหวัดนครนายก

วิธีการ

แผนการทดลอง

การทดลองนี้ศึกษาถึงผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อสมรรถภาพการผลิต และอัตราการตายในไก่เนื้อ โดยเปรียบเทียบน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยต่อตัว ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร เปรอร์เซ็นต์การเลี้ยงรอดของไก่เนื้อ ในแต่ละกลุ่มการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely randomized design, CRD) โดยใช้ไก่เนื้อเพศผู้ สายพันธุ์ Ross 308 อายุ 1 วัน จำนวน 9,600 ตัว แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 16 ซ้ำ ซ้ำละ 200 ตัว แล้วทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยโปรแกรมสำเร็จรูป SAS (2003) ใช้แบบหุนการทดลองดังนี้

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

โดยที่ Y_{ij} แทนค่าสังเกตของหน่วยทดลองในทรีตเมนต์ที่ i

μ = แทนค่าเฉลี่ยของประชากรทั้งหมด

α_i = แทนอิทธิพลของทรีตเมนต์ที่ 1, 2, 3

ε_{ij} = แทนความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

แต่ละกลุ่มการทดลองจะถูกสุ่มให้ได้รับอาหารทดลองดังต่อไปนี้เพียงสูตรเดียว

สูตรที่ 1 อาหารไก่เนื้ออัดเม็ดที่อุณหภูมิ 85°C

สูตรที่ 2 อาหารไก่เนื้ออัดเม็ดที่อุณหภูมิ 90°C

สูตรที่ 3 อาหารไก่เนื้ออัดเม็ดที่อุณหภูมิ 95°C

การศึกษาผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อสมรรถภาพการผลิตและอัตราการตายในไก่เนื้อ ตลอดการทดลองจะแบ่งออกเป็น 3 ช่วงอายุคือ 1-16 , 17-35 และ 36-49 วัน โดยในแต่ละช่วงอายุจะคำนวณอาหารให้มีสารอาหารเพียงพอต่อความต้องการของไก่เนื้อ โดยองค์ประกอบของสูตรอาหารและคุณค่าทางโภชนาการจากการคำนวณ แสดงในตารางที่ 3, 4 และ 5 โดยไก่เนื้อจะได้รับอาหารแบบกินเต็มที่ (*ad libitum*) ไก่ทดลองจะถูกเลี้ยงบนพื้นคอนกรีตที่มีเคลือบเป็นวัสดุรองพื้นในโรงเรือนปิดที่มีการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ โปรแกรมแสง และการให้วัคซีนตามโปรแกรมของมาตรฐานฟาร์มสัตว์ปีก มีน้ำสะอาดให้กินตลอดเวลา

การเก็บบันทึกข้อมูล

1. บันทึกน้ำหนักไก่เนื้อเริ่มทดลองโดยชั่งน้ำหนักรวมกันทั้งเช้า
2. บันทึกน้ำหนักไก่เนื้อ โดยชั่งน้ำหนักรวมกันทั้งเช้าในแต่ละกลุ่มการทดลอง ปริมาณอาหารที่กิน จำนวนไก่ตายที่อายุ 16, 36 และ 49 วัน กรณีที่มีไก่ตายในช่วงการทดลองจะหักน้ำหนักตัวและปริมาณอาหารที่กินของไก่ตัวที่ตายออก แล้วคำนวณหาน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อตัว ปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยต่อตัว ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารแบบสะสม โดยใช้สูตรดังต่อไปนี้

$$\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อตัว (กรัม)} = \frac{\text{น้ำหนักไก่สิ้นสุดการทดลอง} - \text{น้ำหนักไก่เริ่มต้นการทดลอง}}{\text{จำนวนไก่ที่ชั่ง}}$$

$$\text{ปริมาณอาหารที่กินต่อตัว (กิโลกรัม)} = \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่ให้} - \text{น้ำหนักอาหารที่เหลือ}}{\text{จำนวนไก่}}$$

$$\text{ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR)} = \frac{\text{ปริมาณอาหารที่กิน}}{\text{น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น}}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์การเลี้ยงรอด (\%)} = \frac{\text{จำนวนไก่สิ้นสุดการทดลอง} \times 100}{\text{จำนวนไก่เริ่มต้นการทดลอง}}$$

ระยะเวลาในการทดลอง

เริ่มทำการทดลองเดือนธันวาคม พ.ศ. 2551

สิ้นสุดการทดลองเดือนธันวาคม พ.ศ. 2552

ผลและวิจารณ์

การทดลองที่ 1

ศึกษาผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อคุณสมบัติทางกายภาพและโภชนะของเม็ดอาหารไก่เนื้อ

1. ผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อประสิทธิภาพการผลิตอาหาร

การเพิ่มระดับของอุณหภูมิในการอัดเม็ดอาหารจาก 85 เป็น 95°C ในอาหารไก่เนื้อทั้ง 3 ระยะ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตอาหารดีขึ้น โดยพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิในการอัดเม็ดอาหาร ส่งผลให้ค่าการใช้กระแสไฟฟ้าในการอัดเม็ด และค่าพลังงานที่ใช้ในการอัดเม็ดลดลง แต่กำลังการผลิตอาหารอัดเม็ดอาหารทั้ง 3 ระยะ ไม่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 7

การเพิ่มอุณหภูมิจากการคลุกไอน้ำ ส่งผลให้ไอน้ำที่เป็นแหล่งให้ความร้อนและความชื้น ทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นที่ช่วยลดการเสียดทานที่เกิดขึ้นในระหว่างการรีดเม็ดอาหารในจานอัดเม็ดทำให้ประสิทธิภาพการผลิตอาหารอัดเม็ดดีขึ้น (ณัฐชนกและปฐมมา, 2549) แต่การให้ไอน้ำไม่ควรให้มากเกินไป เนื่องจากแป้งจะมีความหนืดมากขึ้นและใสขึ้น แป้งเคลื่อนไหวได้ยากขึ้น อาจทำให้กำลังการผลิตอาหารอัดเม็ดลดลงได้ (Adam, 2008) แต่จากการศึกษาในครั้งนี้ไม่พบความแตกต่างในด้านกำลังการผลิตอาหารอัดเม็ดอาหารทั้ง 3 ระยะ อาจจะเป็นเนื่องมาจากปริมาณการผลิตอาหารที่ใช้ในการทดลองมีปริมาณน้อย และเป็นการผลิตในช่วงระยะเวลาสั้นๆ จึงทำให้อุณหภูมิที่สูงขึ้น ไม่มีผลต่อกำลังการผลิต

ตารางที่ 7 ผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อประสิทธิภาพการผลิตอาหารไก่เนื้อ

| อายุ (วัน) | อุณหภูมิในการอัดเม็ด (°ซ) | | | |
|------------|--|-------|-------|-------|
| | 85 | 90 | 95 | |
| 1-16 | ค่ากระแสไฟฟ้า (ampere) ¹ | 20.21 | 13.59 | 9.78 |
| | พลังงานที่ใช้ผลิตอาหารอัดเม็ด (Kwh/ton) ¹ | 5.05 | 3.80 | 2.74 |
| | กำลังการผลิต (ton/h) ¹ | 4.00 | 4.00 | 4.00 |
| 17-36 | ค่ากระแสไฟฟ้า (ampere) ¹ | 37.41 | 33.81 | 31.32 |
| | พลังงานที่ใช้ผลิตอาหารอัดเม็ด (Kwh/ton) ¹ | 4.05 | 3.65 | 3.40 |
| | กำลังการผลิต (ton/h) ¹ | 9.35 | 9.30 | 9.26 |
| 37-49 | ค่ากระแสไฟฟ้า (ampere) ¹ | 21.86 | 20.30 | 18.28 |
| | พลังงานที่ใช้ผลิตอาหารอัดเม็ด (Kwh/ton) ¹ | 1.67 | 1.48 | 1.37 |
| | กำลังการผลิต (ton/h) ¹ | 13.50 | 13.50 | 13.50 |

หมายเหตุ ¹ไม่ได้ทำการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ เนื่องจากค่าที่เก็บมีเพียงค่าเดียว

2. ผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อคุณสมบัติทางกายภาพของเม็ดอาหารไก่เนื้อ

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิอัดเม็ด 3 ระดับคือ 85, 90 และ 95°ซ ต่อคุณสมบัติทางกายภาพของเม็ดอาหารไก่เนื้อ พบว่าค่าความคงทนของเม็ดอาหารไก่เนื้อทั้ง 3 ธรรมะมีค่าความคงทนของเม็ดอาหารสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ เมื่ออุณหภูมิในการอัดเม็ดสูงขึ้น ($P < 0.01$) โดยที่ค่าเฉลี่ยของค่าความคงทนของเม็ดอาหารไก่เนื้ออายุ 1-16 วัน ที่ผลิตด้วยอุณหภูมิในการอัดเม็ดดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 90.40, 91.81 และ 95.50% สำหรับค่าเฉลี่ยของค่าความคงทนของเม็ดอาหารไก่เนื้ออายุ 17-35 วัน มีค่าเท่ากับ 91.20, 91.00 และ 94.10% และค่าเฉลี่ยของค่าความคงทนของเม็ดอาหารไก่เนื้ออายุ 36-49 วัน มีค่าเท่ากับ 91.10, 91.20 และ 94.30% ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อค่าความแข็งของเม็ดอาหารไก่เนื้อ พบว่าค่าความแข็งของเม็ดอาหารไก่เนื้ออายุ 1-16 วัน มีค่าความแข็งของเม็ดอาหารสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ เมื่ออุณหภูมิในการอัดเม็ดสูงขึ้น ($P < 0.01$) โดยที่ค่าเฉลี่ยของค่าความแข็งของเม็ดอาหารมีค่า

เท่ากับ 1.91, 2.05 และ 2.10 kg force ตามลำดับ สำหรับค่าความแข็งของเม็ดอาหารไก่เนื้ออายุ 17-36 วัน และอายุ 37-49 วัน มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เนื่องมาจากโครงสร้างของสูตรอาหารที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของอาหารอัดเม็ด โดยเฉพาะเปอร์เซ็นต์ไขมันในสูตรอาหารพบว่าอาหารไก่เนื้ออายุ 1-16 วัน มีการใช้น้ำมันรำข้าวในสูตรอาหารเท่ากับ 3.50% และเปอร์เซ็นต์ไขมันที่ได้จากการคำนวณเท่ากับ 8.05% (ดังแสดงในตารางที่ 3) สำหรับอาหารไก่เนื้ออายุ 17-35 วันมีการใช้น้ำมันรำข้าวในสูตรอาหารเท่ากับ 4.00% และเปอร์เซ็นต์ไขมันที่ได้จากการคำนวณเท่ากับ 8.20% และอาหารไก่เนื้ออายุ 36-49 วัน มีการใช้น้ำมันรำข้าวในสูตรอาหารเท่ากับ 4.00% และเปอร์เซ็นต์ไขมันที่ได้จากการคำนวณเท่ากับ 8.20% (ดังแสดงในตารางที่ 4 และ 5) ตามลำดับ การเติมไขมันจะส่งผลในเชิงลบต่อคุณภาพเม็ดอาหาร โดยการจับกันของอนุภาคในอาหารต้องอาศัยน้ำ รวมถึงสารเชื่อมต่างๆ เช่น แป้งแต่ด้วยคุณสมบัติของไขมันที่เป็นสารไม่มีขั้วและไม่ละลายในน้ำ (hydrophobic) ซึ่งจะรบกวนการจับกันขององค์ประกอบที่ละลายน้ำต่างๆ นอกจากนี้ไขมันยังทำหน้าที่เป็นสารเคลือบระหว่างอนุภาคของอาหารและระหว่างอาหารกับพื้นผิวของคานรีชณะอัดเม็ด ซึ่งมีข้อดีคือช่วยลดการเสียดสีขณะรีดอาหารผ่านรูคานรี แต่การเคลือบอนุภาคของอาหารนั้นจะทำให้คุณภาพของเม็ดอาหารต่ำลง (Salmon, 1985) ดังนั้นอาหารไก่เนื้ออายุ 1-16 วัน ซึ่งมีการใช้น้ำมันรำข้าวและเปอร์เซ็นต์ไขมันที่ได้จากการคำนวณต่ำกว่าอาหารไก่เนื้ออายุ 17-35 และ 36-49 วัน ส่งผลให้ปริมาณไอน้ำจากกระบวนการผลิตที่อุณหภูมิทั้ง 3 ระดับเข้าสู่เม็ดอาหารได้มากกว่าจึงมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของเม็ดอาหารอย่างชัดเจนมากกว่า

เช่นเดียวกันกับค่าเปอร์เซ็นต์ฝุ่นของอาหารไก่เนื้อทั้ง 3 ระยะ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ฝุ่นของอาหารมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ เมื่ออุณหภูมิในการอัดเม็ดสูงขึ้น ($P<0.01$) โดยที่ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ฝุ่นของอาหารไก่เนื้ออายุ 1-16 วัน มีค่าเท่ากับ 18.10, 17.70 และ 17.10% สำหรับค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ฝุ่นของอาหารไก่เนื้ออายุ 17-35 วัน มีค่าเท่ากับ 21.00, 20.70 และ 20.20% และค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ฝุ่นของอาหารไก่เนื้ออายุ 36-49 วัน มีค่าเท่ากับ 22.50, 22.20 และ 21.60% ตามลำดับ

เนื่องจากอุณหภูมิอัดเม็ดที่สูงขึ้นจะมีผลทำให้เกิดกระบวนการเจลาติไนซ์ (gelatinization) ของอนุภาคแป้งในวัตถุดิบได้มากขึ้น กระตุ้นการเกิดสารเชื่อมตามธรรมชาติ ส่งผลต่อการเชื่อมต่อระหว่างอนุภาคของวัตถุดิบ เม็ดอาหารจึงเกาะตัวกันได้ดียิ่งขึ้น (Remus, 2002) นอกจากนี้เม็ดอาหารที่ผลิตด้วยอุณหภูมิอัดเม็ดที่สูงจะมีความคงทนและความแข็งของเม็ดอาหารสูงกว่าเม็ดอาหารที่ผลิตด้วยอุณหภูมิอัดเม็ดที่ต่ำกว่า ส่งผลให้เม็ดอาหารแตกหักได้ยากกว่า เมื่อผ่านกระบวนการขนส่งอาหารไปยังฟาร์มหรือระบบการให้อาหารอัตโนมัติ (auto feed) ที่ใช้ภายใน

ฟาร์มทั่วไป ดังนั้นเปอร์เซ็นต์ฝุ่นของอาหารทั้งที่เกิดระหว่างกระบวนการผลิตและการขนส่งก็จะต่ำกว่า (Thomas *et al.*, 1996) สอดคล้องกับการทดลองของ Cutlip *et al.* (2008) พบว่าอาหารอัดเม็ดที่ได้รับแรงดันที่ 552 kPa และอุณหภูมิที่ 93.3°C จะมีค่าความคงทนของเม็ดอาหารสูงกว่าอาหารอัดเม็ดที่ได้รับแรงดันที่ 138 kPa และอุณหภูมิที่ 82.2°C แต่เปอร์เซ็นต์ฝุ่นของอาหารต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และสอดคล้องกับการทดลองของ Gilpin *et al.* (2002) พบว่าคุณภาพของเม็ดอาหารสูงขึ้นเมื่อผลิตด้วยอุณหภูมิอัดเม็ดที่สูงขึ้นจาก 75 เป็น 90 °C

และจากการศึกษาผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อขนาดอนุภาคฝุ่นของอาหาร พบว่าขนาดอนุภาคฝุ่นของอาหารไก่อเนื้อทั้ง 3 ระยะ มีขนาดอนุภาคลดลงเมื่ออุณหภูมิในการอัดเม็ดสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยที่ค่าเฉลี่ยขนาดอนุภาคฝุ่นของอาหารไก่อเนื้ออายุ 1-16 วัน มีค่าเท่ากับ 703, 677 และ 629 ไมครอน สำหรับค่าเฉลี่ยขนาดอนุภาคฝุ่นของอาหารไก่อเนื้ออายุ 17-35 วัน มีค่าเท่ากับ 784, 742 และ 741 ไมครอน และค่าเฉลี่ยขนาดอนุภาคฝุ่นของอาหารไก่อเนื้ออายุ 36-49 วัน มีค่าเท่ากับ 798, 766 และ 744 ไมครอน ตามลำดับ

จากผลการทดลองดังกล่าวมาแล้วข้างต้น เมื่อเม็ดอาหารไก่อเนื้อมีความคงทนและค่าความแข็งของเม็ดอาหารสูงขึ้น เม็ดอาหารแตกหักยาก (Thomas *et al.*, 1996) ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ฝุ่นของอาหารลดลงและขนาดอนุภาคฝุ่นของอาหารมีขนาดเล็กลงตามไปด้วย (Harmon, 2005) สอดคล้องกับการทดลองของ Xiuan (2004) พบว่าขนาดอนุภาคฝุ่นของอาหารไก่อเนื้อมีขนาดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่ออุณหภูมิอัดเม็ดอาหารสูงขึ้นจาก 75 เป็น 90 °C ($P < 0.05$)

ตารางที่ 8 ผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อคุณสมบัติทางกายภาพของเม็ดอาหารไก่เนื้ออายุ 1-49 วัน

| อายุ (วัน) | คุณสมบัติทางกายภาพ ของเม็ดอาหาร | อุณหภูมิในการอัดเม็ด (°ซ) | | | P-value | Pooled SE |
|------------|------------------------------------|---------------------------|--------------------|--------------------|---------|-----------|
| | | 85 | 90 | 95 | | |
| 1-16 | ค่าความคงทน (%) | 90.40 ^C | 91.80 ^B | 95.50 ^A | <0.001 | 0.22 |
| | ค่าความแข็ง (kg force) | 1.91 ^C | 2.05 ^B | 2.10 ^A | <0.001 | 0.14 |
| | ค่าเปอร์เซ็นต์ฝุ่น (%) | 18.10 ^A | 17.70 ^B | 17.10 ^C | <0.0001 | 0.11 |
| | ขนาดอนุภาคฝุ่น (µm) | 703 ^A | 677 ^B | 629 ^C | <0.0001 | 0.32 |
| 17-35 | ค่าความคงทน (%) | 91.20 ^B | 91.00 ^B | 94.10 ^A | <0.001 | 0.21 |
| | ค่าความแข็ง (kg force) | 4.73 | 4.85 | 4.93 | 0.58 | 0.18 |
| | ค่าเปอร์เซ็นต์ฝุ่น (%) | 21.00 ^A | 20.70 ^B | 20.20 ^C | <0.0001 | 0.13 |
| | ขนาดอนุภาคฝุ่น (µm) | 784 ^A | 742 ^B | 741 ^B | <0.0001 | 0.31 |
| 36-49 | ค่าความคงทน (%) | 91.10 ^B | 91.20 ^B | 94.30 ^A | <0.001 | 0.21 |
| | ค่าความแข็ง (kg force) | 7.53 | 7.78 | 7.98 | 0.29 | 0.16 |
| | ค่าเปอร์เซ็นต์ฝุ่น (%) | 22.50 ^A | 22.20 ^B | 21.60 ^C | <0.0001 | 0.12 |
| | ขนาดอนุภาคฝุ่น (µm) | 798 ^A | 766 ^B | 744 ^C | <0.0001 | 0.34 |

A, B, C อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแถวเดียวกัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
เชิงทางสถิติ (P<0.01)

เมื่อพิจารณาค่าความสุกของเม็ดอาหารไก่เนื้อทั้ง 3 ระยะ พบว่าค่าความสุกมีค่าสูงขึ้น
อย่างมีนัยสำคัญเชิงทางสถิติ เมื่ออุณหภูมิในการอัดเม็ดสูงขึ้น (P<0.01) โดยที่ค่าความสุกของอาหาร
ไก่เนื้ออายุ 1-16 วัน มีค่าเท่ากับ 4.58, 5.21 และ 5.69 สำหรับค่าความสุกของอาหารไก่เนื้ออายุ 17-
35 วัน มีค่าเท่ากับ 4.40, 4.79 และ 4.97 และค่าความสุกของอาหารไก่เนื้ออายุ 36-49 วัน มีค่าเท่ากับ
4.68, 4.87 และ 5.19 ตามลำดับ

อุณหภูมิอัดเม็ดที่สูงขึ้นจะเพิ่มปริมาณไอน้ำที่เข้าสู่เม็ดอาหารได้มากขึ้น (Hongtrakul *et al.*, 1998) โมเลกุลของน้ำสามารถแทรกตัวอยู่ในอนุภาคแป้งของวัตถุดิบหรือระหว่างสายของอะไมโลสได้มากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเม็ดอาหารที่ผลิตด้วยอุณหภูมิอัดเม็ดต่ำกว่า ส่งผลต่อการเกิดกระบวนการเจลลิตไนซ์ทำให้เม็ดอาหารมีค่าความสุกสูงขึ้น (Zhan *et al.*, 2007) สอดคล้องกับการทดลองของ McDevitt *et al.* (2002) ทำการศึกษาอุณหภูมิในการอัดเม็ดอาหารไก่เนื้อด้วยอุณหภูมิอัดเม็ด 3 ระดับคือ 80, 85 และ 90 °ซ พบว่าเม็ดอาหารมีค่าความสุกสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิอัดเม็ดสูงขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และสอดคล้องกับการทดลองของ Braton *et al.* (2006) พบว่าเมื่ออุณหภูมิอัดเม็ดอาหารสูงขึ้นจาก 75 เป็น 85 °ซ ค่าความสุกของเม็ดอาหารมีค่าสูงขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) นอกจากนี้ Skoch *et al.* (1981) ศึกษาถึงผลของอุณหภูมิอัดเม็ดอาหารในช่วง 23-80 °ซ ต่อระดับความสุกของแป้งข้าวโพด ผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิอัดเม็ดที่สูงขึ้น จะทำให้ระดับการสุกของแป้งในเม็ดอาหารสูงขึ้น และระดับการสุกจะกระจายอย่างสม่ำเสมอตลอดทั้งเม็ดอาหาร เมื่อเปรียบเทียบกับการอัดเม็ดอาหารด้วยอุณหภูมิต่ำ

ตารางที่ 9 ผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อค่าความสุกของเม็ดอาหารไก่เนื้อ

| อายุ (วัน) | อุณหภูมิในการอัดเม็ด (°ซ) | | | P-value | Pooled SE |
|------------|---------------------------|-------------------|-------------------|---------|-----------|
| | 85 | 90 | 95 | | |
| 1-16 | 4.58 ^C | 5.21 ^B | 5.69 ^A | <0.0001 | 0.32 |
| 17-35 | 4.40 ^C | 4.79 ^B | 4.97 ^A | <0.0001 | 0.33 |
| 36-49 | 4.68 ^C | 4.87 ^B | 5.19 ^A | <0.0001 | 0.38 |

A, B, C อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแถวเดียวกัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$)

จากการทดลองที่ 1 ที่กล่าวมาทั้งหมดสามารถตอบสนองสมมติฐานที่ตั้งไว้ได้ว่า อาหารไก่เนื้อที่ผ่านการอัดเม็ดที่อุณหภูมิสูงจะมีคุณสมบัติทางกายภาพของเม็ดอาหาร ได้แก่ ความแข็งของเม็ดอาหาร ความคงทนของเม็ดอาหารและ เปอร์เซ็นต์ฝุ่นของอาหาร ดีกว่าอาหารไก่เนื้อที่ผ่านการอัดเม็ดที่อุณหภูมิต่ำ (ยอมรับสมมติฐาน)

การทดลองที่ 2

ศึกษาผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อค่าการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหารในไก่เนื้อ

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อค่าการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหารในไก่เนื้อ พบว่า ค่าการใช้ประโยชน์ได้ของพลังงานรวมและไนโตรเจนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยไก่เนื้อกลุ่มที่ได้รับอาหารอัดเม็ดที่อุณหภูมิ 85 °ซ มีค่าการใช้ประโยชน์ได้ของพลังงานรวมสูงที่สุด รองลงมาคือกลุ่มที่ได้รับอาหารอัดเม็ดที่อุณหภูมิ 90 และ 95 °ซ ซึ่งมีค่าการใช้ประโยชน์ได้ของพลังงานรวมเท่ากับ 77.70, 76.20 และ 75.90% ตามลำดับ เช่นเดียวกันกับค่าการใช้ประโยชน์ได้ของไนโตรเจน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 75.70, 73.90 และ 73.60% ตามลำดับ สำหรับค่าการใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุแห้ง แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยมีค่าการใช้ประโยชน์ได้น้ำหนักแห้งเท่ากับ 70.60, 69.80 และ 69.90 % ตามลำดับ

อุณหภูมิอัดเม็ดที่สูงเกินไปจะมีผลต่อการทำลายสารอาหารต่างๆ ได้ เช่น การเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด รีแอคชั่น (Maillard reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการจับกันระหว่างกรดอะมิโนไลซีน (lysine) กับน้ำตาลรีดิวซิงซูการ์ (reducing sugar) เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่สัตว์ไม่สามารถย่อยและนำไปใช้ประโยชน์ได้ (สารโรซ, 2547) นอกจากนี้ อุณหภูมิอัดเม็ดที่สูงขึ้นจะเป็นการเพิ่มปริมาณไอน้ำเข้าสู่อนุภาคแข็งของอาหารมากยิ่งขึ้น แป้งจะมีความหนืดมากขึ้นและใสขึ้น แป้งเคลื่อนไหวได้ยาก อาหารจึงถูกอัดผ่านจานอัดได้ยากขึ้น สารอาหารต่างๆ จึงสามารถถูกทำลายได้ในขั้นตอนนี้ สอดคล้องกับการทดลองของ Raastad and Skrede (2003) ศึกษาถึงผลของอุณหภูมิการอัดเม็ดต่อค่าพลังงานการใช้ประโยชน์ได้ของไก่เนื้อ พบว่าอุณหภูมิอัดเม็ดที่สูงขึ้นจาก 69°ซ เป็น 80°ซ ทำให้ค่าพลังงานการใช้ประโยชน์ได้ในไก่เนื้อลดลงจาก 3,174 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม เหลือ 3,075 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม นอกจากนี้ McKinney *et al.* (2002) พบว่าอุณหภูมิอัดเม็ดที่สูงขึ้นจาก 70°ซ เป็น 90°ซ ทำให้ค่าการใช้ประโยชน์ได้ของพลังงานรวมและไนโตรเจนลดลงซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ตารางที่ 10 ผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อค่าการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหารในไก่เนื้อ

| การใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหาร (%) | อุณหภูมิในการอัดเม็ด (°ซ) | | | P-value | Pooled SE |
|----------------------------------|---------------------------|---------------------|--------------------|---------|-----------|
| | 85 | 90 | 95 | | |
| พลังงานรวม (Gross Energy, GE) | 77.70 ^A | 76.20 ^{AB} | 75.90 ^B | <0.001 | 0.56 |
| วัตถุแห้ง (Dry Matter, DM) | 70.60 | 69.80 | 69.90 | 0.061 | 0.64 |
| ไนโตรเจน (Nitrogen, N) | 75.70 ^A | 73.90 ^{AB} | 73.60 ^B | <0.001 | 0.67 |

^{A, B} อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแถวเดียวกัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$)

จากผลการทดลองสามารถสรุปสมมติฐานได้ว่า ไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่ผ่านการอัดเม็ดที่อุณหภูมิสูงจะมีค่าการใช้ประโยชน์ได้ของพลังงานรวมและไนโตรเจนต่ำกว่าไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่ผ่านการอัดเม็ดที่อุณหภูมิต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ยอมรับสมมติฐาน) แต่การใช้ประโยชน์ได้ของน้ำหนักร่างกายแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มลดลงเมื่อผ่านการอัดเม็ดที่อุณหภูมิสูงขึ้น ($P = 0.061$) (ยอมรับสมมติฐาน)

การทดลองที่ 3

ศึกษาผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อสมรรถภาพการผลิตไก่เนื้อ

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้ออายุ 1-16 วัน พบว่าปริมาณน้ำหนักร่างกายที่เพิ่มขึ้น ปริมาณอาหารที่กิน และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักร่างกายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยที่ปริมาณน้ำหนักร่างกายที่เพิ่มขึ้นของไก่เนื้อกลุ่มที่ได้รับอาหารอัดเม็ดที่อุณหภูมิ 85°ซ มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือกลุ่มที่ได้รับอาหารอัดเม็ดที่อุณหภูมิ 90°ซ และกลุ่มที่ได้รับอาหารอัดเม็ดที่อุณหภูมิ 95°ซ มีปริมาณน้ำหนักร่างกายที่เพิ่มขึ้นต่ำที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำหนักร่างกายที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 556, 533 และ 505 กรัม ตามลำดับ เช่นเดียวกันกับปริมาณอาหารที่กิน พบว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารอัดเม็ดที่อุณหภูมิ 85°ซ มีปริมาณอาหารที่กินมากที่สุด รองลงมาคือกลุ่มที่ได้รับอาหารอัดเม็ดที่อุณหภูมิ 90°ซ และกลุ่มที่ได้รับอาหารอัดเม็ดที่อุณหภูมิ

95°ซ มีปริมาณอาหารที่กินต่ำที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยปริมาณอาหารที่กินเท่ากับ 724, 717 และ 713 กรัม ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว พบว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารอัดเม็ดที่อุณหภูมิ 85°ซ มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวดีที่สุด รองลงมาคือกลุ่มที่ได้รับอาหารอัดเม็ดที่อุณหภูมิ 90°ซ และกลุ่มที่ได้รับอาหารอัดเม็ดที่อุณหภูมิ 95°ซ มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวแย่มากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวเท่ากับ 1.31, 1.35 และ 1.42 ตามลำดับ สำหรับอัตราการตายพบว่า แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีอัตราการตายเท่ากับ 1.16, 1.22 และ 1.18% ตามลำดับ

ไก่เนื้อกลุ่มที่ได้รับอาหารอัดเม็ดที่อุณหภูมิ 85°ซ ซึ่งเป็นอาหารที่มีค่าความแข็งและค่าความคงทนของเม็ดอาหารต่ำที่สุด แต่มีขนาดอนุภาคฝุ่นของอาหารสูงกว่า ส่งผลให้ไก่เนื้อสามารถกินอาหารได้มากกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารอัดเม็ดที่อุณหภูมิ 90 และ 95°ซ อีกทั้งยังส่งผลต่อปริมาณน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นและอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวที่ดีกว่า เนื่องจากไก่เนื้อสูญเสียพลังงานในการจิกกินอาหารน้อยกว่า ทำให้มีพลังงานเหลือเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตมากกว่า (Briggs *et al.*, 1999) อีกทั้งค่าการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหารทั้งวัตถุดิบ ในโตรเจน และพลังงานรวมของอาหารมีค่ามากกว่า (จากการทดลองที่ 2) จึงส่งผลต่อสมรรถภาพการผลิตที่ดีกว่า

นอกจากนี้ Wondra *et al.* (2003) ทำการศึกษาถึงรูปแบบของอาหารที่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิตในไก่เนื้อระยะเล็ก อายุ (1-14 วัน) พบว่าไก่เนื้อกลุ่มที่ได้รับอาหารที่อยู่ในรูปของอาหารขบแตก (crumble feed) มีสมรรถภาพการผลิตที่ดีกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารอัดเม็ดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เนื่องจากอาหารที่มีค่าความแข็งของเม็ดอาหารที่มากเกินไปจะส่งผลต่อพฤติกรรมการกินอาหารของไก่เนื้อระยะเล็ก (อายุ 1-14 วัน) โดยไก่เนื้อจะกินอาหารได้น้อยลงหรือไม่กินเลย ดังนั้นอาหารไก่เนื้อระยะเล็กจึงนิยมทำในรูปของอาหารขบแตกมากกว่า สอดคล้องกับการทดลองของ Braton *et al.* (2006) พบว่าไก่เนื้ออายุ 1-14 วัน ที่ได้รับอาหารที่มีค่าความแข็งของเม็ดอาหารเท่ากับ 1,482 กรัมของแรงที่ทำให้เม็ดอาหารแตก มีสมรรถภาพการผลิตที่ดีกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีค่าความแข็งของเม็ดอาหารเท่ากับ 1,621 กรัมของแรงที่ทำให้เม็ดอาหารแตกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) แต่ขัดแย้งกับ Parson *et al.* (2006) รายงานว่าไก่เนื้ออายุ 0-14 วัน ที่ได้รับอาหารที่มีค่าความแข็งของเม็ดอาหารเท่ากับ 1,856 กรัมของแรงที่ทำให้เม็ดอาหารแตก มีปริมาณการกินอาหาร การคงอยู่ของสารอาหารในร่างกาย (nutrient retention) พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ และ

ประสิทธิภาพการผลิตไก่เนื้อดีกว่า กลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีค่าความแข็งของเม็ดอาหารเท่ากับ 1,662 กรัมของแรงที่ทำให้เม็ดอาหารแตกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

และจากการศึกษาในครั้งนี้ อาหารไก่เนื้อระยะเล็กมีขนาดของเม็ดอาหารเท่ากับ 2 มิลลิเมตรซึ่งน่าจะมีผลต่อพฤติกรรมการกินและปริมาณการกินอาหาร ดังนั้นในกลุ่มที่ได้อาหารที่มีคุณภาพของเม็ดอาหารต่ำที่สุดคือกลุ่มที่ได้รับอาหารอัดเม็ดที่อุณหภูมิ 85°C จึงมีสมรรถภาพการผลิตดีที่สุด

ตารางที่ 11 ผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อสมรรถภาพการผลิตไก่เนื้ออายุ 1-16 วัน

| สมรรถภาพการผลิต | อุณหภูมิในการอัดเม็ด (°C) | | | P-value | Pooled SE |
|------------------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------|---------|-----------|
| | 85 | 90 | 95 | | |
| ปริมาณน้ำหนักรูที่เพิ่มขึ้น (กรัม) | 556 ^A | 533 ^B | 505 ^C | <0.001 | 7.90 |
| ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม) | 724 ^A | 717 ^B | 713 ^B | <0.001 | 2.80 |
| อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักรู | 1.31 ^B | 1.35 ^B | 1.42 ^A | <0.001 | 0.02 |
| อัตราการตาย (%) | 1.16 | 1.22 | 1.18 | 0.08 | 3.53 |

A, B, C อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแถวเดียวกัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$)

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้ออายุ 17-35 วัน พบว่าปริมาณน้ำหนักรูที่เพิ่มขึ้น ปริมาณอาหารที่กิน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักรู และอัตราการตาย แตกต่างกันอย่างไม่มีความสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำหนักรูที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อไก่เนื้อได้รับอาหารที่ผ่านการอัดเม็ดที่อุณหภูมิสูงขึ้น ($P = 0.06$) และมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักรูดีขึ้น ($P = 0.09$) เมื่อได้รับอาหารที่ผ่านการอัดเม็ดที่อุณหภูมิสูงขึ้นดังแสดงในตารางที่ 12 สำหรับไก่เนื้ออายุ 36-49 วัน มีปริมาณน้ำหนักรูที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 1,217, 1,202 และ 1,211 กรัม ปริมาณอาหารที่กินเท่ากับ 3,414, 3,484 และ 3,504 กรัม อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักรูเท่ากับ 2.81, 2.90 และ 2.89 และอัตราการตายเท่ากับ 2.91, 2.66 และ 2.92% ตามลำดับ ซึ่งอาหารไก่เนื้อระยะรุ่นมีขนาดของเม็ดอาหารเท่ากับ 3 มิลลิเมตรและอาหารไก่เนื้อระยะขุนมีขนาดของเม็ดอาหารเท่ากับ 3.5 มิลลิเมตร โดยที่อาหารทั้งสองระยะมีคุณภาพของเม็ด

อาหารดีขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการอัดเม็ดสูงขึ้น เนื่องจากไก่อายุระยะรุ่นและขุนจะมีสมรรถภาพการผลิตที่ดีขึ้นเมื่อได้รับอาหารที่มีคุณภาพของเม็ดอาหารดีขึ้น เพราะอาหารที่มีคุณภาพของเม็ดอาหารที่ดีจะมีความน่ากินมากกว่า ส่งผลต่อปริมาณการกินได้ที่มากกว่า ลดการเลือกกินและลดการสูญเสียของอาหาร ซึ่งลักษณะของอาหารดังกล่าวเหมาะสมต่อสรีระและพฤติกรรมการกินของไก่เนื้อระยะรุ่นและขุน ดังนั้นไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มีคุณภาพของเม็ดอาหารที่ดีกว่าจึงได้รับสารอาหารในปริมาณที่มากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับ McKinney *et al.* (2002) ที่พบว่าไก่เนื้อที่เลี้ยงด้วยอาหารประกอบด้วยเม็ดอาหาร 20% และ 40% มีประสิทธิภาพการใช้อาหารน้อยกว่าไก่เนื้อเลี้ยงด้วยอาหารที่ประกอบด้วยเม็ดอาหาร 80% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เนื่องจากอาหารที่มีเปอร์เซ็นต์ฝุ่นสูงจะทำให้ความน่ากินของอาหารลดลง ทำให้ปริมาณการกินน้ำและอาหารลดลงตามไปด้วย ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักตัว (weight gain)

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้ออายุ 1-49 วัน พบว่าปริมาณน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ปริมาณอาหารที่กิน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว และอัตราการตาย แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยมีปริมาณน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 3,609, 3,581 และ 3,595 กรัม ปริมาณอาหารที่กินเท่ากับ 6,698, 6,767 และ 6,773 กรัม อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวเท่ากับ 1.86, 1.89 และ 1.90 และอัตราการตายเท่ากับ 5.39, 5.38 และ 5.59% ตามลำดับ

จากการทดลองพบว่า ไก่เนื้อมีการเจริญเติบโตชดเชย (compensatory growth) ในระยะรุ่นและระยะขุน เนื่องจากไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่ผ่านการอัดเม็ดด้วยอุณหภูมิสูงจะได้รับปริมาณสารอาหารมากกว่า จากปริมาณของอาหารที่กินได้มากกว่าส่งผลต่อสมรรถภาพการผลิตที่ดีกว่าไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่ผ่านการอัดเม็ดด้วยอุณหภูมิต่ำกว่าดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ส่งผลให้สมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้ออายุ 1-49 วันไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 12 ผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อสมรรถภาพการผลิตไก่เนื้ออายุ 17-35 วัน

| สมรรถภาพการผลิต | อุณหภูมิในการอัดเม็ด (°ซ) | | | P-value | Pooled SE |
|--|---------------------------|-------|-------|---------|-----------|
| | 85 | 90 | 95 | | |
| ปริมาณน้ำหนักรักตัวที่เพิ่มขึ้น (กรัม) | 1,833 | 1,845 | 1,870 | 0.06 | 15.10 |
| ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม) | 2,559 | 2,566 | 2,556 | 0.11 | 18.30 |
| อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักรักตัว | 1.40 | 1.39 | 1.37 | 0.09 | 0.02 |
| อัตราการตาย (%) | 1.41 | 1.58 | 1.59 | 0.14 | 5.78 |

ตารางที่ 13 ผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อสมรรถภาพการผลิตไก่เนื้ออายุ 36-49 วัน

| สมรรถภาพการผลิต | อุณหภูมิในการอัดเม็ด (°ซ) | | | P-value | Pooled SE |
|--|---------------------------|-------|-------|---------|-----------|
| | 85 | 90 | 95 | | |
| ปริมาณน้ำหนักรักตัวที่เพิ่มขึ้น (กรัม) | 1,217 | 1,202 | 1,211 | 0.12 | 28.70 |
| ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม) | 3,414 | 3,484 | 3,504 | 0.21 | 34.00 |
| อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักรักตัว | 2.81 | 2.90 | 2.89 | 0.13 | 0.07 |
| อัตราการตาย (%) | 2.91 | 2.66 | 2.92 | 0.17 | 4.82 |

ตารางที่ 14 ผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อสมรรถภาพการผลิตไก่เนื้ออายุ 1-49 วัน

| สมรรถภาพการผลิต | อุณหภูมิในการอัดเม็ด (°ซ) | | | P-value | Pooled SE |
|--|---------------------------|-------|-------|---------|-----------|
| | 85 | 90 | 95 | | |
| ปริมาณน้ำหนักรักตัวที่เพิ่มขึ้น (กรัม) | 3,609 | 3,581 | 3,595 | 0.14 | 24.50 |
| ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม) | 6,698 | 6,767 | 6,773 | 0.23 | 34.70 |
| อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักรักตัว | 1.86 | 1.89 | 1.90 | 0.15 | 0.02 |
| อัตราการตาย (%) | 5.39 | 5.38 | 5.59 | 0.22 | 8.90 |

จากการทดลองที่ 3 สามารถตอบสมมติฐานได้ว่าไก่เนื้ออายุ 1-16 วัน ที่ได้รับอาหารที่ผ่านการอัดเม็ดที่อุณหภูมิสูงจะมีสมรรถภาพการผลิตต่ำกว่าไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่ผ่านการอัดเม็ดที่อุณหภูมิต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ยอมรับสมมติฐาน) แต่ไก่เนื้ออายุ 17-35 วัน และ 36-49 วัน ที่ได้รับอาหารที่ผ่านการอัดเม็ดที่อุณหภูมิสูงมีสมรรถภาพการผลิตแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ กับไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่ผ่านการอัดเม็ดที่อุณหภูมิต่ำกว่า แต่มีแนวโน้มดีขึ้นเมื่อได้รับอาหารที่ผ่านการอัดเม็ดที่อุณหภูมิสูงขึ้น (ปฏิเสธสมมติฐาน)



สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษาผลของอุณหภูมิอัดเม็ด 3 ระดับคือ 85, 90 และ 95 °ซ ต่อประสิทธิภาพการผลิตอาหารอัดเม็ด พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการอัดเม็ดที่สูงขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตอาหารอัดเม็ดดีขึ้น โดยมีผลให้ค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตอาหารอัดเม็ด และค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตอาหารอัดเม็ดต่อตันลดลง แต่กำลังการผลิตไม่แตกต่าง

การศึกษาผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อคุณสมบัติทางกายภาพของเม็ดอาหาร พบว่าเมื่ออุณหภูมิอัดเม็ดสูงขึ้นทำให้คุณภาพของเม็ดอาหารดีขึ้น (ค่าความแข็งและค่าความคงทนของเม็ดอาหารสูงขึ้น แต่เปอร์เซ็นต์ฝุ่นลดลง) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยที่ขนาดอนุภาคฝุ่นของอาหารจะมีขนาดลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) และค่าความสุกของเม็ดอาหารมีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการอัดเม็ดสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$)

การศึกษาผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อค่าการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหาร พบว่าค่าการใช้ประโยชน์ได้ของพลังงานรวมและไนโตรเจนมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อไก่ได้รับอาหารที่อัดเม็ดที่อุณหภูมิสูงขึ้นจาก 85 เป็น 95°ซ ($P < 0.01$) แต่ไม่พบความแตกต่างของค่าการใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุแห้ง

การศึกษาผลของอุณหภูมิอัดเม็ดต่อสมรรถภาพการผลิตในไก่เนื้อ พบว่าไก่เนื้อระยะเล็ก (อายุ 1-16 วัน) ที่ได้รับอาหารอัดเม็ดด้วยอุณหภูมิสูงขึ้น จะมีปริมาณน้ำหนักร่างที่เพิ่มขึ้น ปริมาณอาหารที่กิน และประสิทธิภาพการใช้อาหารต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) แต่ไม่พบความแตกต่างในไก่เนื้ออายุ 17-35 วัน และ 36-49 วัน เนื่องจากอาหารที่มีค่าความแข็งมากเกินไป และขนาดอนุภาคฝุ่นของอาหารมีขนาดเล็กเกินไป มีผลต่อการกินได้น้อยลงทำให้ไก่เนื้อระยะเล็กมีสมรรถภาพการผลิตที่ต่ำลง

ข้อเสนอแนะ

1. อาหารไก่เนื้อระยะเล็กรควรอัดเม็ดด้วยอุณหภูมิระดับต่ำ (จากการทดลองนี้คือ 85 °ซ) เนื่องจากการอัดเม็ดที่อุณหภูมิสูงอาจส่งผลต่อการทำลายคุณค่าทางโภชนาของอาหารไก่เนื้อได้อีก ทั้งส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพที่ไม่เหมาะสมต่อสรีระและพฤติกรรมการกินอาหารของไก่เนื้อระยะเล็ก ซึ่งจะส่งผลต่อสมรรถภาพการผลิตที่ต่ำลง

2. การเลือกระดับของอุณหภูมิในการผลิตอาหารอัดเม็ดในระบบอุตสาหกรรมการผลิตอาหารไก่เนื้อควรพิจารณา กำลังการผลิต (ตัน/ชั่วโมง), ปริมาณการผลิต และความต้องการของลูกค้าร่วมด้วย เนื่องจากอุณหภูมิอัดเม็ดที่สูงขึ้น ส่งผลต่อคุณภาพของเม็ดอาหารที่ดีขึ้นแต่อาจจะมีผลทำให้กำลังการผลิตลดลงได้

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- ณัฐชนก อมรเทวภัทร. 2548. เทคโนโลยีการผลิตอาหารสัตว์. คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 143 น.
- ณัฐชนก อมรเทวภัทร และ ปฐมา จาดกานนท์. 2549. ผลของอุณหภูมิคลุกไอน้ำอัดเม็ดและระดับมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่เนื้อต่อความคงทนของเม็ดอาหารและการใช้ประโยชน์ได้ของสารโภชนาภัณฑ์, น. 3-10. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 44. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
- สมาคมผู้ผลิตอาหารสัตว์. 2552. สถิติสินค้าปศุสัตว์. แหล่งที่มา: <http://www.thaifeedmill.com/html/gutiomn/dolfmn>, 10 กันยายน 2553.
- สาโรช คำเจริญ. 2547. อาหารและการให้อาหารสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง (Feeds and Feeding of Nonruminant). ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น. 669 น.
- สุกัญญา จัตตพรพงษ์. 2539. การตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบอาหารสัตว์. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเลี้ยงสุกรแห่งชาติ ภาควิชาสัตวบาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม. 194 น.
- อุทัย กัน โธ. 2550. อาหารและการผลิตอาหารเลี้ยงสุกรและสัตว์ปีก. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเลี้ยงสุกรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม. 297 น.
- Acar,D.L., E. Doeph, M. Lanahan, J. Tuan and P.F.S. Street. 1991. Effect of improve pellet quality from using a calaium lignosulfonate (CaLS) binder on broiler. **Poult. Sci.** 70: 1339-1342.
- Adam,C.F. 2008. **The Effect of DDGS inclusion on Pellet Quality and Pelleting Performance.** M.S. thesis, Kansas State University.

- ASAE. 1983. **Method of determining and expressing fineness of feed material by sieving.**
ASAE Standard S319, Agricultural Engineers Yearbook of Standard. American Society
of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI.
- _____. 1987. **Wafers, pellet, crumbles-definitions and methods for determining density,
durability and moisture content.** ASAE Standard S269.3, Agricultural Engineers
Yearbook of Standard. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI.
- _____. 1991. **Cubes, pellets, and crumbles definitions and methods for determining
density, durability, and moisture content.** ASAE Standard S269.3, Agricultural
Engineers Yearbook of Standards. American Society of Agricultural Engineers, St.
Joseph, MI.
- Bedford, M.R., E. Doeph, M. Lanahan, J. Tuan and P.F.S. Street. 2003. Relative efficacy
of a new thermo-tolerant phytase in wheat- base diet for broilers. **Poult. Sci.**
8:156-162.
- Behnke, K.C. 1994. **Factor affecting pelleting quality.** Maryland Nutrition Conference.
Departure of Poultry Science and Animal Science, College of Agriculture, University of
Maryland, College Park.
- _____. 2001. **Factors Influencing Pellet Quality.** Dept. of Grains Science and Industry,
Kansas State University, Manhattan, Kansas.
- _____ and R.S. Beyer. n.d. **Effect of Feed Processing on Broiler Performance.** Dept. of
Grain Science and Industry and Dept. of Animal Sciences and Industry, Kansas State
University, Manhattan, Kansas.

- Braton, S.L., F.N. Reece and J.W. Deaton. 2006. Effect of extrusion of maize on ileal and faecal digestibility of nutrients and performance of young piglets. **J. Anim. Sci.** 69: 1228-1236.
- Briggs, J. M., L.S. Marnden and A. P. Renonden. 1999. Effect of steam conditioning on nutrients availability in broiler. **J. Anim. Sci.** 79: 1028-1033.
- Cutlip, S.E., J.M. Hott, N.P. Buchanan, A.L. Rack, J.D. Latshaw and J.S. Moritz. 2008. The effect of steam-conditioning practices on pellet quality and growing broiler nutritional value. **Poult. Sci.** 17: 249-261.
- Dick, Z. n.d. Time and temperature control feed hygiene. **Feed Tech.** 5: 11-15.
- Eisenberg, D.A. 1992. MicrotracerTMF and their uses in assuring the quality of mixed formula feeds. **Adv. Feed Tech.** 7: 78-85.
- Fairfield, D.A. 2003. Pelleting for profit-Part 1. **Feed and Feed Digest.** 54 (6): 1-6.
- FinnFeeds International Ltd. 1997. **Technical Report TR 1300: UK: 97. 26**, Marlborough, UK.
- _____. 1998. **Technical Report TR 1300: UK: 98. 29**, Marlborough, UK
- Gibson, T.S., C.J. Koldon and B. V. Mcclery, 1993. Collaborative evaluation of an enzymatic starch damage assay kit and comparison with other method. **Cereal Chem.** 70: 47-51.
- Gilpin, M.E., D.M. Lott, D.J. Guchan, A.L. Rack, J.D. Latshaw and J.S. Moritz. 2002. The effect of steam-conditioning practices on performance poultry. **Poult. Sci.** 22: 253-278.
- Golband, F.D., P.D. Morach and N.T. Delsen. 2001. Method of determining digestibility in in poultry. **Anim. Feed Sci. Tech.** 8: 63-71.

- 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. **J. Anim. Sci.** 67: 1293-1298.
- Harmon, B.G. 2005. The influence of feed texture on broiler performance. **Poult. Sci.** 55: 1958-2014.
- Healy, B.J., J.D. Hancock, G.A. Kennedy, P.J. Bramel-Cox, K.C. Behnke and R.H. Hines. 1994. Optimum particle size of corn and hard and soft sorghum for nursery pig. **J. Anim. Sci.** 72: 2227-2236.
- Hetland, H., B. Svihus and V. Olaisen. 2002. Effect of Feeding whole cereals on performance, Starch digestibility and duodenum particle size distribution in broiler chicken. **Br. Poult. Sci.** 43: 416-423.
- Hongtrakul, K., R. D. Goodband, K. C. Behnke, J. L. Nelssen, M. D. Tokach, J. R. Bergstrom, W. B. Neemith, I. H. Kim. 1998. The effect of extrusion processing of carbohydrate sources on weanling pig performance. **J. Anim. Sci.** 76: 3034-3042.
- Israelsen, M., E.H. Sorensen and J. Busk. 1995. Effect on pellet quality starch and phytase. **Feed Tech.** 9: 31-38.
- Kimse, M., C. Bayourthe, V. Monteils and T. Gidenne. 2008. Live yeast stability in the digestive tract of the rabbit: relationship with digestion, growth and digestive health, pp. 695-699. *In 9th World Rabbit Congress.* Verona.

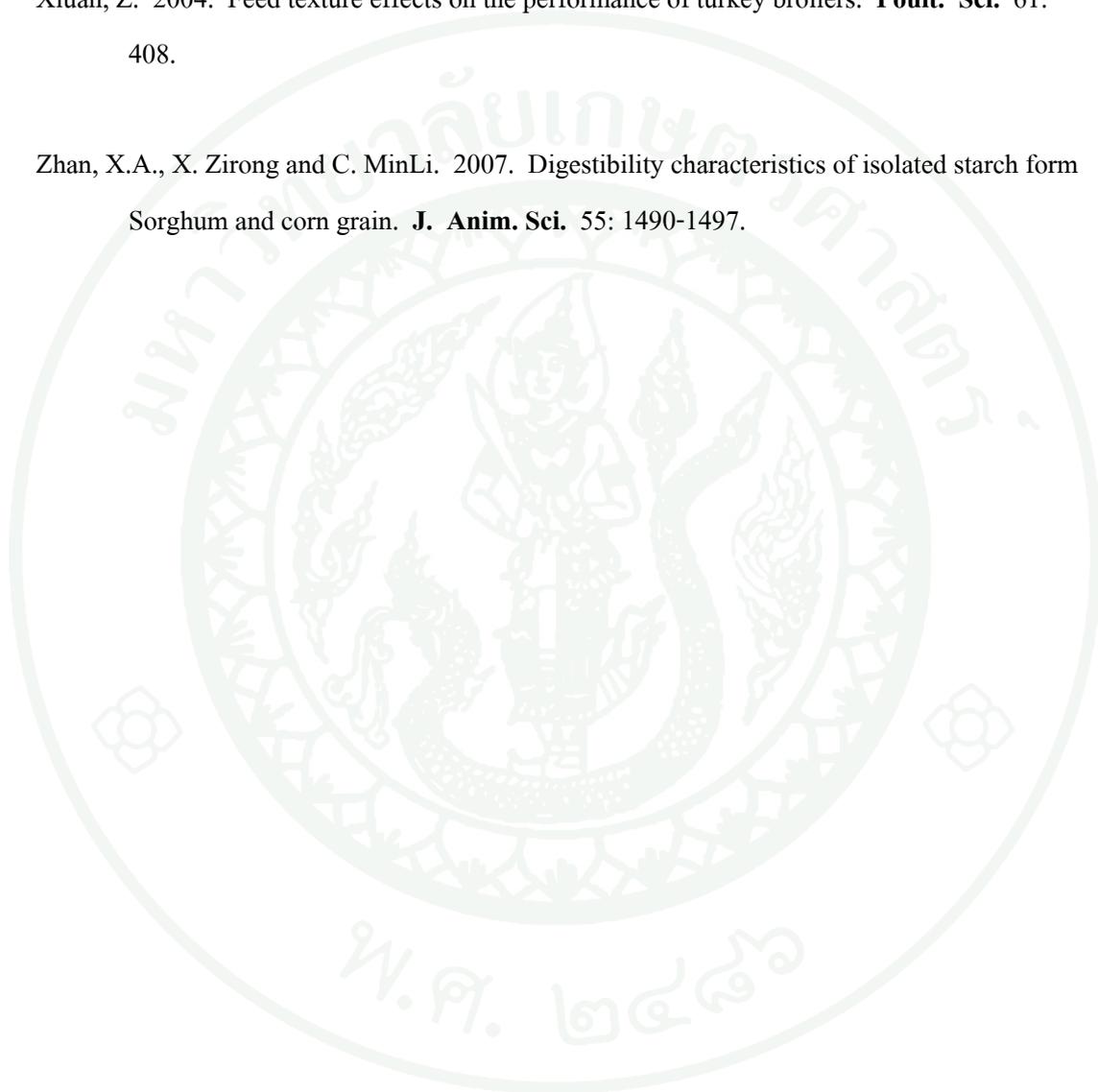
- McCapes, R.H., H.E. Ekperigin, W.J. Cameron, W.L. RitChie, J. Slagter, V. Stangeland and K.V. Nagaraji. 1998. Effect of a new pelleting process on the level of contamination of poultry mash by *Escherichia coli* and Salmonella. **Avian Dis.** 33 (1): 103-111.
- McCoy, R.A., K.C. Behnke, J.D. Hancock and R.R. McEllhiney. 1994. Effect of mixing uniformity on broiler chick performance. **Poult. Sci.** 73: 443-445.
- McDevitt, R.S., N.L. Mack and I. Wallis. 2002. Use of ingredient and diet technologies to produce Quality feeds for pigs. **Anim. Feed Sci. Tech.** 8: 95-102.
- McKinney, L.J., D.O. Skinner-Noble and R.G. Teeter. 2002. Pellet quality effect on broiler growth and efficiency. **Poult. Sci.** 63: 413-425.
- Moran, E.T.J. 1989. Effect of pellet quality on the performance of meal birds, pp. 87-108. *In* Haresign, and D.J.A. Cole, eds. **Recent Advances in Animal Nutrition.** 1989. Butterworths, London.
- Nir, I. 1994. Effect of particle size on performance. 1. Corn. **Poult. Sci.** 73: 45-49.
- Parson, 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.
- Raastad, N. and A. Skrede. 2003. Feed pelleting temperature influences growth performance of broiler chickens. **14th European Symposium on Poultry Nutrition**, Lillehammer, August 10-14, Norway.
- Reimer, L.L. and W.A. Beggs. 1993. Making better pellets: harnessing steam quality. **Feed Manage.** 44 (1): 22.

- Remus. 2002. Feed pelleting temperature influences growth performance and nutrient availability in broiler, pp. 11-15. **Feedstuff**. Miller Publishing, Minnesota. Aug 5.
- Salmon, R.E. 1985. Effects of pelleting, added sodium bentonite and fat in a wheat based diet on performance and carcass characteristics of small white turkeys. **Anim. Feed Sci. Tech.** 12: 223-232.
- SAS. 2003. **SAS/SAT Guide for Personal Computers**. Version 9.1.3 ed. SAS Institute Inc., North Carolina.
- Scheideler, S.E. 1991. Pelleting is important for broilers. **Proceeding of Carolina Poultry Nutrition, Conf.** Carolina Feed Industry Association, Sanford, NC.
- Schoeff, R.W. 1994. History of the formula feed industry, pp. 99-103. *In* R.R. McElhiney, ed. **Feed Manufacturing Technology IV**. American Feed Industry Association, Arlington, Virginia.
- Skoch, E.R., K.C. Behnke, C.W. Deyoe and S.F. Binder. 1981. The effect of steam-conditioning rate on the pelleting process. **Anim. Feed Sci. Tech.** 6: 83-90.
- Thomas, M and A. F.B. Van Der Poel. 1990. Physical quality of pelleted animal feeds. Part I: Criteria for pellet quality. **Anim. Feed Sci Tech.** 61: 89-112.
- Wilson, K.J. and R.S. Beyer. 1997. Influence of annular gap expansion on broiler performance. **Poult. Sci.** Annual Meeting, Athens, GA.
- Wondra, K.J., J.D. Hancock, K.C. Behnke, R.H. Hine and C.R. Stark. 1995. Effect of particle size and pelleting on growth performance, nutrient digestibility, and stomach morphology in finishing pigs. 1,2. **J. Anim. Sci.** 73: 757-763.

Wondra, K.J., J.D. Hancock, K.C. Behnke, R.H. Hine and C.R. Stark. 2003. Effect of particle size and pelleting on growth performance, nutrient digestibility, and stomach morphology in swine. 1,2. **J. Anim. Sci.** 83: 650-658.

Xiuan, Z. 2004. Feed texture effects on the performance of turkey broilers. **Poult. Sci.** 61: 408.

Zhan, X.A., X. Zirong and C. MinLi. 2007. Digestibility characteristics of isolated starch from Sorghum and corn grain. **J. Anim. Sci.** 55: 1490-1497.





ภาคผนวก

การวิเคราะห์ความคงทนของเม็ดอาหารด้วยกล่องเขย่า

1. ชั่งน้ำหนักเม็ดอาหารประมาณ 500 กรัม โดยเม็ดอาหารผ่านการร่อนฝุ่นออกแล้ว (น้ำหนักก่อนเขย่า) เทตัวอย่างอาหารที่ผ่านการร่อนแล้วในกล่องเขย่า เป็นกล่องสี่เหลี่ยมขนาด 5x12x12 นิ้ว หรือ 13x30x30 เซนติเมตร ภายในมีแผ่นโลหะขนาด 2x9 นิ้วหรือ 5x23 เซนติเมตร วางทแยงในกล่องและหมุนด้วยความเร็ว 50 รอบต่อนาที เขย่าเป็นเวลา 10 นาที ในการทดสอบจะทดสอบความคงทนของเม็ดอาหารโดยชนิดปกติ และชนิดดัดแปร (Modified pellet durability index) ซึ่งมีการใส่น้ำขนาด 12.7 หรือ 13 มิลลิเมตร จำนวน 5 ตัวลงในกล่องเพื่อเพิ่มความรุนแรงในการเขย่า
2. นำตัวอย่างอาหารหลังผ่านการเขย่า 10 นาที มาร่อนตัวอย่างเม็ดอาหารเพื่อแยกฝุ่นออกจากเม็ดอาหาร ตะแกรงร่อนที่ใช้ต้องมีขนาดรูเปิดเล็กกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเม็ดอาหาร โดยที่อาหารอัดเม็ดขนาดต่างๆ จะใช้ตะแกรงที่มีรูเปิดต่างกัน ดังตารางผนวกที่ 1
3. ชั่งน้ำหนักเม็ดอาหารที่ค้างอยู่บนตะแกรงร่อนด้วยเครื่องชั่ง (น้ำหนักหลังเขย่า)
4. คำนวณค่าความคงทนของเม็ดอาหาร จากสูตร (ASAE, 1987)

ตารางผนวกที่ 1 ขนาดของตะแกรงร่อนที่ใช้ร่อนอาหารขนาดต่างๆ

| เส้นผ่านศูนย์กลาง ของเม็ดอาหาร (มิลลิเมตร) | ตะแกรงร่อน | |
|---|------------|--------------------|
| | หมายเลขเมฆ | รูเปิด (มิลลิเมตร) |
| อาหารเม็ดขบ | No.12 | 1.68 |
| 2.38 | No.10 | 1.99 |
| 3.18 | No.7 | 2.83 |
| 3.57 | No.6 | 3.35 |
| 3.97 | No.6 | 3.35 |
| 4.76 | No.5 | 3.98 |
| 5.16 | No.4 | 4.75 |
| 6.35 | No.3 1/2 | 5.66 |

ที่มา: ญัฐชนก (2548)

การวิเคราะห์การเข้าย่อยได้ของเอนไซม์ fungal α -amylase และ amyloglucosidase (ค่าความสุกของอาหาร)

สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารทดลองเฉพาะส่วนที่เป็นเม็ดแข็งในแต่ละกลุ่มการทดลองกลุ่มละ 3 ซ้ำ ซ้ำ ละ 500 กรัมเพื่อนำมาวิเคราะห์การเข้าย่อยได้ของเอนไซม์โดยวิธีการของ (Gibson *et al.*, 1993) โดยทำการวิเคราะห์การเข้าย่อยได้ของเอนไซม์ของเม็ดอาหาร ทั้ง 3 ส่วน คือ ด้านนอกของเม็ดอาหาร ด้านในของเม็ดอาหาร และเม็ดอาหารทั้งเม็ด ซึ่งมีวิธีการวิเคราะห์ดังนี้

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 100 mg ใส่ลงในหลอด centrifuge (16*120mm;12ml)
2. นำหลอดไปอุ่นที่ 40° C ประมาณ 5 นาที
3. นำ Fungal α -Amylase solution ใส่ในบีกเกอร์ขนาดเล็กแล้วนำไปอุ่นที่ 40° C ประมาณ 5 นาที

4. เติม Fungal α -Amylase solution 1 ml ในแต่ละหลอดแล้วทำให้เข้ากันโดยใช้ vortex mixer ประมาณ 5 วินาทีและนำไป incubate ที่ 40° C ประมาณ 10 นาทีหลังจากที่เติม enzyme แล้ว
5. เมื่อครบ 10 นาทีเติม dilute sulphuric acid solution (0.2% v/v) 8 ml ในแต่ละหลอดแล้วทำให้เข้ากันโดยใช้ vortex mixer ประมาณ 5 วินาที
6. นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง centrifuge ที่ 3,000 rpm เป็นเวลา 5 นาทีหรือนำไปกรองโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 1
7. นำส่วนใสที่ได้จำนวน 0.1 ml นำมาใส่ในหลอดทดลอง
8. เติม Amyloglucosidase solution จำนวน 0.1 ml ในแต่ละหลอดแล้วทำให้เข้ากันโดยใช้ vortex mixer และนำไป incubate ที่ 40° C ประมาณ 10 นาที
9. เติม GOPOD Reagent solution ในแต่ละหลอด รวมทั้งหลอดที่เป็น glucose std และ blank ด้วยและนำไป incubate ที่ 40° C ประมาณ 20 นาที
10. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 510 nm จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ไปคำนวณโดยใช้สูตร

$$\% \text{การเข้าย่อยได้ของเอนไซม์} = \Delta E \times (F/W) \times 8.1$$

เมื่อ ΔE = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

F = 150 (ไมโครกรัมของกลูโคส)

ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคส

W = น้ำหนักของตัวอย่างที่ชั่ง (มิลลิกรัม)

การวิเคราะห์ความแข็งของเมล็ดอาหาร

สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารทดลองเฉพาะส่วนที่เป็นเมล็ดเขียนในแต่ละกลุ่มการทดลองกลุ่มละ 3 ซ้ำ ซ้ำ ละ 500 กรัม เลือกเมล็ดอาหารที่มีความยาวของเมล็ดอาหารใกล้เคียงกันจำนวน 20 เม็ดในแต่ละซ้ำ เพื่อนำมาวิเคราะห์ความแข็งของเมล็ดอาหารโดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Kahl hardness tester (Model 21465, Reinbek, Germany)



ภาพผนวกที่ 1 เครื่องวัดความแข็งของเมล็ดอาหาร

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

| | |
|------------------------------|--|
| ชื่อ -นามสกุล | นางสาวศิริวรรณ สมลา |
| วัน เดือน ปี ที่เกิด | 12 กรกฎาคม พ.ศ. 2526 |
| สถานที่เกิด | อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม |
| ประวัติการศึกษา | วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน (พ.ศ. 2548) |
| ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน | -เจ้าหน้าที่เทคนิคสุตรอาหารสัตว์ |
| สถานที่ทำงานปัจจุบัน | -บริษัท ชันฟีด จำกัด 1/97-98 ถ. พหลโยธิน 40 แขวงเสนานิคม เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900 |