# ผลของรูปแบบอาหารและระดับมันสำปะหลัง ต่อกระบวนการอัดเม็ด การย่อยได้ของสารอาหาร และสมรรถภาพการผลิตของลูกสุกรหย่านม

# Effects of Feed Forms and Levels of Cassava on Pelleting Process, Nutrient Digestibility and Growth Performance of Weaning Piglets

## คำนำ

มันสำปะหลังเป็นพืชไร่ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทย เป็นพืชที่ปลูกง่าย ทำให้เกษตรกรนิยมปลูกมันสำปะหลังกันอย่างกว้างขวาง และในช่วงปีที่ผ่านมา 2542/2543 มันสำปะหลังมีผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 10.91 ตัน/ไร่ แต่ละปีประเทศไทยผลิตหัวมันสำปะหลังสดได้มากกว่า 20 ล้านตัน ซึ่งมันสำปะหลังส่วนใหญ่ที่ผลิตได้ถูกแปรรูปไปเป็นมันอัดเม็ดและมันเส้น เพื่อส่งออกไปขายยังประเทศในสหภาพยุโรปและประเทศอื่นๆ ในเอเชียเพื่อใช้ผลิตเป็นอาหารสัตว์ แต่สำหรับประเทศไทยนั้นยังมีการใช้มันสำปะหลังในรูปมันเส้นและมันอัดเม็ดในสูตรอาหารสัตว์ชนิดต่างๆ ปริมาณน้อยมาก ทั้งที่มันเส้นและมันอัดเม็ดมีราคาถูกกว่าวัตถุดิบอาหารประเภทเดียวกัน เช่น ข้าวโพดหรือปลายข้าว ทั้งนี้อาจเนื่องจากเกษตรกรขาดความรู้ความเข้าใจในการใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์ ทำให้เกิดปัญหาในการให้ผลผลิตของสัตว์ (อุทัย และสุกัญญา, 2547)

ในปัจจุบันได้มีการศึกษาออกมาจำนวนมาก เกี่ยวกับการใช้มันสำปะหลังในอาหารสัตว์ โดยเฉพาะอาหารสุกรโคเนื้อ และโคนม พบว่ามันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบอาหารที่ดีเนื่องจากแป้งมันสำปะหลังเป็นแป้งอ่อน (soft starch) สามารถดูดน้ำได้เร็ว และเกิดการเจลลาติไนซ์ (gelatinization) ได้เร็วในระบบทางเดินอาหารของสัตว์ ซึ่งมีผลทำให้แป้งในมันสำปะหลังถูกย่อยได้เร็วในทางเดินอาหาร เชื้อราน้อยมากหรือไม่มีเลยเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพดที่มีโอกาสปนเปื้อนของสารพิษจากเชื้อรามากกว่า สัตว์ที่กินอาหารปนเปื้อนสารพิษจากเชื้อราจะแสดงอาการกินอาหารน้อยลง การเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตน้อย หากพิจารณาข้อได้เปรียบของมันสำปะหลังในเชิงอาหารสัตว์ดังกล่าวข้างต้นแล้วจะพบว่า มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบอาหารสำหรับการเลี้ยงสัตว์ในสหัสวรรษใหม่ ซึ่งการเลี้ยงต้องเป็นธรรมชาติและที่สำคัญต้องมีการใช้ยาปฏิชีวนะลดลง (อุทัย, 2545)

มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบอาหารที่คุณสมบัติของแป้งเป็นชนิดแป้งอ่อน การบดมันเส้นจึงทำได้ง่าย แต่จะมีปัญหาฝุ่นมากขณะบด รวมไปถึงอาหารผสมที่ใช้มันบดจะมีลักษณะความเป็นฝุ่นด้วย ทำให้สัตว์ไม่ชอบกิน เนื่องจากจะไประคายเคืองระบบทางเดินหายใจของสัตว์ทำให้กินอาหารแล้วจะต้องกินน้ำมาก จึงกินอาหารได้น้อยลงและมูลเหลว การเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารด้อยลง การแก้การเป็นฝุ่นระหว่างการใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์สามารถทำได้โดย การคลุกไอน้ำและอัดเม็ด เป็นกระบวนการที่ใช้ความร้อนชื้นจากไอน้ำและแรงกดอัดที่เกิดขึ้นระหว่างการรีดเม็ดอาหารออกจากรูไดย์ (die hole) ของจานอัด โดยความร้อนชื้นจากไอน้ำและการกดอัด มีผลช่วยให้โครงสร้างของเม็ดแป้งบางส่วนเปิดออก การย่อยแป้งโดยเอนไซม์จึงมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น การใช้ประโยชน์ได้ของแป้งเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงส่งผลโดยตรงต่อสมรรถภาพการผลิตสัตว์ โดยเฉพาะในสัตว์ระยะเล็กอย่างเช่นในลูกสุกรอนุบาลที่ระบบการย่อยอาหารยังพัฒนาไม่สมบูรณ์ ประกอบกับการเกิดความเครียดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงแหล่งอาหารจากน้ำนมแม่มาเป็นอาหารสำเร็จรูปและความเครียดจากการเปลี่ยนสภาพแวดล้อม ส่งผลให้การใช้ประโยชน์ของแป้งในอาหารลูกสุกรนั้นต่ำลง ดังนั้นการเพิ่มการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหาร โดยเฉพาะแป้งโดยการทำให้โครงสร้างเอื้อต่อการเข้าย่อยได้ของเอนไซม์ การทำให้แป้งเกิดเจลาติไนซ์ จะช่วยเพิ่มการใช้ประโยชน์ของแป้งมากขึ้น

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาระดับของมันสำปะหลังที่แตกต่างกันในสูตรอาหาร ที่มีผลต่อกระบวนการผลิตอาหารสัตว์ (อุณหภูมิคลุกไอน้ำ ปริมาณการผลิตต่อชั่วโมง ค่าพลังงานการอัดเม็ด คุณภาพเม็ดอาหาร) และการตอบสนองจากตัวสัตว์ที่มีต่อการใช้ประโยชน์ของแป้งในอาหารสูตรมันสำปะหลัง ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้ทั้งในส่วนของกระบวนการผลิตที่มีต่อการใช้ประโยชน์ได้ของพลังงานสารอาหาร และสมรรถภาพการผลิตของลูกสุกร จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมการเลี้ยงสุกรในประเทศไทย เพื่อนำไปสู่การเพิ่มปริมาณการใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบหลักในอาหารให้มากขึ้นและคุ้มค่าทางเศรษฐกิจต่อต้นทุนการเลี้ยงสุกร

# วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลของระดับมันสำปะหลังในสูตรอาหารต่อกระบวนการอัดเม็ด คุณภาพเม็ดอาหาร และการใช้ประโยชน์ได้ของแป้งในอาหารสูตรมันสำปะหลัง

2. ศึกษารูปแบบและระดับมันสำปะหลังของอาหาร ที่ผ่านกระบวนการอัดเม็ดต่อการย่อยได้ของสารอาหารในลูกสุกรหย่านม

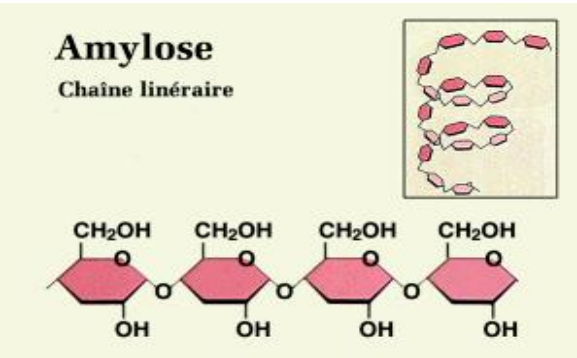
3. ศึกษารูปแบบและระดับมันสำปะหลังของอาหาร ที่ผ่านกระบวนการอัดเม็ด ต่อสมรรถภาพการผลิตของลูกสุกรหย่านม

# การตรวจเอกสาร

## โครงสร้างทางเคมีของแป้งมันสำปะหลัง

แป้งมันสำปะหลังอยู่ในลักษณะของเม็ดแป้ง (granule) มีลักษณะเป็นทรงกลม (round) เส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 5-35 ไมครอน โดยเฉลี่ย 17 ไมครอน (University of Georgia Team, 1972) โดยจะมีโครงสร้างคล้ายกับแป้งทั่วๆ ไป ซึ่งประกอบด้วยโพลิเมอร์ของคาร์โบไฮเดรต 2 ชนิด คือ อะไมโลส (amylose) และอะไมโลแพคติน (amylopectin) ปริมาณอะไมโลสในแป้งมันสำปะหลังมีประมาณ 16 เปอร์เซ็นต์ ที่เหลือเป็นอะไมโลเพคติน สัดส่วนดังกล่าวจะแตกต่างกันตามอายุของหัวมัน และในแป้งแต่ละชนิดก็จะแตกต่างกันไปด้วย (Defloor *et al*., 1998)

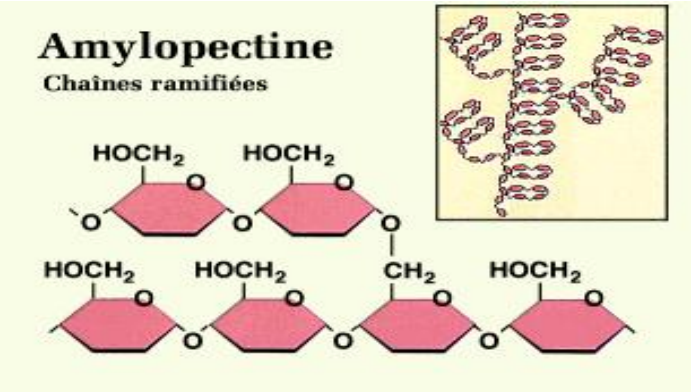
1. อะไมโลส (amylose) เป็นโพลิเมอร์แบบเชิงเส้นประกอบด้วยกลูโคส ประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ $\alpha$-1, 4- glucosidic linkage เป็นเส้นตรง โดยอะไมโลสที่มีขนาดใหญ่จะอยู่กลางของเม็ดแป้ง ส่วนอะไมโลสขนาดเล็กจะอยู่ตามขอบเม็ดแป้ง (Oates, 1997) ในแป้งพวกธัญพืช เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี และข้าวฟ่าง มีปริมาณอะไมโลสสูง ประมาณ 28 เปอร์เซ็นต์ ส่วนแป้งจากพืชหัว เช่น มันสำปะหลัง มันฝรั่ง และสาคู มีปริมาณอะไมโลสต่ำ ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์




ภาพที่ 1 โครงสร้างทางเคมีของอะไมโลส
ที่มา: Gilles (2005)

2. อะไมโลแพคติน (amylopectin) เป็นโพลิเมอร์แบบเชิงกิ่ง ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000,000 หน่วย ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ $\alpha$-1, 4- glucosidic linkage

และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นโพลิเมอร์กลูโคสสายสั้น เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ $\alpha$-1, 6- glucosidic linkage ลักษณะโครงสร้างอะไมโลแพคตินประกอบด้วยส่วนผลึกที่เรียงตัวกันอย่างหนาแน่น (crystallite region) และส่วนอสัณฐานที่เรียงตัวกันอย่างหลวมๆ (amorphous region; Robin *et al.*, 1974) อะไมโลแพคตินถือว่ามีความสำคัญมากกว่าอะไมโลส ทั้งด้านโครงสร้าง หน้าที่ และการนำไปใช้ ปริมาณของอะไมโลสและอะไมโลแพคตินที่แตกต่างกัน ทำให้คุณสมบัติของแป้งแตกต่างกัน (Oates, 1997)




ภาพที่ 2 โครงสร้างทางเคมีของอะไมโลแพคติน
ที่มา: Gilles (2005)

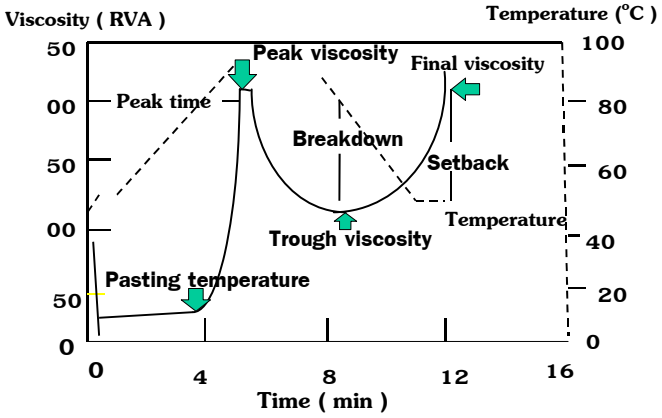
**คุณสมบัติทางด้านเคมีฟิสิกส์ของแป้งมันสำปะหลัง**

โมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl groups) จำนวนมาก ยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีขั้ว (hydrophillic) แต่เม็ดแป้งอยู่ในรูปร่างแห (micelles) การจัดเรียงตัวลักษณะนี้จะทำให้เม็ดแป้งละลายน้ำเย็นได้ยาก ดังนั้นในขณะที่แป้งอยู่ในน้ำเย็นหรืออยู่ในอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาติไนซ์ เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำและพองตัวได้เล็กน้อย เนื่องจากมีพันธะไฮโดเจนซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งที่อยู่ใกล้ๆ กัน (water bridges; Leach *et al*., 1959) แต่เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายน้ำแป้งที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเจลาติไนซ์ พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำและพองตัว ทำให้ละลาย ส่วนผสมของน้ำแป้งจะมีความหนืดมากขึ้นและใสขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลืออยู่รอบๆ เม็ดแป้งเหลือน้อยลง เม็ดแป้งเคลื่อนไหว

ได้ยากขึ้น ทำให้เกิดความหนืด ซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การเกิดเจลาทิไนซ์ อุณหภูมิที่สารละลายเริ่มเกิดความหนืดเรียกว่า อุณหภูมิเริ่มเจลาทิไนซ์ เมื่อตรวจวัดโดยเครื่องมือวัดความหนืด (pasting temperature) หรือเวลาที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting time; Sander, 1996) ซึ่งแป้งแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกัน เช่น แป้งจากมันสำปะหลัง มีอุณหภูมิเริ่มเจลาทิไนซ์ 59-69 องศาเซลเซียส ซึ่งจะต่ำกว่าอุณหภูมิจากแป้งธัญพืช (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546)

Hongtrakul *et al*. (1997) พบว่า การเพิ่มระดับการเกิดเจลาทิไนเซชันในแป้งข้าวโพดที่สูงขึ้น จะทำให้ average daily gain; ADG และ average daily feed intake; ADFI ลดลงและเพิ่มขึ้นช่วงท้าย ส่วนความสามารถในการย่อยได้ของ dry matter; DM crude protein; CP และ digestible energy; DE จะมีค่าสูงสุด เมื่ออาหารมีองค์ประกอบของแป้งที่เกิดเจลาทิไนซ์ 64.4 เปอร์เซ็นต์ แต่จะลดลงเมื่อการเกิดเจลาทิไนซ์เพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าในช่วงกระบวนการผลิตอาหารหากมีน้ำมากหรือได้รับอุณหภูมิที่ต่ำเกินไป จะขัดขวางการเกิดการเกิดเจลาทิไนซ์อย่างสมบูรณ์ของแป้ง (Hongtrakul *et al*., 1997) หรืออีกกรณีหนึ่งคือเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในอาหารขึ้น ความหนืดก็จะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่มีความหนืดสูงสุด (peak viscosity) เป็นจุดที่เม็ดแป้งพองตัวสูงสุด เกิดการจัดเรียงตัวใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นร่างแหสามมิติ ซึ่งโครงสร้างใหม่นี้สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก เกิดลักษณะเจลเหนียว คล้ายฟิล์มหรือผลึก เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 90 องศาเซลเซียสและเพิ่มเวลาต่อไปอีก พร้อมทั้งมีการกวนอย่างต่อเนื่อง จะทำให้โครงสร้างของเม็ดแป้งแตกออก ความหนืดลดลง หรือเกิดการยุบตัวของเม็ดแป้ง (breakdown) ความหนืดที่จุดนี้เรียกว่า ความหนืดต่ำสุด (trough viscosity) ต่อมาถ้ามีการลดอุณหภูมิลงเหลือ 50 องศาเซลเซียส ความหนืดจะเพิ่มขึ้นอีก ซึ่งเกิดจากการเรียงตัวกันใหม่ของโมเลกุลอะไมโลสที่หลุดออกจากเม็ดแป้งขณะที่เม็ดแป้งแตก เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า รีโทรเกรเดชัน (retrogradation) หรือการคืนตัว (setback) ความหนืดที่จุดนี้เรียกว่า ความหนืดสุดท้าย (final viscosity; Smith, 1964) ดังภาพที่ 3 (กล้าณรงค์และเกื้อกูล, 2456) และยิ่งมีการเก็บอาหารที่มีลักษณะรีโทรเกรเดชันไว้นาน จะทำให้อาหารเกิดเป็นผลึก (crystal) ซึ่งจะทำให้ความสามารถในการเข้าย่อยแป้งของเอนไซม์ อะไมเลส (amylase) ลดลง (Hongtrakul *et al*., 1997)

**การเปลี่ยนแปลงความหนืด**




ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแป้งวัดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA)
ที่มา: Smith (1964)

การเกิดการเจลลาติไนซ์ ได้เร็วในระบบทางเดินอาหารของสัตว์ มีผลทำให้แป้งในมันสำปะหลังถูกย่อยได้เร็วในทางเดินอาหาร ปรากฏการณ์นี้ก่อให้เกิดผลดีกับตัวสัตว์เป็นอย่างมาก เพราะตัวสัตว์จะเกิดความเครียดจากการย่อยอาหารน้อยลง อีกทั้งแป้งที่ย่อยเร็วจะช่วยทำให้ประชากรของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย (non-pathogenic bacteria) ในทางเดินอาหารเพิ่มมากขึ้น และมีผลทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ที่เป็นเชื้อโรคต่อร่างกาย (pathogenic bacteria) ในทางเดินอาหารลดลง ส่งผลต่อสัตว์ให้มีสุขภาพดีขึ้น ไม่ต้องใช้ยาปฏิชีวนะในการควบคุมเชื้อโรค อีกทั้งยังมีผลทำให้มูลสัตว์มีกลิ่นลดลงเป็นอย่างมากด้วย ในขณะที่แป้งในข้าวโพดจะเป็นแป้งแข็ง (hard starch) ซึ่งดูดน้ำได้ช้า และเกิดการเจลลาติไนซ์ในระบบทางเดินอาหารช้าตามไปด้วย สัตว์ต้องใช้ระยะเวลานานขึ้นในการย่อยข้าวโพด ทำให้อืดอัดและเกิดความเครียดมากกว่าในการย่อยอาหาร นอกจากนี้แป้งที่ย่อยได้ช้าจะทำให้การเติบโตของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในทางเดินอาหารลดลง และมีส่วนทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ที่เป็นเชื้อโรคในทางเดินอาหารเพิ่มมากขึ้น ตัวสัตว์จะได้ผลกระทบจากเชื้อโรคมากขึ้น อาจต้องใช้ยาปฏิชีวนะเข้าช่วย อีกทั้งมูลสัตว์จะมีกลิ่นแรงมากขึ้นด้วย

**คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกของเม็ดแป้งมันสำปะหลัง**

การเกิดเจลาติไนซ์คือ เกิดการพองตัวและดูดน้ำเข้าไปในเม็ดแป้ง อุณหภูมิที่ใช้ในการเจลาติไนซ์เม็ดแป้ง และพลังงานที่ใช้ในการเจลาติไนซ์เม็ดแป้ง (enthalpy; $\Delta H$) สามารถวัดได้ด้วย

เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) โดยเครื่อง DSC จะมีความสัมพันธ์กับระดับของผลึก (degree of crystallinity) ซึ่งระดับของผลึกจะบอกถึงความคงตัวของโครงสร้างเม็ดแป้ง ทำให้มีความทนทานต่อการเกิดเจลาติไนซ์ โดยระดับผลึกที่สูงมีผลทำให้ใช้พลังงานในการเจลาติไนซ์เม็ดแป้งสูง (Zobel, 1984) เมื่อค่า enthalpy สูง แสดงว่าโครงสร้างของเม็ดแป้งมีส่วนของผลึกมาก ค่าทางเทอร์โมไดนามิกจากการวัดด้วยเครื่อง DSC ได้แก่ อุณหภูมิที่จุดเริ่มต้น (onset temperature; To) อุณหภูมิที่จุดสูงสุด (peak temperature; Tp) และพลังงานที่ใช้ในการเจลาติไนซ์ โดย To แสดงถึงอุณหภูมิต่ำสุดที่เม็ดแป้งพองตัว เมื่อเกิดการทำลายพันธะไฮโดรเจนภายในเม็ดแป้ง ส่วน Tp แสดงถึงอุณหภูมิสูงสุดที่เม็ดแป้งพองตัว เมื่อเกิดการทำลายพันธะไฮโดรเจนภายในเม็ดแป้ง โดยคลายเกลียวคู่ของสายอะมิโลแพคติน จากนั้นโมเลกุลของน้ำก็แทรกผ่านเข้าไปในบริเวณโครงสร้างของผลึก (Zobel, 1984)

**<u>คุณค่าทางอาหารของแป้งมันสำปะหลัง</u>**

ส่วนหัวของมันสำปะหลังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มาก ในแง่เป็นวัตถุดิบอาหารและวัตถุดิบอุตสาหกรรมต่างๆ เนื่องจากหัวของมันสำปะหลังเป็นแหล่งพลังงานที่ดี คือ ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนใหญ่ โดยหัวมันสดมีความชื้นประมาณ 60-65 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรตประมาณ 20-35 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่าย (nitrogen free extract; NFE) 90 เปอร์เซ็นต์ โดยประกอบด้วยแป้งและน้ำตาล 80 และ 20 เปอร์เซ็นต์ของคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่ายตามลำดับ ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับพันธุ์ อายุเก็บเกี่ยว เทคนิคในการผลิตและการแปรรูป (เจริญศักดิ์, 2532) นอกจากนี้ยังมีเยื่อใยต่ำเหมาะกับการใช้เป็นอาหารสัตว์กระเพาะเดี่ยว ดังที่ Reas (1996) กล่าวว่า อาหารที่ใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงาน สามารถย่อยได้ 80-86 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง มันสำปะหลังแห้งจะมีพลังงานย่อยได้ประมาณ 13.3-15.9 กิโลจูลต่อกิโลกรัม แต่มีโปรตีน ไขมัน แร่ธาตุและวิตามินต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณค่าทางโภชนาการของมันเส้น/เม็ด เปรียบเทียบกับปลายข้าว และข้าวโพด

| ส่วนประกอบ | ชนิดของอาหาร | | |
|---|---|---|---|
| | มันเส้น/เม็ด[a] | ปลายข้าว[b] | ข้าวโพด[a] |
| เยื่อใย (%) | 3.2 | 1.20 | 2.0 |
| NFE (%) | 76.8 | - | 70.6 |
| ไขมัน (%) | 0.3 | 1.50 | 3.8 |
| พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (Mcal/กก.) | 3.1 | 3.5 | 3.4 |
| กรดลิโนเลอิก (%) | 0.04 | - | 1.9 |
| โปรตีนรวม (%) | 2.5 | 7.8 | 8.5 |
| ไลซีน (%) | 0.04 | 0.30 | 0.25 |
| เมทไธโอนีน + ซีสตีน (%) | 0.02 | 0.32 | 0.26 |
| ทรีโอนีน (%) | 0.06 | 0.30 | 0.35 |
| ทริปโตเฟน (%) | 0.01 | 0.12 | 0.05 |
| แคลเซี่ยม (%) | 0.18 | 0.04 | 0.04 |
| ฟอสฟอรัส (%) | 0.09 | 0.15 | 0.27 |
| แมงกานีส (มก./กก.) | 22.3 | - | 5.0 |
| สังกะสี (มก./กก.) | - | - | 10.0 |
| แซนโทฟิล (มก./กก.) | - | - | 25.0 |

ที่มา: [a] สาโรชและเยาวมาลย์ (2531)

[b] Wiseman (1986)

อุทัย (2531) แนะนำเกี่ยวกับการใช้มันสำปะหลังดังนี้ โดยปกติแล้วแป้งในมันสำปะหลังเป็นแป้งชนิดอ่อนบดง่าย เมื่อสุกรกินเข้าไปแล้วก็ย่อยได้ง่ายเช่นกัน แต่ขณะบดจะเป็นฝุ่นและฟุ้งมาก ปัญหานี้แก้ไขได้โดยการติดถุงผ้าเก็บฝุ่น เติมไขมันหรือกากน้ำตาลซึ่งนอกจากจะช่วยลดฝุ่นแล้วยังช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการบดลงมาก ตะแกรงที่ใช้บดควรมีขนาด 2-4 หุน ทำให้บดได้เร็วแต่มันเส้นที่บดออกมายังมีลักษณะป่นละเอียดเป็นฝุ่น เมื่อผสมอาหารในระดับสูงจะทำให้อาหารมีลักษณะเป็นฝุ่นมากทำให้สัตว์ระคายเคืองจมูก กินอาหารน้อย กินน้ำมากหรืออาจมีอาการหอบ ไอ ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยการเติมกากน้ำตาล หรือไขมันลงไปในสูตรอาหารใน

ระดับ 3-4 เปอร์เซ็นต์ จะช่วยให้สุกรกินอาหารดีขึ้น วิธีการผสมอาจผสมกากน้ำตาลหรือไขมันกับวัตถุดิบอาหารที่ใช้ในสูตรอาหารบางส่วนให้เข้ากันเสียก่อน แล้วจึงผสมกลับเข้าไปในถังผสมอาหารหรืออาจใช้เครื่องพ่นกากน้ำตาลหรือไขมันก็ได้

**<u>การใช้มันสำปะหลังในอาหารสัตว์และอาหารสุกร</u>**

มันสำปะหลังเมื่อถูกบดจะเป็นฝุ่นฟุ้ง ก่อความระคายเคืองแก่นัยน์ตาและระบบทางเดินหายใจของสัตว์ ทำให้สัตว์ต้องกินน้ำมากขึ้น กินอาหารได้น้อยลง ประกอบกับมันสำปะหลังมีลักษณะฟ่าม สัตว์จึงกินอาหารได้น้อยเนื่องจากความจุของกระเพาะจำกัด จึงอาจได้รับโภชนะจากอาหารไม่เพียงพอกับความต้องการของร่างกายเพื่อการเจริญเติบโตตามปกติ (สาโรชและคณะ, 2527; Jordan, 1983) สุกรที่อยู่ในช่วงเปลี่ยนอาหารจากอาหารที่กินปกติ มาเป็นสูตรอาหารมันสำปะหลังมักจะท้องเสีย เนื่องจากเซลลูโลสจากเยื่อใยในมันสำปะหลังที่บดจนละเอียดจะกระตุ้นให้กระเพาะอาหารหลั่งกรดเกลือ และน้ำย่อยเปปซิน (pepsin) ออกมามาก เมื่อสะสมมากขึ้นจะก่อให้เกิดแผลในกระเพาะอาหาร และแสดงอาการท้องเสีย (Oke, 1978) แต่ในปัจจุบันมีการผลิตมันเส้นสะอาดที่มีเยื่อใยจากการปลอมปนรากและเปลือกอยู่ในระดับต่ำ ปัญหานี้จึงหมดไป

การใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสำหรับสุกรเล็ก สุกรรุ่น และสุกรขุน สามารถใช้ได้ในระดับ 20-50 50-60 และ 70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยไม่มีผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิต ไม่เกิดผลเสียเรื่องความเป็นพิษของกรดไฮโดรไซยานิค และคุณภาพซากของสุกร (สาโรช และคณะ, 2527; Muller *et al*., 1975; Soniya *et al*., 1982; Gomez and Valdivieso, 1983; Jordan, 1983) แต่ต้องปรับปรุงลักษณะทางกายภาพของอาหาร เสริมด้วยโภชนะที่จำเป็นให้เพียงพอกับความต้องการของสุกร เช่น การเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนที่ระดับ 0.1-0.3 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการใช้มันสำปะหลังเป็นแหล่งพลังงานทดแทนธัญพืชในอาหารสุกร จะทำให้สูตรอาหารสุกรมีปริมาณกรดอะมิโนเมทไธโอนีนประมาณ 0.20-0.40 เปอร์เซ็นต์ แต่สุกรที่ได้รับอาหารมันสำปะหลังต้องการกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.43-0.55 เปอร์เซ็นต์ เพื่อช่วยให้อาหารมีกรดอะมิโนที่สมดุลและสมรรถภาพการผลิตของสุกรสูงขึ้น ดังนั้นการเพิ่มระดับอะมิโนเมทไธโอนีนจึงทำให้อาหารมีความสมดุลของกรดอะมิโนและพอเพียงกับความต้องการ นอกจากช่วยชดเชยปริมาณและสัดส่วนของกรดอะมิโนที่ขาดให้เกิดความสมดุลแล้ว ยังเป็นตัวช่วยลดพิษจากกรดไฮโดรไซยานิคในมันสำปะหลังได้อีกด้วย (Enriquez and Ross, 1967) กล่าวคือเมทไธโอนีนจะเป็นตัวให้ Thio-group

(-SH) และไทโอซัลเฟต (Thiosulfate; $S_2O_2^{2-}$) ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ เมื่อไทโอซัลเฟตทำปฏิกิริยากับไซยาไนด์จะได้ไทโอไซยาเนต (Thiocyanate; SCN) ซึ่งสามารถขับถ่ายออกมาทางปัสสาวะได้ (Natey, 1973; Devlin, 1982) ดังนั้นการเพิ่มปริมาณกำมะถันโดยการเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนสังเคราะห์ จะช่วยกำจัดสารพิษไฮโดรไซยานิคออกจากร่างกายสัตว์ได้ และการเสริมไขมันร่วมกับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารสูตรมันสำปะหลัง สามารถปรับปรุงสมรรถภาพการเจริญเติบโตได้สูงกว่าการเติมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนแต่เพียงอย่างเดียว เนื่องจากไขมันมีผลทำให้ความหนาแน่น ความน่ากิน การดูดซึม และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในอาหารเพิ่มขึ้นสุกรจึงมีสมรรถภาพการผลิตสูงขึ้น (สาโรช และคณะ, 2527) เช่นเดียวกับ Maner (1974) ที่เสริมไขมันและกากน้ำตาลในอาหารที่มีมันสำปะหลัง 55 เปอร์เซ็นต์ และเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.1-0.2 เปอร์เซ็นต์ แล้วสุกรมีการเจริญเติบโตสูงขึ้น เนื่องจากกรดอะมิโนเมทไธโอนีนช่วยปรับสมดุลของกรดอะมิโนในอาหารและใช้ในการกำจัดกรดไฮโดรไซยานิคด้วย ไขมันสามารถลดความเป็นฝุ่นของมันสำปะหลัง และทำให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนกากน้ำตาลช่วยลดฝุ่นและเพิ่มความน่ากินให้แก่อาหารด้วย แต่ Gomez *et al*. (1984) กล่าวว่า การเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.2 และ 0.3 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารสุกรที่ใช้มันสำปะหลัง 65 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโต การสืบพันธุ์ของสุกรรุ่น สุกรระยะอุ้มท้อง และสุกรระยะให้นม ส่วนสุกรระยะรุ่น-ขุนก็ให้ผลไม่แตกต่างจากสุกรที่กินอาหารข้าวโพดและกากถั่วเหลืองเป็นหลัก แต่ต้นทุนค่าอาหารสุกรระยะอุ้มท้อง ระยะให้นม ลูกสุกร และสุกรรุ่น-ขุน จะต่ำลง 30, 40, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Wu (1991) ได้ทำการศึกษาการใช้มันสำปะหลังในสุกรระยะต่างๆ พบว่า สุกรหย่านมลูกผสม 3 สายพันธุ์ อายุ 28 วัน น้ำหนักเฉลี่ย 7.1 กิโลกรัม ที่กินอาหารสูตรมันสำปะหลังบดที่ระดับ 40 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเจริญเติบโตเท่ากับ 451 กรัมต่อวัน มากกว่าสุกรที่กินอาหารมันสำปะหลังที่ระดับ 0 และ 25 เปอร์เซ็นต์ (195 และ 352 กรัมต่อวัน ตามลำดับ) และมีประสิทธิภาพการใช้อาหารทั้ง 3 ระดับเท่ากับ 1.58, 1.22 และ 1.23 ตามลำดับ อุทัย และคณะ (2547) ศึกษาถึงผลของการใช้มันสำปะหลัง (มันเส้นสะอาด) เป็นอาหารลูกสุกรหย่านมอายุ 4 - 8 สัปดาห์ เปรียบเทียบกับการใช้ข้าวโพดและข้าวโพดเอ็กทรูด ผลการทดลองดังแสดงไว้ในตารางที่ 2 ปรากฏว่าลูกสุกรหย่านมที่ใช้ข้าวโพด ข้าวโพดเอ็กทรูดและมันสำปะหลังเป็นแหล่งอาหารพลังงานหลักในสูตรอาหารมีอัตราการเติบโตเฉลี่ยเท่ากับ 482, 473 และ 493 กรัม/วัน และมีประสิทธิภาพการใช้อาหารเท่ากับ 1.10, 1.07 และ 1.09 ตามลำดับ โดยความแตกต่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ มันสำปะหลัง (มันเส้นคุณภาพดี หรือ มันเส้นสะอาด) สามารถใช้เป็นวัตถุดิบอาหารพลังงานในอาหารลูกสุกรหย่านมอายุ 4 - 8

สัปดาห์ โดยสามารถให้สมรรถภาพการผลิตแก่ลูกสุกรไม่แตกต่างจากกลุ่มที่ใช้ข้าวโพดหรือข้าวโพดเอ็กทรูดเป็นวัตถุดิบพลังงานแต่ประการใด สมรรถภาพการผลิตของลูกสุกรที่กินอาหารสูตรมันสำปะหลังอยู่ในเกณฑ์ที่เป็นที่น่าพอใจยิ่ง

ตารางที่ 2 ผลการใช้สูตรอาหารข้าวโพด ข้าวโพดเอ็กทรูด และมันเส้น เป็นอาหารลูกสุกรหย่านม อายุ 4 - 8 สัปดาห์

| สมรรถภาพการผลิต | สูตร 1 (ข้าวโพด) | สูตร 2 (ข้าวโพดเอ็กทรูด) | สูตร 3 (มันเส้น) |
|---|---|---|---|
| จำนวนสุกร (ตัว) | 16 | 16 | 16 |
| น้ำหนักเริ่มต้น (กก.) | 8.83 | 8.78 | 8.74 |
| น้ำหนักสุดท้าย (กก.) | 22.31 | 22.03 | 22.53 |
| น้ำหนักเพิ่ม (กก.) | 13.49 | 13.26 | 13.79 |
| อัตราการตาย (%) | 0 | 0 | 0 |
| ปริมาณอาหารที่กินทั้งหมด (กก.) | 14.88 | 14.22 | 15.06 |
| ปริมาณอาหารที่กิน (กก./วัน) | 0.53 | 0.51 | 0.54 |
| อัตราการเติบโต (กรัม/วัน) | 482 | 473 | 493 |
| ประสิทธิภาพการใช้อาหาร (FCR) | 1.10 | 1.07 | 1.09 |

ที่มา: อุทัย และคณะ (2547)

**ผลของอาหารต่อจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารของสุกร**

ในระบบทางเดินอาหารของสุกรประกอบด้วยจุลินทรีย์หลายชนิด โดยจุลินทรีย์จะเกาะจับอยู่บริเวณเยื่อบุผิว (epithelial) เยื่อเมือก (mucous) ในลำไส้ หรืออาศัยอยู่ในร่องระหว่างวิลไล (crypts) ลูกสุกรเริ่มแรกจะปราศจากเชื้อจุลินทรีย์ ต่อมาเริ่มรับเชื้อจุลินทรีย์ผ่านทางช่องคลอดของแม่สุกร และหลังจากคลอดแล้วจะได้รับการแพร่เชื้อจากมูล น้ำนมของแม่สุกร และจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่ระบบทางเดินอาหาร จุลินทรีย์ที่พบเป็นส่วนมากในมูลและของเหลวจากลำไส้ (cecal content) อยู่ในกลุ่มแกรมบวก เช่น สเตรปโตคอคคัส (*Streptococcus*) ยูแบคทีเรียม (*Eubacteium*) ครอสติเดีย

(*Clostridia*) และโพรพิโอนิแบคทีเรีย (*Propionibacteria*) ส่วนที่เหลือจะเป็นกลุ่มแกรมลบ (Maxwell and Stewart, 1995) จำนวนประชากรและการแพร่กระจายของจุลินทรีย์ในกระเพาะและลำไส้ ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ระดับความเป็นกรดด่าง อัตราความเร็วในการไหลผ่านของอาหาร ระบบสรีรวิทยาของตัวสัตว์ การบีบตัวของกระเพาะและลำไส้ อายุสัตว์ การใช้ยาปฏิชีวนะ และระบบภูมิคุ้มกันในตัวสัตว์ โดยปกติจะพบว่าในลำไส้ใหญ่มีปริมาณจุลินทรีย์หนาแน่นกว่าในกระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก เนื่องจากมีสภาพแวดล้อมเหมาะต่อการเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมี จึงทำให้มีการเกาะจับของจุลินทรีย์ได้ดี (Kenneth, 2002)

กานดา (2546) ศึกษาการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ธรรมชาติบนข้าวโพด มันสำปะหลัง และผลกระทบต่อพีเอชและจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารของสุกรระยะรุ่น พบว่าสุกรในกลุ่มที่กินอาหารที่ใช้มันเส้นและมันอัดเม็ดเป็นแหล่งพลังงาน มีระดับพีเอชของสิ่งย่อยที่สุดลำไส้เล็กต่ำกว่ากลุ่มที่กินอาหารที่ใช้ข้าวโพดเป็นแหล่งพลังงาน ($p<0.01$) และระดับพีเอชของสุกรกลุ่มที่กินอาหารที่ใช้มันเส้นต่ำกว่าสุกรกลุ่มที่กินอาหารที่ใช้มันอัดเม็ดเป็นแหล่งพลังงาน ($p<0.01$) พบว่าสุกรในกลุ่มที่กินอาหารที่ใช้มันเส้นและมันอัดเม็ดเป็นแหล่งพลังงาน การตรวจนับปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดและ *Escherichia coli* ต่ำกว่ากลุ่มที่กินอาหารที่ใช้ข้าวโพดเป็นแหล่งพลังงาน ($p<0.01$) การตรวจนับปริมาณ *Lactobacillus spp.* และยีสต์จากสิ่งย่อยที่สุดลำไส้เล็ก พบว่ามีปริมาณของ *Lactobacillus spp.* และยีสต์ในสุกรกลุ่มที่กินอาหารที่ใช้มันเส้นและมันอัดเม็ดเป็นแหล่งพลังงานสูงกว่าสุกรกลุ่มที่กินอาหารที่ใช้ข้าวโพดเป็นแหล่งพลังงาน ($p<0.01$) ทั้งนี้เนื่องมาจากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์กลุ่มที่ไม่ก่อให้เกิดโรคคือ *Lactobacillus spp.* และยีสต์ ในตัวอย่างมันเส้นและมันอัดเม็ด แต่ไม่พบจุลินทรีย์ชนิดดังกล่าวในข้าวโพดและอาหารที่ใช้ข้าวโพดเป็นแหล่งพลังงาน

เมื่อนำอาหารที่ใช้มันเส้นและมันอัดเม็ดเป็นแหล่งพลังงานที่มี *Lactobacillus spp.* และยีสต์มาให้สุกรกิน ซึ่งทั้ง *Lactobacillus spp.* และยีสต์จะผลิตกรดอินทรีย์ต่างๆ เช่น กรดซัคซินิก (succinic acid) กรดอะซิติค (acetic acid) และกรดแลคติค (lactic acid) เพื่อปรับระดับความเป็นกรด-ด่างในทางเดินอาหารให้ต่ำลง ช่วยควบคุมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่มที่ก่อให้เกิดโรคคือ *E. coli* ไม่ให้มีปริมาณมากเกินไปจนเป็นอันตรายต่อสัตว์ (อุทัย, 2535; Laura *et al*, 1999) อีกทั้งยีสต์สามารถเจริญได้ดีที่ที่มีความเป็นกรด-ด่างต่ำได้มากกว่าแบคทีเรีย ยีสต์จะแข่งขันในการเจริญเติบโตกับแบคทีเรีย (Georage, 1989) ทั้งแบคทีเรียและยีสต์ใช้แป้งในการเจริญเติบโต หากร่างกายมียีสต์เพิ่มมากขึ้น ปริมาณแบคทีเรียย่อมมีปริมาณลดลง จึงสอดคล้องกับการทดลองในครั้ง

นี้ เพราะพบยีสต์ปริมาณสูงในสุกรกลุ่มที่กินอาหารที่ใช้มันเส้นและมันอัดเม็ดเป็นแหล่งพลังงาน ทำให้ในกลุ่มดังกล่าวมีประชากรแบคทีเรียทั้งหมดลดลงต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารที่ใช้ข้าวโพดเป็นแหล่งพลังงาน

ตารางที่ 3 ผลการกินสูตรอาหารมันเส้น มันอัดเม็ดและข้าวโพด ต่อประชากรจุลินทรีย์ทั้งที่เป็นประโยชน์ (*Lactobacillus spp.* และยีสต์) ก่อโทษ (*E. Coli*) ต่อความเป็นกรดด่างที่สุดลำไส้เล็ก

| ลักษณะที่ศึกษา | ข้าวโพด | มันเส้น | มันอัดเม็ด |
|---|---|---|---|
| pH | $7.74\pm0.28^{a}$ | $6.79\pm0.31^{c}$ | $7.38\pm0.30^{b}$ |
| Total bacteria count | $9.80\pm0.33^{a}$ | $8.52\pm0.77^{c}$ | $8.75\pm0.87^{b}$ |
| Total *E.coli* count | $6.96\pm0.72^{a}$ | $6.17\pm0.19^{b}$ | $6.20\pm0.17^{b}$ |
| Total *Lactobacillus spp.* count | $7.63\pm0.15^{c}$ | $9.38\pm0.23^{a}$ | $8.49\pm0.44^{b}$ |
| Total yeast count | $6.46\pm0.58^{c}$ | $8.60\pm0.65^{a}$ | $7.78\pm0.47^{b}$ |

หมายเหตุ $^{a-c}$หมายความว่าภายในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ที่มา: กานดา (2546)

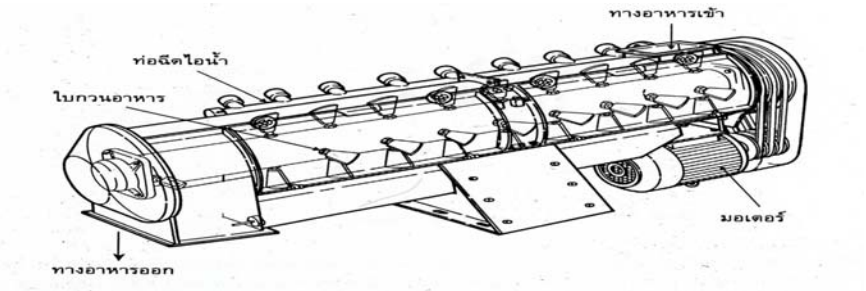
**ผลการใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์ต่อสุขภาพของสัตว์**

จากผลการส่งเสริมให้ใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์ และผลจากการวิจัยเกี่ยวกับการใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์ชนิดต่างๆ โดยศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พบว่า สัตว์ที่กินสูตรอาหารมันสำปะหลังมักจะมีสุขภาพดีกว่า ใช้ยาในการเลี้ยงสัตว์น้อยกว่าสูตรอาหารข้าวโพด สุกัญญา และคณะ (2544) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการใช้มันสำปะหลังกับการใช้ข้าวโพดเป็นอาหารไก่เนื้อ ทั้งเสริมและไม่เสริมยาปฏิชีวนะในสภาวะการเลี้ยงที่เสี่ยงต่อการเกิดโรค พบว่า ไก่ที่กินอาหารสูตรข้าวโพดไม่เสริมยาปฏิชีวนะมีอัตราการตายสูงกว่าอัตราการตายปกติ ส่วนที่ไก่ที่กินอาหารสูตรมันสำปะหลังและไม่ได้เสริมยาปฏิชีวนะมีอัตราการตายอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ในขณะที่ไก่มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่มการทดลอง จึงสามารถสรุปได้ว่า ไก่ที่กินอาหารสูตรมันสำปะหลังมีสุขภาพดีโดยไม่ต้องเสริมยาปฏิชีวนะ เปรียบเทียบกับไก่ที่กินอาหารสูตรข้าวโพดและไม่ได้เสริมยา

ปฏิชีวนะ สอดคล้องกับการศึกษาของสุวรรณีและคณะ (2543) ที่ทดลองใช้มันสำปะหลังทดแทนข้าวโพดในอาหารไก่กระทงที่ระดับ 0, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ไก่จะมีสมรรถภาพการผลิตลดลงเมื่อใช้มันสำปะหลังทดแทนข้าวโพดในสูตรอาหารมากขึ้น แต่ก็มีอัตราการตายลดลง แม้จะไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ก็ตาม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมันสำปะหลังที่ผ่านกรรมวิธีการผึ่งแดด สามารถลดปริมาณไซยาไนด์ ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสัตว์ อีกทั้งเชื้อราบนชิ้นมันไม่มีการสร้างสารพิษอะฟลาท็อกซินออกมาทำลายภูมิคุ้มกันโรคของไก่ให้ต่ำลงจนถึงตายได้ ซึ่งต่างกับเชื้อราบนข้าวโพดที่สามารถสร้างอะฟลาท็อกซินได้ดี และทำให้ไก่ป่วยบ่อย สิ้นเปลืองค่ายาและเวชภัณฑ์

**<u>การคลุกไอน้ำและอัดเม็ด</u>**

อาหารผงที่ผสมเสร็จแล้วจะถูกส่งเข้าเครื่องคลุกไอน้ำและอัดเม็ด โดยความร้อนและความชื้นจากไอน้ำจะทำให้อาหารผงมีอุณหภูมิและความชื้นเพิ่มขึ้น อุณหภูมิการคลุกไอน้ำที่ปล่อยให้เข้าเครื่องจะแตกต่างไปตามสูตรอาหาร เช่น อาหารสุกรอนุบาลใช้อุณหภูมิประมาณ 55-65 องศาเซลเซียส อาหารสุกรขุนรุ่น 70-90 องศาเซลเซียส อาหารไก่และเป็ด 85-95 องศาเซลเซียส อาหารกุ้ง 90-100 องศาเซลเซียส ซึ่งเครื่องคลุกไอน้ำจะประกอบด้วย ห้องคลุกไอน้ำ (conditioning chamber; ประกอบด้วย ใบพายและเพลาหมุน) ห้องอัดเม็ด (pelleting chamber; ประกอบด้วยจานอัด และลูกกลิ้ง) ระบบลำเลียงที่ปรับความเร็วรอบได้ และมอเตอร์ขับเคลื่อน ดังภาพที่ 4 ซึ่งข้อดีของการคลุกไอน้ำคือ เพิ่มประสิทธิภาพการอัดและขึ้นรูปเม็ดอาหาร กระตุ้นสารเชื่อมธรรมชาติที่มีอยู่ในอาหารผง เช่น แป้ง โปรตีน ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารยึดระหว่างอนุภาคของอาหารผงให้อาหารเกาะตัวกันดียิ่งขึ้นเมื่อกลายเป็นอาหารเม็ด นอกจากนี้ยังช่วยทำลายจุลินทรีย์ที่ติดมากับวัตถุดิบอาหารสัตว์ ลดการเลือกกินโดยเฉพาะในไก่ เพิ่มการย่อยได้ของโปรตีนและพลังงาน และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหารของตัวสัตว์ (ณัฐชนก, 2548)

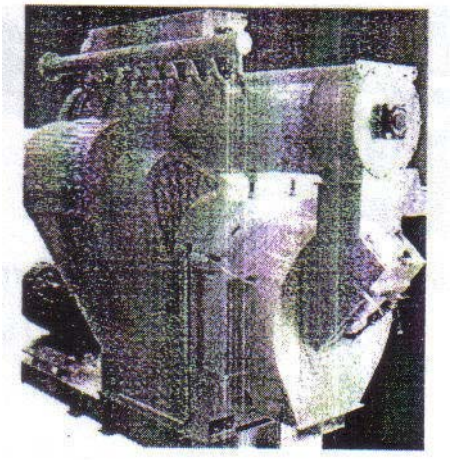



<u>ภาพที่ 4</u> เครื่องคลุกไอน้ำ

ที่มา: อุทัย (2540)

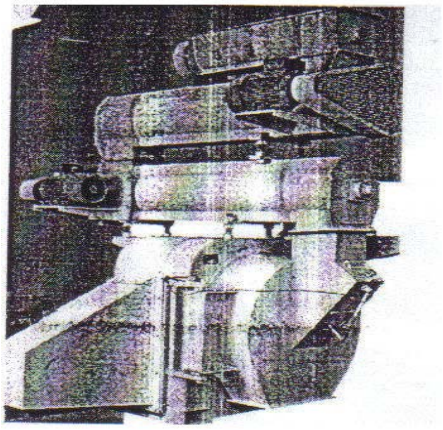
**ประเภทของการคลุกไอน้ำ**

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



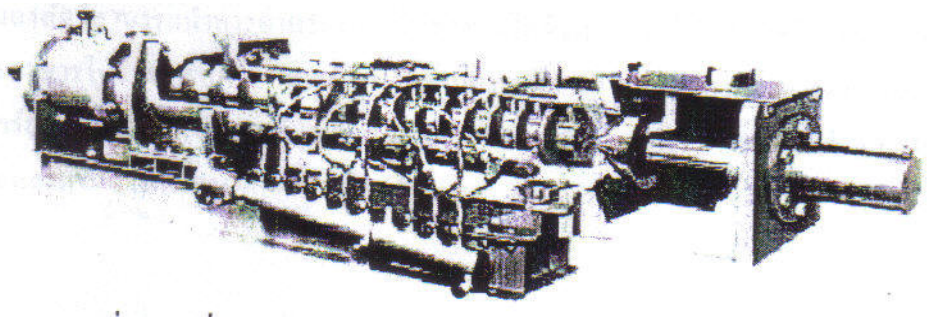
ภาพที่ 5 เครื่องอัดเม็ดที่ประกอบด้วยห้องคลุกไอน้ำชนิดสั้น
ที่มา: ณัฐชนก (2548)

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



ภาพที่ 6 เครื่องอัดเม็ดที่ประกอบด้วยห้องคลุกไอน้ำ 2 ชั้น
ที่มา: ณัฐชนก (2548)

3. การคลุกไอน้ำชนิดความดันสูง (high shear conditioning) หรือเครื่องเอกซ์แพนเดอร์ (annular gap expander) ซึ่งมีการปรับสภาพอาหารผงก่อนเข้าหัวอัดด้วยไอน้ำและความดัน ตัวเครื่องเอกซ์แพนเดอร์จะแยกจากเครื่องอัดเม็ด โดยอาหารผงจะถูกลำเลียงเข้าห้องคลุกไอน้ำแบบปกติ แต่ที่ปลายของห้องคลุกไอน้ำจะมีโคนรูปกรวยที่สามารถปรับความดันได้จากเครื่องควบคุม (ณัฐชนก, 2548)



ภาพที่ 7 เครื่องเอกซ์แพนเดอร์
ที่มา: PrestlØkken and Sitzmann (n.d.)

อาหารผงที่อยู่ภายในเครื่องเอกซ์แพนเดอร์มีความชื้นประมาณ 16-18 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 90-130 องศาเซลเซียส และความดันที่เกิดอาจจะสูงถึง 40 บาร์ เนื่องจากความดันที่สูง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแป้งและโปรตีน ให้อยู่ในสภาพที่เอนไซม์สามารถเข้าย่อยได้อย่างมีประสิทธิภาพ สัตว์จึงนำสารอาหารมาใช้ประโยชน์ได้เพิ่มขึ้น การปรับสภาพอาหารด้วยเครื่องเอกซ์แพนเดอร์ ช่วยทำให้เม็ดอาหารมีคุณภาพดีเมื่อเปรียบเทียบกับการคลุกไอน้ำชนิดสั้น นอกจากนี้ยังเพิ่มปริมาณการผลิตต่อชั่วโมงด้วย (Pipa and Frank, 1989)

นอกจากนี้แล้ว Johnston *et al*. (1998) พบว่า การปรับสภาพอาหารด้วยเครื่องเอกซ์แพนเดอร์จะช่วยเพิ่มค่าความคงทนของเม็ดอาหาร (pellet durability index; PDI) 23 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับอาหารอัดเม็ดที่ผ่านการปรับสภาพแบบธรรมดา ซึ่งช่วยทำให้ความสามารถในการย่อยได้ของสารอาหารเพิ่มมากขึ้น ($P<0.05$) ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 กระบวนการผลิตที่มีผลต่อลักษณะอาหารลูกสุกร

| ลักษณะที่ศึกษา | การทดลองที่ 1 | | การทดลองที่ 2 | |
|---|---|---|---|---|
| | Standard pellet | Long-term pellet | Standard pellet | Expander pellet |
| Pellet durability index, % | | | | |
| Standard[a] | 69.5 | 92.0 | 70.6 | 87.0 |
| Modified[b] | 56.5 | 90.0 | 57.8 | 71.0 |
| Starch damage, %[c] | 34.9 | 38.1 | 34.9 | 40.5 |

หมายเหตุ [a]Am. Soc. Agric. Engin. Procedure.

[b]Am. Soc. Agric. Engin. Procedure. ปรับปรุงวิธีการวิเคราะห์โดยเพิ่มน็อตเส้นผ่านศูนย์กลาง ½ นิ้ว จำนวน 5 ตัวในกล่องเพื่อเพิ่มความรุนแรงในการเขย่า

[c] เปอร์เซ็นต์การถูกทำลายของแป้ง

ที่มา: Johnston *et al*. (1998)

**หลักการทำงานของเครื่องคลุกไอน้ำอัดเม็ด**

โดยปกติแล้วอาหารที่จะทำอาหารอัดเม็ด จะต้องมีการปรับสภาพ (conditioned) ให้อาหารมีความชื้นสูงขึ้นจาก 10-12 เปอร์เซ็นต์ ในสภาพอาหารแห้งทั่วไปเป็น 16-18 เปอร์เซ็นต์ โดยการเติมไอน้ำ (steam) ลงไปในอาหาร (อุทัย, 2540) การคลุกอาหารผงด้วยไอน้ำจะเป็นการเพิ่มความชื้นและอุณหภูมิให้กับอาหาร โดยเฉพาะบริเวณรอบๆ ของอนุภาคอาหาร ทำให้อาหารนิ่มและกระตุ้นสารเชื่อมธรรมชาติ เช่น แป้ง โปรตีน ส่งผลให้เกิดการเชื่อมเกาะกันของอาหารดีขึ้น ดังภาพที่ 3 โดยการยึดกันระหว่างอนุภาคภายในเม็ดอาหารสัตว์ เป็นการยึดกันระหว่างของแข็งและของแข็งที่เกิดจากการทำให้บริเวณภายนอกอนุภาคนิ่มด้วยไอน้ำ (Thomas and Van der Pole, 1996)

เครื่องปรับสภาพอาหาร (conditioner) หรือเครื่องคลุกไอน้ำได้แสดงไว้ในภาพที่ 4 ซึ่งโดยทั่วไปเครื่องมีลักษณะเป็นท่อกลมหัวท้ายปิด และมีทางให้อาหารเข้าและออกจากกระบอก ตรงกลางกระบอกจะมีเพลาซึ่งมีใบพาย (paddle) ติดอยู่จำนวนมาก ด้านข้างกระบอกมีจุดที่สามารถเติมไอน้ำเข้ามาผสมกับอาหารในกระบอก ขณะเครื่องทำงานอาหารจะถูกพาเข้าเครื่องคลุกไอน้ำโดยสกรูป้อนอาหาร (feed screw) เพลาตรงกลางกระบอกจะหมุนทำให้ใบพายพาอาหารเคลื่อนพัด

อาหารกระจายเต็มกระบอกในขณะเดียวกันก็เดินทางไปข้างหน้าจนถึงทางออกจากเครื่องคลุกไอน้ำ ใช้เวลาประมาณ 15-20 วินาที อาหารมีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 85-95 องศาเซลเซียส และความชื้นประมาณ 16-18 เปอร์เซ็นต์

เมื่อทำการอัดเม็ดอาหาร เครื่องต้นกำลังจะขับเคลื่อนให้วงไดย์มีการหมุนรอบตัวเอง ซึ่งมีผลทำให้ลูกกลิ้ง 2 ลูกหมุนรอบตัวเอง จากนั้นจึงป้อนอาหารที่จะอัดเม็ดเข้าสู่วงไดย์ โดยอาหารจะถูกกดหวี่ยงให้มาติดอยู่บริเวณผิววงไดย์ด้านใน เมื่อส่วนของวงไดย์วิ่งผ่านตรงส่วนที่สัมผัสกับลูกกลิ้ง อาหารที่ผิวไดย์จะถูกลูกกลิ้งเหยียบ หรือกดให้แบนลง เนื่องจากมุมสัมผัสระหว่างอาหารเมื่อถูกเหยียบหรือกดด้วยลูกกลิ้งจะทะลักออกมาทางรูไดย์ อาหารที่ออกมาจะมีลักษณะเป็นแท่งกลมหรือเป็นอาหารเม็ด ซึ่งอาหารที่ออกมาทางวงไดย์จะถูกใบมีดตัดให้สั้นตามความต้องการ อาหารที่เพิ่งออกจากเครื่องอัดเม็ดจะยังมีอุณหภูมิสูงประมาณ 90 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่สามารถบรรจุถุงได้ อาหารดังกล่าวจะต้องทำให้เย็นลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส; อุทัย, 2540)

ในการผลิตอาหารสัตว์คลุกไอน้ำและอัดเม็ดนั้น ความชื้นที่เพิ่มขึ้นในห้องคลุกไอน้ำส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 3-5% และความชื้นสุดท้ายหลังออกจากห้องคลุกไอน้ำก่อนเข้าสู่หัวอัดควรจะอยู่ในช่วงไม่เกิน 18% เนื่องจากเครื่องคลุกไอน้ำและอัดเม็ดได้ถูกออกแบบให้สามารถรับกับความชื้นของอาหารสัตว์ได้ไม่เกิน 18% เพื่อให้สามารถขึ้นรูปอาหารเม็ดได้ ถ้าหากความชื้นเกินกว่าขีดจำกัดของเครื่อง จะทำให้ลูกกลิ้งภายในห้องอัดเม็ดมีความดันไม่เพียงพอที่จะดันให้อาหารผ่านรูเปิดออกมาได้ จึงทำให้มีอาหารค้างอยู่ในส่วนของรูเปิด ซึ่งในกรณีนี้จะพบว่ากระแสไฟของเครื่องจะเพิ่มสูงมากจนอาจจะทำให้เครื่องหยุดทำงานได้ ส่วนอุณหภูมิของการคลุกไอน้ำที่ใช้ในการผลิตอาหารสัตว์ควรอยู่ในช่วง 70-100 องศาเซลเซียส โดยจะขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารและวัตถุดิบที่เป็นองค์ประกอบในสูตรอาหาร เช่น อาหารลูกสุกรควรอยู่ในช่วง 50-60 องศาเซลเซียส เนื่องจากมีส่วนผสมของหางนมที่ไหม้ได้ง่าย (ณัฐชนก, 2548)

**ผลของกระบวนการผลิตอาหารที่มี ต่อคุณภาพเม็ดอาหาร การเจริญเติบโต และการย่อยได้ของสารอาหาร การทำลายจุลินทรีย์ในอาหารสัตว์**

**คุณภาพเม็ดอาหาร**

คุณภาพของเม็ดอาหารเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อสมรรถภาพการผลิตสัตว์ โดยส่วนใหญ่จะพิจารณา 2 ส่วนคือ ความคงทนของเม็ดอาหาร หมายถึง ความสามารถของเม็ดอาหารที่ทนต่อสภาวะการกระแทก ไม่ทำให้เม็ดอาหารแตกหักหรือเกิดเป็นฝุ่น ดัชนีนี้สามารถวัดได้ด้วยวิธีมาตรฐานด้วยกล่องเขย่า (ณัฐชนก, 2548) และส่วนที่สองคือ ความแข็งของเม็ดอาหาร บอกถึงเม็ดอาหารที่ทนต่อแรงกดทับ ดัชนีนี้สามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้เครื่อง Kahl hardness tester (Thomas and Van der Pole, 1996) การคลุกไอน้ำถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อคุณภาพเม็ดอาหาร ซึ่งการคลุกไอน้ำที่เหมาะสมนั้นประกอบด้วย ชนิดของการคลุกไอน้ำ เวลาในการคลุกไอน้ำ ปริมาณน้ำและไอน้ำที่เข้าสู่ห้องคลุกไอน้ำ อุณหภูมิในการคลุกไอน้ำ หากอุณหภูมิในการคลุกไอน้ำเพิ่มขึ้นจะทำให้สารเชื่อมในธรรมชาติที่มีในวัตถุดิบอาหารเกิดการเกาะยึดกันระหว่างอาหารดีขึ้น (Behnke, 1998)

Steidinger *et al*. (2000) ศึกษาผลของอาหารที่มี spray-dried animal protein; SDAP และอัดเม็ดอาหาร โดยใช้อุณหภูมิในการปรับสภาพอาหารหรือการคลุกไอน้ำต่างกันคือ 60, 66, 71 และ 77 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการปรับสภาพอาหาร 10 วินาที ทุกกลุ่มการทดลอง พบว่าอาหารผงที่ได้รับการปรับสภาพที่อุณหภูมิต่างกัน เม็ดอาหารจะมีความคงทนอยู่ในช่วง 92.2-92.7 เปอร์เซ็นต์ สรุปได้ว่าอุณหภูมิในการคลุกไอน้ำต่างกัน ให้คุณภาพความคงทนของเม็ดอาหารแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่ง Johnston *et al*. (1999) พบว่าการคลุกไอน้ำประมาณ 10 วินาที จะทำให้เม็ดอาหารมีความคงทน 69.5-70.6 เปอร์เซ็นต์ และถ้าเพิ่มเวลาเป็น 160 วินาที ทำให้ความคงทนของเม็ดอาหารเพิ่มจาก 69.5 เปอร์เซ็นต์ เป็น 92.5 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารสุกรอนุบาล Johnston *et al*. (1998) พบว่าดัชนีความคงทนของเม็ดอาหารจะเพิ่มขึ้น 46 เปอร์เซ็นต์ หากมีการปรับสภาพอาหารด้วยวิธี long-term condition ที่อุณหภูมิ 175 °F เป็นเวลา 10 วินาที

**<u>การเจริญเติบโตและการย่อยได้ของสารอาหารในลูกสุกร</u>**

กระบวนการผลิตอาหารสัตว์ในปัจจุบัน เป็นส่วนหนึ่งที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสัตว์ ซึ่ง Johnston *et al*. (1998) ได้ศึกษาถึงผลของการปรับสภาพอาหารด้วยกระบวนผลิตที่แตกต่างกัน คือ standard long-term และ expander condition อุณหภูมิ 175 °F เป็นเวลา 10 วินาที โดยทดลองกับลูกสุกรหย่านมอายุ 21 วัน ซึ่งมีทั้งอาหารผงและอาหารอัดเม็ดพบว่า อาหารอัดเม็ดช่วยทำให้การเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักหรือ F/G เพิ่มขึ้น 15 เปอร์เซ็นต์ ($P<0.004$) เมื่อเทียบกับอาหารผง นอกจากนี้อาหารเม็ดยังทำให้ประสิทธิภาพการย่อยได้ของ dry matter, nitrogen และ gross energy;GE เพิ่มขึ้น ($P<0.009$) แต่กระบวนการปรับสภาพอาหารไม่มีผลต่อการเจริญเติบโต Johnston *et al*. (1998) สรุปว่า การย่อยได้ของสารอาหารและ F/G สามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้ โดยการอัดเม็ด ส่วนความคงทนของเม็ดอาหาร และการย่อยได้ของสารอาหาร ปรับปรุงได้โดยการปรับสภาพอาหารที่นานขึ้น (long-term condition) หรือใช้เครื่อง expander condition แต่จะไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสัตว์ สอดคล้องกับงานของ Traylor *et al*. (1998) ที่ศึกษาเกี่ยวกับอาหารเข้มข้น (complexity) และกระบวนการผลิตที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของลูกสุกรหย่านมสรุป 0-28 วันของการทดลอง ลูกสุกรที่ได้รับอาหารที่ผ่านเครื่อง expander และอัดเม็ด มีแนวโน้มทำให้ ADG ลดลง ($P<0.07$) แต่ช่วยทำให้ F/G และความสามารถในการย่อยได้ของ DM N และ GE ดีขึ้น ($P<0.06$) เมื่อเปรียบเทียบกับการอัดเม็ดแบบมาตรฐาน (standard) ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลของอาหารเข้มข้น (complexity) และกระบวนการผลิตต่อการเจริญเติบโตของ ลูกสุกรหย่านม[a]

| ลักษณะที่ศึกษา | อาหารเข้มข้น | | | SE |
|---|---|---|---|---|
| | Meal | Standard | Expander | |
| การเจริญเติบโต | | | | |
| 0 – 28, วัน | | | | |
| ADG, lb | 1.39 | 1.38 | 1.30 | 0.03 |
| ADFI, lb | 2.04 | 1.83 | 1.68 | 0.04 |
| F/G | 1.47 | 1.33 | 1.29 | 0.03 |
| ความสามารถการย่อยได้ | | | | |
| ของสารอาหาร (วันที่ 16), % | | | | |
| DM | 84.5 | 86.9 | 87.2 | 0.5 |
| N | 79.2 | 81.5 | 83.0 | 0.7 |
| GE | 83.9 | 87.4 | 88.4 | 0.5 |
| Diet DE, | | | | |
| Kcal/lb[b] | 1571 | 1601 | 1618 | 10 |

หมายเหตุ [a] ใช้ลูกสุกรหย่านมจำนวน 150 ตัว น้ำหนักเฉลี่ย 22.7 Ib.

[b] คำนวณโดยใช้ GE digestibility x GE of the diet in Mcal/kg.

ที่มา: Traylor *et al*. (1998)

Johnston *et al*. (1999) ได้ทำการทดลองคลุกไอน้ำในอาหารที่เวลาปกติและเพิ่มเวลาขึ้นในช่วง 10-160 วินาที ที่อุณหภูมิ 79 องศาเซลเซียส พบว่ายิ่งเวลาในการปรับสภาพอาหารเพิ่มขึ้นยิ่งทำให้ ADG และ ADFI ลดลงถึง 4 และ 11 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ได้รับอาหารปรับสภาพตามเวลามาตรฐานคือ 10 วินาที ดังนั้นอาหารอัดเม็ดควรมีระยะเวลาในการปรับสภาพที่เหมาะสม นอกจากนี้ Johnston *et al*. (1999) แนะนำว่า การเจริญเติบโตของลูกสุกรจะลดลงเมื่ออาหารมีอุณหภูมิในการปรับสภาพที่สูง พร้อมทั้งใช้เวลาที่นาน ใกล้เคียงกับงานทดลองของ Steidinger *et al*. (2000) ซึ่งพบว่า ลูกสุกรช่วง 0-7 วันของการทดลองที่ได้รับ 5 เปอร์เซ็นต์ของ SDAP และมีการปรับสภาพอาหารด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทำให้มี ADFI ที่ดีมาก

($P<0.005$) และ ADG ในช่วงนี้ก็จะดีถ้าได้รับอาหารที่มีการปรับสภาพอาหารด้วยอุณหภูมิ 77 องศาเซลเซียส แต่ถ้ามากกว่านี้ ADG จะลดลง นอกจากนี้ยังทำให้การกินได้ของตัวสัตว์ลดลงด้วย ($P<0.01$) และส่วนใหญ่จะลดลงมากเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตอาหารลูกสุกรที่มีโปรตีนสูงเป็นองค์ประกอบควรอยู่ในช่วง 77 องศาเซลเซียส

**<u>การทำลายจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับวัตถุดิบอาหาร</u>**

Furuta *et al*. (1980) ได้ทำการทดลองเพิ่มระดับอุณหภูมิในกระบวนการอัดเม็ดอาหารไก่ เพื่อดูการปนเปื้อนของแบคทีเรีย ซึ่งใช้อุณหภูมิที่แตกต่างกันคือ 70 80 83 และ 90 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 40 $kg/cm^2$ เป็นเวลา 10 วินาที โดยกลุ่มทดลองที่ได้รับอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส พบว่าไม่เหมาะสมในการคลุกไอน้ำ เนื่องจากจะทำให้อาหารเหลวมากจนมีลักษณะคล้ายแป้งเปียก ซึ่งไม่สามารถอัดเม็ดได้ จากงานวิจัยนี้สรุปว่าอาหารสัตว์ที่ผ่านการคลุกไอน้ำอัดเม็ดไม่สามารถทำลายจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับอาหารได้ทั้งหมด แต่สามารถฆ่าจุลินทรีย์ในกลุ่ม aerobic ได้ เช่น *Eschelichia coli* เมื่ออาหารผ่านความร้อนมากกว่า 80 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ความเข้มข้นของวิตามินก็ไม่ลดลงระหว่างที่อาหารผ่านกระบวนการอัดเม็ด

# อุปกรณ์และวิธีการ

## การทดลองที่ 1

การศึกษาผลของระดับมันสำปะหลังในสูตรอาหารที่ผ่านกระบวนการอัดเม็ด ต่อสมรรถภาพการผลิตอาหาร คุณภาพของอาหารอัดเม็ด และการย่อยได้ของแป้ง

### 1. แผนการทดลอง

ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely randomize design: CRD) และเปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี Orthogonal Polynomail ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SAS (2003) โดยมีแบบหุ่นทางสถิติ (statistical Medel) คือ

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

โดยที่ $Y_{ij}$ คือ ค่าสังเกตจากทรีทเมนต์ที่ i ซ้ำที่ j
$\mu$ คือ ค่าเฉลี่ยทั้งหมดในการทดลอง
$T_i$ คือ อิทธิพลของทรีทเมนต์ (treatment effect) ที่ i โดย i = 1,2,3
$\varepsilon_{ijk}$ คือ ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

### 2. อาหารทดลอง

อาหารทดลองจะแบ่งเป็น 3 สูตร โดยแต่ละสูตรมีระดับโภชนะตรงตามความต้องการโภชนะของลูกสุกรหย่านม ดังแสดงในตารางที่ 6 อาหารทุกสูตรผ่านกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ด ซึ่งอาหารทั้ง 3 สูตร ใช้เครื่องอัดเม็ดเครื่องเดียวกัน โดยใช้เครื่องอัดเม็ดรุ่น SZLH40, Jiang Zhenghang, China ขนาด 125 แรงม้า รีดผ่านรูดายร์ขนาด 4 มิลลิเมตร มีการปรับไอน้ำเพื่อควบคุมคุณภาพของเม็ดอาหาร ซึ่งอาหารแต่ละสูตรมีปริมาณในการผลิตไม่ถึง 1500 กิโลกรัม ดังนี้

1) สูตรอาหารปลายข้าว (ที่มีมันสำปะหลัง 0%) ผ่านกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ด
2) สูตรอาหารที่มีมันสำปะหลัง 10% ผ่านกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ด
3) สูตรอาหารที่มีมันสำปะหลัง 20% ผ่านกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ด

**3. <u>การเก็บตัวอย่างและการบันทึกผล</u>**

บันทึกข้อมูลการผลิตอาหารและมีการสุ่มเก็บตัวอย่างอาหารทดลองแต่ละสูตรในขณะที่ทำการผลิตซึ่งจะแบ่งเป็น 4 ช่วงคือ ช่วงกระบวนการผสมอาหาร(mixed) ช่วงหลังจากคลุกไอน้ำหรือปรับสภาพอาหาร (hot mash) ช่วงหลังจากอัดเม็ด (hot pellet) และอาหารที่ถูกบรรจุในถุง (packing) เพื่อนำไปวิเคราะห์อุณหภูมิ ความชื้น คุณภาพเม็ดอาหาร และการใช้ประโยชน์ได้ของแป้งในอาหารทดลอง ทำการเก็บข้อมูลในขั้นตอนของการผลิตอาหารได้แก่ อุณหภูมิคลุกไอน้ำ กระแสไฟฟ้าที่ใช้ ระยะเวลาที่ใช้ในการผลิต ปริมาณอาหารที่ผลิตได้ เพื่อนำมาคำนวณกำลังการผลิต (กิโลกรัมต่อชั่วโมง) และค่าพลังงานการอัดเม็ด

**4. <u>การวิเคราะห์ตัวอย่าง</u>**

4.1. วิเคราะห์คุณภาพเม็ดอาหารได้แก่ ความแข็ง ความคงทน และความเป็นฝุ่นของอาหารตามวิธีของ ASAE (1987)

4.2. วิเคราะห์การย่อยได้ของแป้ง ด้วยเอนไซม์ แอลฟ่า-อะไมเลส ($\alpha$-amylase) และอะไมโลกลูโคซิเดส (amyloglucosidase) ตามวิธีของ Gibson *et al*. (1993)

ตารางที่ 6 ส่วนประกอบของสูตรอาหารที่ใช้ในการทดลอง

| วัตถุดิบอาหารสัตว์ | ระดับมันสำปะหลัง (เปอร์เซ็นต์) | | |
|---|---|---|---|
| | 0 | 10 | 20 |
| ปลายข้าว | 46.3 | 34.7 | 23.1 |
| มันสำปะหลัง | 0 | 10 | 20 |
| ถั่วเหลืองไขมันเต็ม | 24.1 | 25.6 | 27.3 |
| หางนม (13 เปอร์เซ็นต์โปรตีน) | 7.9 | 8.0 | 8.0 |
| กากถั่วเหลือง (47 เปอร์เซ็นต์โปรตีน) | 7.9 | 8.0 | 8.0 |
| รำข้าวสาลี | 6.6 | 6.6 | 6.6 |
| ปลาป่น (60 เปอร์เซ็นต์โปรตีน) | 2.9 | 3.0 | 3.0 |
| โมโน – ไดแคลเซี่ยมฟอสเฟต | 1.5 | 1.4 | 1.4 |
| หินฝุ่น | 1.2 | 1.1 | 1.1 |
| เกลือ | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| แอลไลซีน | 0.09 | 0.07 | 0.05 |
| ดีแอล – เมทไธโอนีน | 0.07 | 0.08 | 0.09 |
| ยาพรีมิกซ์[1] | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| วิตามินและแร่ธาตุ[2] | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| ส่วนประกอบโภชนะจากการคำนวณ (เปอร์เซ็นต์) | | | |
| โปรตีน | 20 | 20 | 20 |
| พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (แคลอรี่ต่อกรัม) | 3373 | 3357 | 3342 |
| ไขมัน | 6.15 | 6.38 | 6.62 |
| เยื่อใย | 2.5 | 3.0 | 3.5 |
| แคลเซี่ยม | 1.0 | .09 | .09 |
| ฟอสฟอรัสรวม | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| ฟอสฟอรัสใช้ประโยชน์ได้ | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| ไลซีน | 1.2 | 1.2 | 1.2 |
| เมทไทโธโอนีน + ซีสตีน | 0.7 | 0.7 | 0.7 |

หมายเหตุ [1] ยาพรีมิกซ์ 1 กิโลกรัม ประกอบด้วย: โคลิสติน (10%) 200 กรัม; ลินโคมัยซิน (82%) 60 กรัม; แอมม็อคซี่ซีลิน (50%) 40 กรัม และ ซิงค์ออกไซด์ 400 กรัม

[2] วิตามิน และแร่ธาตุพรีมิกซ์ 1 กิโลกรัม ประกอบด้วย: วิตามินเอ 3.75 MIU; วิตามินดี3 0.75 MIU; วิตามินอี 10 กรัม; วิตามินเค3 0.75 กรัม; วิตามินบี1 0.50 กรัม; วิตามินบี2 2.00 กรัม; วิตามินบี6 1.50 กรัม; วิตามินบี12 10.00 มิลลิกรัม; ไนอาซิน 9.00 กรัม; แพนโททีนิค แอซิด 4.50 กรัม; โฟลิค แอซิด 0.25 กรัม; ไบโอติน 50.00 มิลลิกรัม; ธาตุเหล็ก 35.00 กรัม; ทองแดง 5.00 กรัม; แมงกานีส 20.00 กรัม; สังกะสี 40.00 กรัม; ไอโอดีน 0.50 กรัม และซีรีเนียม 0.10 กรัม

## การทดลองที่ 2

ศึกษาผลของรูปแบบอาหารและระดับมันสำปะหลังในสูตรอาหาร ต่อการใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุแห้ง โปรตีน และพลังงานของลูกสุกรหย่านม

### 1. การวางแผนการทดลอง

ใช้การทดลองแบบ 2x3 แฟคทอเรียลแบบสุ่มตลอด (factorial in complete randomize design) โดยมี 2 ปัจจัยที่ศึกษาคือรูปแบบของอาหาร และระดับของมันสำปะหลัง ใช้สัตว์ทดลองจำนวน 36 ตัว (ผู้ 18 ตัว เมีย 18 ตัว) แบ่งเป็น 6 กลุ่มๆ ละ 3 ซ้ำๆ 2 ตัว สุ่มลูกสุกรกินอาหารทดลอง 6 สูตร สุ่มลูกสุกรแต่ละตัวแยกเลี้ยงเดี่ยวในกรงเมตาบอลิซึม

### 2. สัตว์ทดลอง

การทดลองครั้งนี้ใช้สุกรลูกผสม 3 สายพันธุ์ (D X LR X LW) เพศผู้และเมีย อายุ 6 สัปดาห์ น้ำหนักประมาณ 12-13 กิโลกรัม แล้วเลี้ยงด้วยอาหารทดลองเป็นเวลา 10-12 วัน

### 3. อาหารทดลองและการให้อาหาร

ลูกสุกรแต่ละกลุ่มได้รับอาหารในปริมาณ 5.7 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว โดย 5-7 วันแรกให้อาหารทดลองเพื่อปรับสภาพทางเดินอาหาร และให้อาหารทดลองต่อไปอีก 5 วัน เพื่อทำการเก็บมูล บันทึกข้อมูลของน้ำหนักอาหารที่ใช้ และน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น เพื่อให้ลูกสุกรใช้ประโยชน์จากโภชนะในอาหารได้ดีขึ้นและกระตุ้นการกิน โดยการให้อาหารลูกสุกรวันละ 4 ครั้ง คือ เวลา 7.00 น. 10.00 น. 13.00 น. และ 16.00 น. ชั่งน้ำหนักอาหารที่ให้และอาหารที่เหลือ เพื่อคำนวณปริมาณอาหารที่กิน โดยมีสูตรอาหารทดลองดังต่อไปนี้

1) สูตรอาหาร (ปลายข้าว) ที่มีมันสำปะหลัง 0% แบบผง
2) สูตรอาหาร (ปลายข้าว) ที่มีมันสำปะหลัง 0% แบบอัดเม็ด
3) สูตรอาหารที่มีมันสำปะหลัง 10% แบบผง
4) สูตรอาหารที่มีมันสำปะหลัง 10% แบบอัดเม็ด

5) สูตรอาหารที่มีมันสำปะหลัง 20% แบบผง

6) สูตรอาหารที่มีมันสำปะหลัง 20% แบบอัดเม็ด

**4. <u>การเก็บตัวอย่างและการบันทึกผล</u>**

การเก็บตัวอย่างมูลโดยการผสมสารบ่งชี้ (indicator) คือ โครมิกซ์ออกไซด์ในสูตรอาหารทดลองที่ระดับความเข้มข้น 0.4 เปอร์เซ็นต์ให้สัตว์กิน ตลอดระยะการเก็บตัวอย่างของการทดลอง โดยเก็บตัวอย่างมูลวันละ 2 ครั้ง เช้าและเย็น โดยเริ่มสุ่มเก็บตั้งแต่มูลมีสีเขียวของโครมิกซ์ออกไซด์ แล้วนำตัวอย่างไปเก็บไว้ในตู้เย็นแช่แข็ง หลังจากนั้นนำไปอบจนแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แล้วนำมาบด ตัวอย่างที่บดแล้วเก็บใส่ภาชนะให้มิดชิดเพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป

**5. <u>การวิเคราะห์ทางสถิติ</u>**

ข้อมูลทั้งหมดจะนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (factorial in completely randomize design) ในแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Orthogonal Contrasts และ Orthogonal Polynomail ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SAS (2003) โดยมีแบบจำลองทางสถิติ (statistical Medel) ดังนี้

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

โดยที่ Yijk = ค่าสังเกตจากทรีทเมนต์ (combination) ที่ ij ซ้ำที่ k เมื่อ k=1,…,r

$\mu$ = ค่าเฉลี่ยทั้งหมดในการทดลอง

$\alpha_i$ = อิทธิพลเนื่องจากปัจจัย A (main effect A) ที่ระดับ i เมื่อ i = l, 2

$\beta_j$ = อิทธิพลเนื่องจากปัจจัย B (main effect B) ที่ระดับ j เมื่อ j = l, 2, 3

$\alpha\beta_{ij}$ = อิทธิพลร่วมเนื่องจากปัจจัย A และ B (interaction AB) ที่ระดับ ij

$\varepsilon_{ijk}$ = ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

**6. <u>การวิเคราะห์ตัวอย่าง</u>**

6.1. วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง คือ ความชื้น โปรตีน (proximate analysis) ตามวิธีของ A.O.A.C. (1990)

6.2. วิเคราะห์ค่าพลังงานโดยใช้เครื่อง bomb calorimeter (PARR 1261)

6.3. วิเคราะห์ปริมาณโครมิกซ์ออกไซด์ในอาหารและมูลโดยดัดแปลงตามวิธีของ Bolin *et.al*. (1952)

6.4. วิเคราะห์หาปริมาณ โปรตีน พลังงาน และโครมิกซ์ออกไซด์ ในอาหารและมูล นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์มาคำนวณหา ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง พลังงาน และโปรตีนในอาหารลูกสุกรหย่านม โดยใช้สูตร

ค่าการย่อยได้แบบปรากฏ (%)

$$= 100 - 100 \times \frac{(\%\text{โครมิกซ์ออกไซด์ในอาหาร} \times \%\text{โภชนะในมูล})}{(\%\text{โครมิกซ์ออกไซด์ในมูล} \times \%\text{โภชนะในอาหาร})}$$

## <u>การทดลองที่ 3</u>

ศึกษาผลของรูปแบบอาหารและระดับมันสำปะหลังในสูตรอาหาร ต่อสมรรถภาพการผลิตของลูกสุกรหย่านม

**1. <u>การวางแผนการทดลอง</u>**

ใช้การทดลองแบบ 2x3 แฟคทอเรียลแบบสุ่มตลอด (factorial in complete randomize design) แบ่งลูกสุกรออกเป็น 6 กลุ่มๆ ละ 5 ซ้ำๆ ละ 8 ตัว (เพศผู้ 4 ตัว และเพศเมีย 4 ตัว) โดยการสุ่มอิสระ ซึ่งกลุ่มทดลองประกอบด้วย

ปัจจัย A = ชนิดของอาหารซึ่งมี 2 ทรีทเมนต์ คือ

$a_1$ = อาหารผง

$a_2$ = อาหารเม็ด

ปัจจัย B = ระดับของมันสำปะหลังในสูตรอาหาร ซึ่งมี 3 ทรีทเมนต์ คือ

$b_1$ = สูตรอาหารมันสำปะหลัง 0%

$b_2$ = สูตรอาหารมันสำปะหลัง 10%

$b_3$ = สูตรอาหารมันสำปะหลัง 20%

**2. <u>สัตว์ทดลอง</u>**

ใช้สุกรลูกผสม 3 สายพันธุ์ (D X LR X LW) อายุ 4 สัปดาห์ น้ำหนักประมาณ 7.0-8.0 กิโลกรัม จำนวน 240 ตัว แบ่งเป็นเพศผู้ตอน 120 ตัว และเพศเมีย 120 ตัว

**3. <u>อาหารทดลองและการให้อาหาร</u>**

การศึกษาผลของรูปแบบของอาหาร(ผงและอัดเม็ด) และระดับมันสำปะหลังในสูตรอาหาร ต่อสมรรถภาพการผลิตของลูกสุกรหย่านม ซึ่งแบ่งเป็น 6 สูตร (treatment) อาหารทุกสูตรคำนวณให้มีโภชนะต่างๆ ตามความต้องการของลูกสุกรดังตารางที่ 6 โดยมีสูตรอาหารดังนี้

1) สูตรอาหาร (ปลายข้าว) ที่มีมันสำปะหลัง 0% แบบผง
2) สูตรอาหาร (ปลายข้าว) ที่มีมันสำปะหลัง 0% แบบอัดเม็ด
3) สูตรอาหารที่มีมันสำปะหลัง 10% แบบผง
4) สูตรอาหารที่มีมันสำปะหลัง 10% แบบอัดเม็ด
5) สูตรอาหารที่มีมันสำปะหลัง 20% แบบผง
6) สูตรอาหารที่มีมันสำปะหลัง 20% แบบอัดเม็ด

ลูกสุกรได้รับน้ำและอาหารตลอดเวลา (*ad libitum*) และลูกสุกรทุกตัวได้รับการทำวัคซีน microplasma, aujuski disease; AD + FMD, อหิวาต์, AD ที่อายุ 5, 6, 7 และ 8 สัปดาห์ ตามลำดับ

**4. <u>การเก็บตัวอย่างและการบันทึกผล</u>**

สมรรถภาพการผลิตของลูกสุกรหย่านม ทำการบันทึกน้ำหนักของลูกสุกรก่อนและหลังการทดลอง ปริมาณการกินอาหารทั้งหมด และอัตราการตาย แล้วนำมาคำนวณน้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นต่อวัน (average daily gain; ADG) ปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยต่อวัน (average daily feed intake; ADFI) ประสิทธิภาพการใช้อาหารของลูกสุกร (feed conversion ratio; FCR) และมูลค่าอาหารที่ทำให้น้ำหนักสุกรเพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัม (feed cost per unit gain; FCG) บันทึกอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเรือนระหว่างการทดลองทุกวัน เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นในแต่ละวัน

**5. <u>การวิเคราะห์ทางสถิติ</u>**

จากแผนการทดลองที่ 2 เป็นแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล (factorial design) โดยมี 2 ปัจจัยที่ศึกษา คือรูปแบบของอาหาร และระดับของมันสำปะหลัง ที่มีการจัดกลุ่มทดลอง (treatment combination) แบบสุ่มสมบูรณ์ ซึ่งมีแบบหุ่นจำลองดังนี้

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

โดยที่ $Y_{ijk}$ = ค่าสังเกตจากทรีทเมนต์ (combination) ที่ ij ซ้ำที่ k เมื่อ k=1,…,r

$\mu$ = ค่าเฉลี่ยทั้งหมดในการทดลอง

$\alpha_i$ = อิทธิพลเนื่องจากปัจจัย A (main effect A) ที่ระดับ i เมื่อ i = l, 2

$\beta_j$ = อิทธิพลเนื่องจากปัจจัย B (main effect B) ที่ระดับ j เมื่อ j = l, 2, 3

$\alpha\beta_{ij}$ = อิทธิพลร่วมเนื่องจากปัจจัย A และ B (interaction AB) ที่ระดับ ij

$\varepsilon_{ijk}$ = ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

วิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการทดลองโดยวิธี Proc GLM วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) ตามแผนการทดลอง และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Orthogonal contrasts และ Orthogonal Polynomail ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SAS (SAS, 2003)

**<u>อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง</u>**

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

2. วิเคราะห์หาปริมาณโครมิกซ์ออกไซด์ในอาหารทดลอง และมูลตามวิธีของ Bolin *et.al*. (1952)

3. เครื่องมือบันทึกข้อมูลการผลิต ประกอบด้วย เครื่องวัดอุณหภูมิ เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า บันทึกอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคับเปิลชนิดแท่งพร้อมภาชนะใส่อาหารแบบกันความร้อน

4. เครื่องมือวิเคราะห์ระดับการเข้าย่อยได้ของเอนไซม์ แป้งที่ต้านทานการย่อย ปริมาณแป้งทั้งหมด ประกอบด้วย เครื่องหมุนเหวี่ยง, water bath, spectrophotometer ตามวิธีของ Gibson *et al*. (1993)

5. ถุงในการเก็บตัวอย่างอาหารประกอบด้วย ถุงพลาสติกสำหรับเก็บตัวอย่าง 500 กรัมและถุงกระดาษสำหรับเก็บตัวอย่าง 3 กิโลกรัม

6. เครื่องวัดความแข็งของเม็ดอาหาร และกล่องเขย่าสำหรับวัดความคงทนของเม็ดอาหาร (ASAE, 1987)

**<u>สถานที่ทำการทดลอง</u>**

1. ทำการผลิตมันสำปะหลังคลุกไอน้ำอัดเม็ด และอาหารทดลอง ณ บริษัท ไบโอ – เจน ฟีดมิลล์ จำกัด อ. เมือง จ. ลำพูน

2. ศึกษาค่าการใช้ประโยชน์ได้สารอาหารและสมรรถภาพการผลิตของลูกสุกรหย่านม ณ ไบโอ – เจน ฟาร์ม อ. เมือง จ. ลำพูน

3. วิเคราะห์โภชนะต่างๆ ของอาหารทดลอง และมูล ณ ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตรกำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม

4. วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ และโภชนะของมันสำปะหลังคลุกไอน้ำอัดเม็ด ณ ภาควิชาเทคโนโลยีทางกระบวนการทางเคมีและฟิสิกส์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน

**<u>ระยะเวลาการทดลอง</u>**

เริ่มต้นการทดลอง เดือน กุมภาพันธ์ 2549
สิ้นสุดการทดลอง เดือน กรกฎาคม 2549