บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

ข้าวโพด

ข้าวโพดเป็นธัญพืชอาหารพลังงานที่สำคัญที่สุดในการผลิตอาหารสัตว์ของไทย โดยมีแหล่งปลูกที่สำคัญในเขตจังหวัดภาคเหนือ ภาคกลางตอนบน และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ข้าวโพดมีส่วนประกอบ (as fed basis) ดังนี้คือ มีความชื้นประมาณ 13%, โปรตีนรวม 8%, แป้ง 62%, NDF 8%, และไขมัน 7% (Schoeder,1997) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับปลายข้าวแล้วพบว่า มีโปรตีนสูงกว่าเล็กน้อย (8.3 vs 7.9%) แต่เนื่องจากมีเยื่อใยมากกว่า (2.5 vs 1.0%) จึงทำให้มีพลังงานใช้ประโยชน์ได้ต่ำกว่า (3,350 vs 3,420 kcal/kg; NRC, 1998) การใช้ข้าวโพด (maize grain) เลี้ยงสุกรของประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่า ข้าวโพดมีการย่อยได้ของวัตถุแห้ง 84.8 %, โปรตีนรวม 69.9 %, เยื่อใย 40.7 %, ไขมัน 55.7 % และ NFE 92.9 % (GÖhl, 1975)

คุณภาพโปรตีนในข้าวโพดค่อนข้างต่ำเนื่องจากขาดกรดอะมิโนที่จำเป็นสำหรับสัตว์กระเพาะเดี่ยวคือ ทริปโตเฟน ไลซีน และธรีโอนีน ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่ขาด 3 อันดับแรกตามลำดับ ทั้งนี้เพราะโปรตีนของข้าวโพดประกอบด้วย zein ซึ่งเป็นโปรตีนกลุ่ม prolamine (ละลายได้ในแอลกอฮอล์) ประมาณ 50% ของทั้งหมด ส่วนโปรตีนกลุ่ม glutelins (ละลายได้ในด่างและมีไลซีนสูงเป็น 12 เท่า ทริปโตเฟนสูงเป็น 9 เท่าของ zein) มีอยู่เพียง 17 - 31% เท่านั้น ที่เหลือเป็น albumin และ globulin ซึ่งละลายได้ในกรด มีรายงานว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนจะช่วยเพิ่มโปรตีนในข้าวโพดให้สูงขึ้นได้ แต่เป็นการเพิ่ม zein จึงทำให้คุณค่าของโปรตีนต่ำลงไปอีก นอกจากนี้การที่ข้าวโพดมีทริปโตเฟนต่ำยังมีผลทำให้เกิดการขาดวิตามินไนอาซิน (niacin) ด้วย เพราะทริปโตเฟนเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ไนอาซิน ประกอบกับไนอาซินในข้าวโพดมักยึดเกาะอยู่กับโปรตีนในรูปของ niacytin ซึ่งสัตว์นำไปใช้ประโยชน์ไม่ได้ ดังนั้นอาหารที่ใช้ข้าวโพดเป็นส่วนประกอบหลักจึงอาจขาดไนอาซินได้ (สาโรช, 2547)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การใช้ข้าวโพดที่ผ่านกระบวนการ gelatinization ในสัตว์เลี้ยง

Felsman *et al*. (1976) รายงานว่าการทำให้ข้าวโพดเกิดกระบวนการ gelatinization โดยการอบ (roasted corn) ที่อุณหภูมิสูงขึ้นจาก 0 เป็น 93, 104, 116, 127, 137 °ซ พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการอบ

สูงขึ้นจะทำให้เมล็ดข้าวโพดมีความหนาแน่นลดลงและต่ำที่สุดที่อุณหภูมิ 137°ซ (0.74 vs 0.71 vs 0.70 vs 0.67 vs 0.49 vs 0.43 g/cm^3 ตามลำดับ) ทำให้มีความสามารถดูดซับความชื้นได้มากขึ้น และการย่อยได้ในกระเพาะรูเมนสูงกว่าที่อุณหภูมิต่ำ สอดคล้องกับ Costa *et al*. (1972) ที่ได้รายงานว่าการทำ infra-red roasting corn ที่อุณหภูมิ 76°ซ มีค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้สูงกว่าข้าวโพดที่ไม่ได้อบ (3.52 $\pm$ 0.11 vs 3.55 $\pm$ 0.09 kcal/g)

Matsushima (1966) รายงานว่าการใช้ steam flaked corn ในโคเนื้อจะทำให้ประสิทธิภาพการใช้อาหารดีกว่า raw flaked corn 5 - 10% สอดคล้องกับ Hale *et al*. (1966) และ Hale (1967) ที่ได้รายงานว่าการใช้ steam flakemilo ในโคขุนจะทำให้น้ำหนักตัวเพิ่มสูงขึ้น 5 – 10% และประสิทธิภาพการใช้อาหารดีขึ้น 5% และการใช้ roasted corn ที่ 136 °ซ บดผ่าน roller mill ที่มีช่อง ขนาด 0.76 เซนติเมตร ทำให้โคแองกัส มีน้ำหนักเพิ่มสูงกว่ากลุ่มควบคุม (1.36 vs 1.25 kg, Harvey *et al.* , 1974)

การเพิ่มประสิทธิภาพข้าวโพดเลี้ยงสัตว์โดยใช้ความร้อนชื้น

การทำให้ข้าวโพดเกิดกระบวนการ gelatinization โดยใช้ความร้อนชื้นสามารถใช้ไอน้ำในสภาพปกติหรือภายใต้ความดันก็ได้ แล้วนำไปแปรรูปโดยกรรมวิธีต่างๆ ต่อไป เช่น การบดให้ละเอียด การอัดแผ่น และการอัดเม็ด เป็นต้น ในประเทศแถบตะวันตกนิยมใช้กับธัญพืชสำหรับขุนสัตว์เคี้ยวเอื้อง ซึ่งมีผลทำให้คุณค่าทางโภชนาการของอาหารสูงขึ้น จะพองตัวและสุก

การให้ความร้อนชื้นร่วมกับการแปรรูปทางกายภาพจะทำให้ polysaccharides ซึ่งเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์เกิดการสลายตัวปลดปล่อยแป้งและโภชนะอื่นที่อยู่ภายในเซลล์ออกมา เมื่อแป้งได้รับความร้อนชื้นที่อุณหภูมิ 60 – 70 °ซ จะเกิดการพองตัวและแปรสภาพเป็นแป้งเปียกเป็นลักษณะของ gelatinized starch (Greenwood, 1970) เพิ่มการละลายในน้ำได้ ทำให้เอนไซม์ในน้ำย่อยเข้าย่อยสลายได้ดีขึ้น แต่ในบางสถานการณ์อาจเกิดแป้งที่ละลายไม่ได้ ดังนั้นการให้ความร้อนจึงต้องอยู่ในระดับที่เหมาะสมทั้งอุณหภูมิและระยะเวลา อย่างไรก็ดีพบว่า การให้ความร้อนชื้นมีผลช่วยให้แป้งมีการย่อยได้ดีกว่า และทำให้เกิดคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยไม่ได้น้อยกว่าการใช้ความร้อนแห้ง (สาโรช, 2547)

ความร้อนยังมีผลทำให้โปรตีนสลายตัวและตกตะกอน ทำให้การละลายได้ของโปรตีนลดลงและมีอัตราการย่อยได้สูงขึ้นด้วยโปรตีนบางกลุ่มที่มีฤทธิ์ยับยั้งการใช้โภชนะในอาหาร เช่น lectins, trypsin inhibitors และ thiaminase จะถูกทำให้เสียสภาพ (denature) ทำให้โภชนะที่ถูกยับยั้งด้วยโปรตีนเหล่านี้ใช้ประโยชน์ได้สูงขึ้น เช่น การทำลาย trypsin inhibitors ทำให้กรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบสามารถใช้ประโยชน์ได้ดีขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากนี้ยังพบว่า ไขมันในเซลล์พืชจะแตกเมื่อถูกความร้อนจึงทำให้เกิดการปลดปล่อยไขมันออกมา ซึ่งสัตว์สามารถย่อยและนำไปใช้ประโยชน์ได้ดีขึ้น อีกทั้งความร้อนยังทำให้เอนไซม์ lipoxygenase สูญเสียกัมมันตภาพ ลดการเกิด oxidation ทำให้ไขมันไม่เสื่อมสภาพได้ง่าย สัตว์สามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่ (สาโรช, 2547)

การให้ความร้อนแก่วัตถุดิบอาหารสัตว์หากกระทำอย่างถูกต้องเหมาะสมทั้งอุณหภูมิ ความชื้น เวลา และชนิดของอาหาร จะมีผลในการเพิ่มการย่อยได้ของคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมันได้ ซึ่งความร้อนชื้นสามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของอาหารสัตว์ได้ดีกว่าความร้อนแห้ง (Ponds และ Maner ,1984)

ดังนั้นจึงควรหาวิธีการที่เหมาะสมในการทำให้ข้าวโพดสามารถใช้ประโยชน์ได้ดีขึ้น มีต้นทุนต่ำ และเกษตรกรรายย่อยสามารถทำได้เอง เช่นการนึ่ง เป็นต้น

ถั่วเหลือง

เมล็ดถั่วเหลืองมีโปรตีน 38%, คาร์โบไฮเดรต 30%, น้ำมัน 18% และมีความชื้น เถ้าตลอดจนเยื่อหุ้มเมล็ด (hull) รวม 14% (Hollis, 1998)โปรตีนในถั่วเหลืองประกอบด้วยกรดอะมิโนเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเอมีน มีรูปร่างคล้ายทรงกลม (globular protein) ซึ่งมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่สามารถกระจายตัวอยู่ในน้ำในรูปของคอลลอยด์ และเปลี่ยนแปลงได้ง่ายเมื่อถูกความร้อนหรือระดับ pH เปลี่ยนไป นอกจากนี้ยังมีสารต้านมะเร็งอย่างน้อย 5 ชนิด และมีสารต้านฮอร์โมนเพศหญิงซึ่งช่วยหยุดยั้งการก่อตัวของมะเร็งที่สัมพันธ์กับฮอร์โมนเพศ เช่น มะเร็งเต้านมและมะเร็งต่อมลูกหมาก เป็นต้น นอกจากนี้ phytosterols และ saponins ที่มีอยู่ในเมล็ดถั่วเหลืองยังสามารถออกฤทธิ์ยับยั้งการแบ่งตัวของเซลล์มะเร็งในลำไส้ใหญ่ได้ อีกทั้ง saponins ยังช่วยกระตุ้นภูมิคุ้มกัน ทำให้มะเร็งปากมดลูกและมะเร็งผิวหนังชะลอการเจริญเติบโต (สรจักร, 2542)

ในสุกรมีการย่อยได้ของวัตถุแห้งในถั่วเหลืองสูงถึง 85% (INRA, 1989 อ้างโดย Mateos and Lâzaro, No date) นอกจากนี้ยังมี lysine สูงซึ่งมีการย่อยได้ 83 – 89% (NRC, 1998) แต่มีเมทไธโอนีนต่ำ ซึ่งความร้อนช่วยปรับปรุงคุณภาพของโปรตีนในถั่วเหลืองได้

ถั่วเหลืองดิบไม่นิยมนำมาใช้เลี้ยงสัตว์เนื่องจากมีสารยับยั้งการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ (anti-nutritional factors) อยู่หลายชนิด ที่สำคัญมี 2 ชนิด คือ protease inhibitors และสารกระตุ้นการจับตัวเป็นก้อนของเม็ดเลือดแดง (hemoagglutinins หรือ lectin) (Liener,1958)โดย protease inhibitors เป็นโปรตีน globulin กลุ่มหนึ่งที่ออกฤทธิ์โดยการจับและยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซินและไคโมทริปซินที่หลั่งจากตับอ่อน ทำให้โปรตีนในอาหารย่อยไม่ได้ ส่งผลให้การ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารลดลง ในไก่และหนู การขาดเอนไซม์ย่อยโปรตีนในลำไส้เล็กส่วนต้นจะทำให้ตับอ่อนต้องหลั่งเอนไซม์มากขึ้น เพราะเอนไซม์ที่ผลิตออกมาจะถูกจับโดยสารยับยั้งและถูกขับออกนอกร่างกาย จึงทำให้ร่างกายขาดกรดอะมิโนซีสเตอีน (cysteine) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่มีมากในเอนไซม์ทริปซินและไมโครทริปซิน ร่างกายจึงต้องเปลี่ยนเมทไธโอนีนไปเป็นซีสเตอีน ทำให้เกิดการขาดเมทไธโอนีนมากขึ้นกว่าปกติที่ขาดอยู่แล้วในถั่วเหลือง เป็นเหตุให้การเจริญเติบโตชะงักอย่างรุนแรง (Pond and Maner, 1984) แต่ในสุกรสารยับยั้งเอนไซม์ย่อยโปรตีนไม่มีผลในการกระตุ้นการทำงานของตับอ่อนหรือทำให้ตับอ่อนโตผิดปกติ

สารยับยั้งทั้งสองชนิดนี้ถูกทำลายได้ด้วยความร้อนในวิธีการต่างๆเช่น extruded, cooking, roasting และ expansion โดยประสิทธิภาพขึ้นกับสายพันธุ์ของถั่วเหลือง ขนาด อุณหภูมิ เวลา ความดัน และความชื้น (Qin *et al*., 1996) และสารยับยั้งโภชนะที่ไม่ถูกทำลายด้วยความร้อนคือ stachyose, raffinose oligosaccharides และ antigen protein (glycinin และß-conglycinin) oligosaccharide มีอยู่ในถั่วเหลือง มากกว่า 5% ทำให้สัตว์อายุน้อยๆไม่สามารถย่อยได้ที่ลำไส้เล็กเพราะขาด endogenous enzymes ส่วน glycinin และ ß-conglycinin จะทำให้ villi ในลำไส้เล็กฝ่อลีบ ทำให้การดูดซึมลดลง

ดังนั้นการให้ความร้อนที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญต่อการนำเมล็ดถั่วเหลืองไปใช้เป็นอาหารสุกร เพราะการทำให้สุกไม่พอหรือสุกเกินไปจะทำให้การย่อยได้ของกรดอะมิโนลดลง สอดคล้องกับ Parsons *et al*. (1992) ที่ได้รายงานว่าการทำถั่วเหลืองให้สุกด้วย autoclave เป็นเวลา 9, 18 และ 40 นาที พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของไลซีนเท่ากับ 78, 87 และ 69% ตามลำดับ เมทไธโอนีนเท่ากับ 70, 86 และ 62% ตามลำดับ และธรีโอนีนเท่ากับ 68, 82 และ 80% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการให้ความร้อนนานเกินไปมีผลทำให้ไลซีนและเมทไธโอนีนมีการย่อยได้ลดลง

การตรวจสอบความสุกดิบของถั่วเหลือง

ความสุกดิบของถั่วเหลืองสามารถตรวจสอบได้โดยวัดค่าใดค่าหนึ่ง ดังต่อไปนี้คือ

1. Trypsin inhibitor unit (TIU) คือ มิลลิกรัมของทริปซินที่ถูกยับยั้งโดยกากถั่วเหลือง 1 กรัม ถั่วเหลืองที่มีความสุกพอดีต้องมีค่านี้ไม่เกิน 3.0 มก./กรัม

2. Urease index คือ pH ของสารละลายยูเรียต่อ 0.2 กรัมของกากถั่วเหลืองที่บ่มที่อุณหภูมิ 30 °ซ เป็นเวลา 30 นาที ถั่วเหลืองที่มีความสุกพอดีควรมีค่านี้ระหว่าง 0.05 – 0.2 ถ้าค่าน้อยกว่า 0.05 pH unit แสดงว่าสุกไม่พอ แต่ถ้าเกิน 0.2 pH unit แสดงว่าได้รับความร้อนสูงเกินไป (Reese, 1992)

3. Urease activity คือ มิลลิกรัมของไนโตรเจนของสารละลายยูเรียที่ถูกปลดปล่อยโดยกากถั่วเหลือง 1 กรัม บ่มที่ 30°ซ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ค่าที่เหมาะสมคือ ไม่เกิน 0.4 มก./กรัม Garlich (1988) ได้แนะนำว่า ค่า urease activity ที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 0.01 – 0.05 ถ้ากากถั่วเหลือง หรือ ถั่วเหลือง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ไขมันเต็ม มีค่าต่ำหรือสูงกว่านี้จะมีผลทำให้สมรรถภาพการผลิตใน สัตว์ปีก สุกร และ สัตว์เคี้ยวเอื้องที่ยังไม่ถึงวัยสมบูรณ์พันธุ์ ลดลง

4. Protein dispersibility index (PDI) คือ ปริมาณโปรตีนที่ละลายใน KOH 0.2% ซึ่งควรมีค่าประมาณ 75 - 80% ของโปรตีนในถั่วเหลือง

การใช้ถั่วเหลืองไขมันเต็มที่ผ่านกระบวนการความร้อนชื้นเพื่อทำลายสารยับยั้งการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในสุกร

ถั่วเหลืองไขมันเต็มมีส่วนประกอบของกรดอะมิโนเหมือนกับกากถั่วเหลืองแต่มีปริมาณน้อยกว่าเพราะมีไขมันสูงกว่า (18 vs 1.50%) มีโปรตีน 36% และมี NE 2.0 Mcal/kg (Snowdon, 2003) สอดคล้องกับ Reese (1992) ที่รายงานว่า cooked FFSB มีโปรตีน 36.7% ไลซีน 2.5% และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ 3,644 kcal/kg นอกจากนี้การที่ถั่วเหลืองดังกล่าวมีน้ำมันอยู่สูงซึ่งอุดมไปด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (polyunsaturated fatty acids, PUFA) ที่สุกรสามารถย่อยได้ดี มีอยู่ประมาณ 18 - 20% (Rostagno, 2000 อ้างโดย Mateos *et al*., No date) โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรดลิโนเลนิก (C 18:3 ω 3) จึงนับว่ามีผลดีต่อสุขภาพสัตว์และผู้บริโภคผลิตภัณฑ์จากสัตว์นั้นด้วย นอกจากนี้ยังมี NDF 12%

ในปัจจุบันมีการใช้ถั่วเหลืองที่ไม่ได้สกัดน้ำมันออก (ถั่วเหลืองไขมันเต็ม) มากขึ้นในสูตรอาหารสัตว์ เพราะช่วยให้อาหารมีพลังงานสูงขึ้น จึงเหมาะสำหรับสัตว์ที่ต้องการอาหารพลังงานสูง จุดสำคัญของการนำถั่วเหลืองมาใช้เป็นอาหารสุกรคือ กระบวนการทำลายสารยับยั้งทริปซินที่ให้โปรตีนมีคุณภาพสูง ให้พลังงานและการย่อยได้ของไขมันสูง มีการย่อยได้ของเยื่อใยได้สูง และ มีระดับของ linoleic acid ในซากสูงด้วย Hancock (2001) ได้แนะนำว่าการย่อยได้ที่ ileal ของวัตถุแห้ง (62.0 vs 55.6%), พลังงาน (64.9 vs 57.9%) และโปรตีนรวม (69.2 vs 62.4%) ในอาหารที่มีส่วนผสมของ extruded SBM สูงกว่า SBM อย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับ Maty *et al.* (1994) ที่พบว่าการย่อยได้ของกรดอะมิโนที่จำเป็น เช่น ไลซีนใน extruded SB มากกว่า SBM (81.1 vs 77.4%) และ Adam and Jensen (1984) รายงานว่าการย่อยได้ของไขมันในถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการ extruded มีค่าสูงกว่า กากถั่วเหลืองในสุกรน้ำหนัก 5.8 กิโลกรัม สอดคล้องกับ Hancock *et al*. (1995) ที่ได้รายงานว่าถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการ extruded มีค่า พลังงานใช้ประโยชน์ได้ในสุกรสูงกว่ากากถั่วเหลืองและถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการ roasted (4,414 vs 3,567 และ 3514 kcal/kg ตามลำดับ)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Table 1 Composition[1] of commercial soybean products (as fed basis)

Item	SBM (44)	SBM (48)	FFSB
Dry matter	89.0	90.0	90.0
Protein, %	44	48.5	37
ME Swine, kcal/kg[2]	3220	3385	3625
NE, Mcal/kg[3]	1.73	1.81	1.96
Fat, %	0.8	1.0	18.0
Fiber, %	7.0	3.9	5.5
Calcium, %	0.29	0.27	0.25
Phosphorus, %	0.65	0.62	0.58
Phosphorus available, %	0.29	0.24	0.25
Sulfur, %	0.33	0.33	0.22
Methionine, %	0.62	0.67	0.53
Total sulfur amino acids, %	1.28	1.39	1.07
Lysine, %	2.69	2.96	2.25
Tryptophan, %	0.74	0.74	0.51
Threonine, %	1.72	1.87	1.41
Isoleucine, %	1.96	2.12	1.56

1. NRC, Poultry (1994)
2. NRC, Swine (1988)
3. NRC, Dairy (1989)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การผลิตถั่วเหลืองไขมันเต็ม

การใช้ความร้อนลดปริมาณสารยับยั้งการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในถั่วเหลืองเป็นวิธีที่ธรรมดาที่สุด การทำให้สารยับยั้งการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะอยู่ในสภาพที่ทำงานไม่ได้ เรียกว่าการทำให้เสียสภาพ (denaturing) Rackis *et al.* (1986) ได้แนะนำว่าการทำให้ เอนไซม์ยูรีเอสเสื่อมสภาพจะต้องใช้พลังงานต่ำสุด 1,200 J/g และ 1,670 J/g สามารถทำลายสารยับยั้งทริปซินได้ 95% แต่ถ้าได้รับความร้อนสูงเกินไปจะมีผลทำให้การใช้ประโยชน์ได้ของกรดอะมิโนโดยเฉพาะไลซีนลดลงส่วนการให้ความร้อนต่ำเกินไปจะทำให้ความเสถียรของการเกิด oxidation ของไขมันภายในเมล็ดถั่วเหลืองลดลง (Kouzeh-Kanami *et al*., 1981) นอกจากนี้ถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการทำลายสารยับยั้งโภชนะด้วยความ

ร้อนจะช่วยปรับปรุงรสชาติให้ดีขึ้น เนื่องจากความร้อนจะช่วยให้ถั่วเหลืองปล่อยกลิ่นหอมและรสชาติออกมา ทำให้มีความน่ากินสูงขึ้น สัตว์สามารถกินได้มากขึ้น (Murray, 1978) และ ทำให้ lipoxygenases เสื่อมสภาพ ถั่วเหลืองจึงมีคุณภาพดีขึ้น และเก็บได้นานขึ้น (Kouzeh-Kanani *et al.*, 1982)

การทำลายสารยับยั้งการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในถั่วเหลืองด้วยความร้อนชื้นจะใช้อุณหภูมิต่ำกว่าและให้ผลดีกว่าแบบแห้ง (Clarke and Wiseman ,1999) ดังตาราง 2

วิธีการผลิตที่ดีจะต้องได้ ผลผลิตที่มีความสม่ำเสมอ มีสารยับยั้งโภชนะเหลืออยู่น้อย คุณภาพโปรตีนสูง และ มีน้ำมันใช้ประโยชน์ได้สูงซึ่งขึ้นอยู่กับ เวลา อุณหภูมิ ความดัน ความชื้น พื้นผิวสัมผัส ขนาด และชนิดของพลังงานที่ใช้ ที่สามารถทำลาย trypsin และchymotrypsin inhibitors lipoxygenases, lectins และ ureases ได้ (De Schutter and Morris, 1990).

Table 2 Effect of temperature and moisture on the trypsin inhibitor content of extruded soybeans[1]

Temperature	Moisture, %[2]		
°C	11	26	35
70	36	23	22
90	27	15	14
110	15	8	8
130	4	4	4
150	4	4	3
160	4	3	3

[1] mg/g sample. Values <5 mg/g are deemed acceptable.

[2] Usual bean moisture content 11 %

ที่มา: Clarke and Wiseman (1999)

กระบวนการผลิตถั่วเหลืองไขมันเต็มแบ่งตามความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับเวลา มี 2 วิธี

1. Shorter procedures เป็นการใช้อุณหภูมิสูงเวลาสั้น คือ 130 -170 °ซ นาน 10-180 วินาที มีอยู่หลายวิธีการ เช่น dry-roasting, jet-sploding, micronizing และ extrusion

2. Long procedure เป็นการใช้อุณหภูมิต่ำเวลายาว คือ 105 °ซ นาน 15-30 นาที มีหลายวิธีการ เช่น autoclave, cascading steam roasting และ expansion through cooking

Qin *et al.* (1996) ได้ศึกษาการย่อยได้ที่ ileal ของโภชนะในถั่วเหลืองที่ผ่านการ cooked ที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน ในสุกรที่มีน้ำหนักตัว 30 กิโลกรัม สารยับยั้งโภชนะจะถูกทำลายสูงสุดที่อุณหภูมิ 130 °ซ โดยใช้เวลา 1.5 นาที และที่อุณหภูมิ 102 °ซ เป็นเวลา 40 นาที ดังตาราง 3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การทำลายสารยับยั้งโภชนะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

1. Cooking, steaming
2. Roasting, including rotating drum system, fluidized bed, cascading chamber, micronizing, jet-sploding และ microwave
3. Dry or moisture extrusion, expander

Table 3 Influence of roasting time and temperature on the digestibility of soybean by 30 kg piglets

		Apparent ileal digestibility, %		
Temperture (°C)	Time (min)	Dry matter	Ether extract	Nitrogen
102	10	37[a]	82	51[b]
102	20	49ab	84	68[ab]
102	40	61a	89	81[a]
120	2	48[ab]	90	70[a]
120	7.5	57[ab]	93	82[a]
134	1.5	57[ab]	92	82[a]

The different letter refer to the application of $P < 0.05$

ที่มา : Qin *et al.* (1996)

1. Cooking and steaming

1.1. Cooking (การต้ม) เป็นการนำเมล็ดถั่วเหลืองไปต้มในน้ำให้เดือด นาน 30 – 120 นาที นำไปทำให้แห้งด้วยเครื่องหรือ ตากแดด ซึ่งสามารถนำไปให้สัตว์กินได้ทั้งเมล็ด หรืออาจบด หรือ ทำให้แตกก่อนก็ได้ เป็นวิธีที่ง่ายที่สุด และนิยมทำกันในชนบท

Kaankuka *et al.* (1996) รายงานว่าการใช้ถั่วเหลืองต้มที่ อุณหภูมิ 100 °ซ นาน 30 นาที แล้วตากให้แห้งบนพื้น จากนั้นนำไปผสมในอาหารสุกร ที่มีน้ำหนักตัว 9 กิโลกรัมในระดับ 37% ของสูตรอาหาร จะมีค่าการย่อยได้ของโภชนะสูงกว่าการใช้ระยะเวลาสั้นเนื่องจากสารยับยั้งทริปซินถูกทำลายไปมากที่สุด การต้มเพียง 25 นาที หรือน้อยกว่านั้นยังไม่เพียงพอ ดังตาราง 4

1. 2. Steaming (การนึ่ง) มักใช้ความดันร่วมด้วย สุชน และคณะ (2536) รายงานว่าการนึ่งถั่วเหลืองด้วยถังนึ่งแบบทำด้วยไม้โดยมีตะแกรงอลูมิเนียมรองก้นถัง บรรจุถั่วได้ 100 กิโลกรัมและไอน้ำร้อนจากถังต้มน้ำแรงดันสูงจากภายนอกที่มีแรงดัน 40 ปอนด์/ตารางนิ้ว จะเข้ามาตรงส่วนล่างสุดของถังนึ่ง ใช้เวลาในการนึ่งนาน 15 นาที วัดอุณหภูมิที่เมล็ดถั่วได้ 105 °ซ และมีค่าสารยับยั้งทริปซิน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ใกล้เคียงกับถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการ extruded (4.5 vs 3.1 mg/g sample) โดยสามารถทำลายสารยับยั้งทริปซีนได้ถึง 91.9% ดังตาราง 5 นอกจากนี้ยังมีวิธีการอื่นๆได้แก่

Table 4 Influence of exposing soybean to heat at100^{o}C on the digestibility of their nutrients

Time (min)	Antitrypsin activity[2]	Digestibility coefficient %[1]		
		Dry matter	Nitrogen	Ether extract
15	342	77.3	76.6[b]	84.2
20	263	78.0	78.9[b]	86.2
25	211	78.4	80.0[b]	87.1
30	79	78.9	82.6[a]	87.9
Soybean meal	185	79.7	82.5[a]	84.1

[1] BW 9 kg piglets

[2] mg/100g compare to 924 mg of inhibitors/100g of raw soybean

ที่มา : Kaankuku *et al.* (1996)

ตาราง 5 Effect of heating on trypsin inhibitor activity (TIA)

Type of Full-fat soybean	TIA (mg/g sample)	% Destroy
Raw	55.4	-
Steam heated, 5 min[1]	13.2	76.2
Steam heated, 10 min	10.3	81.4
Steam heated, 15 min	4.5	91.9
Dry heated, 20 min[2]	49.0	13.1
Dry heated, 30 min	45.4	18.1
Dry heated, 40 min	39.6	28.5
Extruder	3.1	94.4

ที่มา : สุชน และ คณะ (2536)

1.2.1. Autoclave เป็นการนึ่งด้วยไอน้ำ ภายใต้สภาพความดันสูง ส่วนใหญ่ใช้ในห้องทดลอง (Monari *et al*., 1996 อ้างโดย Mateos *et al*., No date) ซึ่งมีการประยุกต์ในรูปแบบต่างๆ กัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เช่น การนำเมล็ดถั่วไปบดให้มีขนาดต่างกัน (milling size) หรือใช้เวลา, ความดัน และความหนาของชั้นถั่วเหลืองที่นึ่งต่างกัน

Kaankuka *et al.* (1990) ได้รายงานว่าการ autoclave ที่อุณหภูมิ 121°ซ นาน 12 นาทีได้ค่า urease activity 0.6 pH, trypsin inhibitors 14.2 mg/g, protein solubility 75.9% และconversion index 1.56 Herkelman *et al.* (1991) ได้นำถั่วเหลืองมาบดให้มีขนาด 5 มม. แล้วนำไป autoclave ที่อุณหภูมิ 121°ซ ความหนาของชั้นถั่วเหลือง 25 มม. ระยะเวลา 30 นาที จะได้ผลดีที่สุดคือ มีค่า urease activity < 0.20 pH และ trypsin inhibitors < 5 mg/g ดังตาราง 6 แต่เมื่อนำไปผสมในสูตรอาหารไก่ที่ระดับ 37% พบว่าถั่วที่ผ่านการ autoclave เป็นเวลา 40 นาที ให้ผลดีที่สุด

Anderson-Hafermann *et al.* (1992) รายงานว่าการทำ autoclave ที่ อุณหภูมิ 121°ซ ความดัน 124 kPa ที่เวลาเพิ่มขึ้นทุก 3 นาที จนถึง 18 นาที ค่าของ urease activity และ trypsin inhibitor จะลดลงอย่างเป็นเส้นตรง และที่ เวลา 15 นาทีจะทำให้ไก่มีสมรรถภาพการผลิตใกล้เคียงกับกากถั่วเหลือง Yin *et al.* (1993) ได้ใช้อุณหภูมิ 125 °ซ ความดัน 0.1 MPa เวลา 5 นาที ทำให้ trypsin inhibitor ลดจาก 20 เหลือ 2.1 mg/g และการใช้เวลา 25 นาที จะทำให้สารยับยั้งดังกล่าวลดลงเหลือ 1.5 mg/g แต่จะทำให้การใช้ประโยชน์ได้ของไลซีนลดลง Herkelman *et al.* (1991) แนะนำว่า การใช้อุณหภูมิ 121°ซ นาน 30 -40 นาที จะทำให้สมรรถภาพการผลิตของไก่ดีที่สุด

Table 6 Influence of autoclaving at 121°C on the *in vitro* quality of soybeans

Time (min)	Urease activity (pH)	Trypsin inhibitors (mg/g)	Protein solubility (0.2% KOH) (%)
0	2.13	24.0	75
10	1.70	11.5	58
20	0.80	6.4	56
30	0.15	3.1	49
40	0.05	1.6	50
60	0.01	1.4	40
90	0	1.3	35

ที่มา: Herhelman *et al.* (1991)

1.2. 2. Hydrothermal reactor ภาชนะที่จะใส่ถั่วเหลืองจะต้องทนแรงดันสูงได้ และมีขนาดใหญ่ มีความจุมาก (4 – 25 ตัน/ชั่วโมง) ยังประกอบด้วย cooking reactor, expansion system และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

drier/cooler กระบวนการเริ่มจาก การทำความสะอาดเมล็ดถั่วแล้วตัดด้วย grooved breaking mill ออกเป็น 1/3 ของเมล็ด สำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง และ 8/12 ของเมล็ด ในสัตว์กระเพาะเดี่ยว โดยร่อนผ่านตะแกรงขนาด น้อยกว่าหรือเท่ากับ 4 มม. จากนั้นผ่านไอน้ำที่มีอุณหภูมิ 170 °ซ จนเปียกและถั่วมีอุณหภูมิ 48 ± 2 °ซ แล้วนำส่วนผสมไปผ่าน vertical hydrothermal reactor ซึ่งมีจำนวน 4 ชุดหรือมากกว่า โดยชุดแรกมีอุณหภูมิ 90 ± 3 °ซ ชุดที่ 2 มีอุณหภูมิ 95 – 100 ± 3°ซ ชุดที่ 3และ4 มีอุณหภูมิ 90 - 95 °ซ และ 85 – 90 °ซ ตามลำดับ ซึ่งในกระบวนการให้ความร้อนนี้จะใช้เวลา 45 นาที ถั่วเหลืองที่ได้จะมีความชื้น 25% จากนั้นนำไปผ่าน high-pressure expander (> 25 bar) ที่อุณหภูมิ 105 – 110 °ซ นาน 5 วินาที โดยไม่มีการใช้ไอน้ำ ซึ่งจะทำให้ความชื้นลดลงเหลือ 17% จากนั้นผ่านเข่าสู่กระบวนการทำให้แห้งที่ 145 °ซ แล้วทำให้เย็นโดยความชื้นจะลดลงเหลือ 9 – 11% (Frank, 1988)

2. Roasting

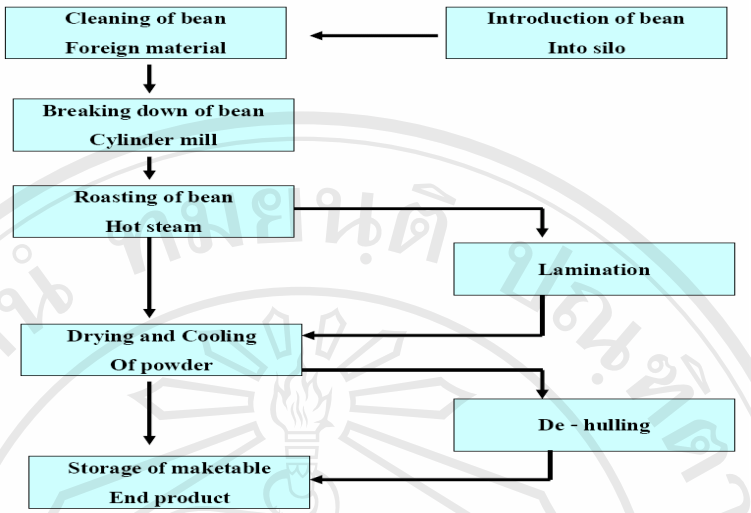
การอบเป็นการให้ความร้อนคล้ายกับการตากเมล็ดพืช ซึ่งอาจอบด้วยถ่านไม้ หรือใช้แหล่งเชื้อเพลิงอื่นก็ได้ โดยมีอุณหภูมิผันแปรอยู่ระหว่าง 110 – 170°ซ ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ที่ใช้ (Katic *et al*., 1996) การอบถั่วเหลืองที่ทำเป็นการค้าจะใช้ระยะเวลาอบประมาณ 20 นาที (Lessire *et al*., 1988 อ้างโดย Mateos *et al*., No date) อุณหภูมิของถั่วที่ออกมาจะต้องมีค่า 110-113 °ซ สำหรับสัตว์กระเพาะเดี่ยว และ 116 °ซ สำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง ซึ่งจะสามารถเพิ่มโปรตีนไหลผ่านเพราะไม่ถูกย่อยในรูเมน (Thomason, 1987) ในกระบวนการนี้จะลดความชื้นลงจากเดิม 30% และเนื่องจากโครงสร้างของเซลล์ยังไม่ถูกทำลายน้ำมันจึงยังอยู่ในเมล็ดถั่ว ก่อนการนำไปใช้ต้องนำไปบดเสียก่อน

ในระบบ roasting ทำได้หลายแบบ คือแบบใช้ rotating drum, fluidized bed model, cascade roasting, jet-sploding, micronizing และ microwave treatments ซึ่งแต่ละวิธีมีการประยุกต์ใช้ความร้อนที่แตกต่างกันคือเป็นแบบแห้ง หรือ มีความชื้นก็ได้

Moura *et al*. (1991 อ้างโดย Mateos *et al*., No date) ได้รายงานว่าการทำการอบในถั่วเหลืองแบบใช้ความร้อนชื้นที่อุณหภูมิ 115 °ซ นาน 30 นาที จะให้ผลตอบสนองดีที่สุดในสุกรที่มีน้ำหนักตัว 29 กิโลกรัม และ Qin *et al*. (1996) รายงานว่าการใช้ถั่วเหลืองอบที่อุณหภูมิ 102°ซ นาน 40 นาทีในอาหารสุกรเล็กให้ผลตอบสนองเช่น เดียวกับการอบที่ 134°ซ นาน 90 วินาที จะเห็นได้ว่าการใช้ความร้อนสูงขึ้นต้องใช้เวลาที่สั้นลง

ในการผลิตอาหารสัตว์ในประเทศเนเธอแลนด์ และสหรัฐอเมริกาส่วนใหญ่จะใช้พลังงานความร้อนจากน้ำมันเชื้อเพลิง หรือ แก๊สและจะประยุกต์ใช้ไอน้ำแทนแบบแห้ง (Waaijenberg, 1987 และ 1996) ซึ่งทำให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพ ลดค่าใช้จ่ายของการใช้พลังงานลงและสามารถทำได้ในปริมาณที่มากขึ้น ซึ่งมีขั้นตอนการผลิต ดังภาพ 1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 1 Soybean roasting diagram (Waaijenberg, 1996)

ขั้นตอนการผลิตเริ่มจากการทำความสะอาดเมล็ดถั่วเหลืองแล้วบดด้วย cylinder mill แล้วนำไปผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 110 – 130°ซ นาน 30 นาที (Lessire *et al*., 1988 อ้างโดย Mateos *et al*., No date) บางครั้งอาจมีการบดเมล็ดถั่วให้ละเอียด เพื่อเพิ่มการใช้ประโยชน์ได้ของน้ำมัน หรืออาจมีการกระเทาะเปลือกก่อนในกรณีที่จะนำไปใช้กับสัตว์กระเพาะเดี่ยว

2 . 1. Rotating drum เป็นการให้ถั่วได้รับความร้อนโดยตรงหรือผ่านไอน้ำ (Bates, 1994) การใช้ความร้อนโดยตรงทำโดยให้ถั่วเหลืองไหลผ่านลูกกลิ้งร้อนที่หมุนอยู่เป็นระยะเวลา 2 – 5 นาที ถั่วเหลืองที่ออกมาต้องมีอุณหภูมิ 110 – 130 °ซ (Marty and Chavez, 1993)

OrdÓñez and Palencia (1998 อ้างโดย Mateos et al., No date) รายงานว่า การทำ dry roasting ที่อุณหภูมิ 113 °ซ จะทำให้ค่า trypsin inhibitor ลดเหลือ 8850 units/g ซึ่งต่ำกว่าระดับที่แนะนำ 5000 units/g แต่เมื่อนำไปเลี้ยงไก่เนื้อเป็นระยะเวลา 42 วัน เปรียบเทียบกับถั่วที่อบ อุณหภูมิ 120, 130, 135 และ150 °ซ พบว่าไก่มีน้ำหนักตัวต่ำกว่า พวกที่อบอุณหภูมิสูง (1.80^{b} vs 1.97^{a} vs 2.03^{a} vs 1.95^{a} vs 1.94^{a} kg ตามลำดับ) อย่างไรก็ดีผู้วิจัยสรุปว่าควรใช้อุณหภูมิในการอบถั่ว ไม่เกิน 130 °ซ นาน 6.5 นาที

2. 2. Fluidized bed roasterในระบบ fluidized bed roaster จะมีการประยุกต์ในเรื่องของเวลา และอุณหภูมิของ superheated และ pressure air ไหลผ่านถั่วเหลือง โดยในระบบจะใช้ air beds, silica, salt หรือ วัตถุอื่นที่จะนำความร้อนไปสัมผัสกับถั่วเหลือง ซึ่งจะใช้ความร้อนจากเปลวไฟให้ความร้อนกับอากาศที่อยู่เหนือ conveyor unit โดย superheated air จะถ่ายความร้อนให้กับถั่วเหลืองที่เคลื่อนที่โดยสายพานลำเลียงและอากาศร้อนจะไหลวนกลับไปใหม่ (Ferket and Jones, 1992; Barbi, 1996)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ข้อแตกต่างของวิธีนี้กับ rotating drum คือเปลวไฟไม่ได้สัมผัสกับถั่วเหลืองโดยตรง และใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 6 °ซ เพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลผลิต (Bates, 1994) และวิธีนี้ถั่วร้อนที่ออกมาจะถูกพักเป็นเวลา 20 นาที ในสัตว์ปีกจะใช้อุณหภูมิ 110 – 125 °ซ ในสัตว์เคี้ยวเอื้องใช้อุณหภูมิ 140 – 150 °ซ

Osell *et al.* (1997) กล่าวว่าการเพิ่มความชื้นให้กับเมล็ดถั่วเหลืองจาก 17.5% เป็น 23.5% แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 120 -140 °ซ สามารถทำลายสารยับยั้งทริปซินได้ดี และการใช้ประโยชน์ได้ของทริปซินไม่ลดลง

Ferket and Jones (1992) กล่าวว่า การใช้ หัวฉีดอากาศร้อนที่ 150 ± 5 °ซ เข้าไปใน chamber ที่อยู่ส่วนล่างด้วยแรงดันสูงจะทำให้อากาศร้อนผ่านออกไปตามรูเล็กๆด้านบนของ chamber เข้าไปในห้องอบถั่วเหลือง โดยเมล็ดถั่วเหลืองที่บดแล้วจะเคลื่อนที่ผ่านอากาศร้อนที่หมุนเวียนอยู่ในห้องอบ เมล็ดถั่วจะไม่สัมผัสโดยตรงกับแหล่งของความร้อนและความร้อนจะซึมเข้าไปในเมล็ดถั่วเหลืองอย่างรวดเร็ว มีความสม่ำเสมอสูงกว่าวิธีการอบแบบอื่นๆ และ Bates (1991) ได้ใช้ถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการ fluidized bed roaster เป็นส่วนผสมในสูตรอาหารไก่เนื้อพบว่าสมรรถภาพการผลิตไม่แตกต่างจากการใช้ ถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการ extruded ดังตาราง 7

Table 7 Influence of the treatment of soybean on the productivity of broiler at 35 days

Type of soybean	Live weight (g)	Weight gain (g/d)	Conversion index (g/g)
Soybean meal+oil	1476	42.2	1.72
Roasted bean[1]	1498	42.5	1.61
Bean, dry extrusion	1481	42.3	1.61
Bean, moist extrusion	1468	42.1	1.61

[1] Fluidized bed, $P > 0.05$ for all parameters studied.

ที่มา: Bates (1991)

2. 3. Jet – sploding เป็นการให้ความร้อนแบบแห้งโดยถั่วจะถูกส่งผ่าน stream air ที่อุณหภูมิ 140°C ถึง 315°C ก่อนนำไปอบ จนทำให้อุณหภูมิภายในเมล็ดถั่วสูงถึง 90 -95 °ซ (De Schutter and Morris, 1990) เมล็ดถั่วจะบวมและแตกออก (pop) ซึ่งระยะเวลาในการเกิด pop ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ให้ Thomason (1987) รายงานว่าที่อุณหภูมิ 316 °ซ ใช้เวลา 26 วินาที ถ้าใช้อุณหภูมิต่ำอาจใช้เวลานานถึง 60 – 80 วินาที โดยเมล็ดถั่วที่ออกมาจะต้องมีอุณหภูมิ 150 – 165 °ซ แล้วนำเมล็ดถั่วไปบดด้วย cylinder mill ซึ่งจะทำให้ไขมันออกจากเซลล์ (Marty and Chavez, 1993)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2. 4. Micronizing เป็นการให้ความร้อนแบบแห้งโดยใช้ radiating heat เมื่อ ceramic plates มีความร้อนถึงจุดหนึ่งจะปล่อยรังสี infrared ออกมาซึ่งมีความถี่สูงกว่า microwave (700- 1200 MHz) มีผลทำให้อุณหภูมิภายในเมล็ดถั่วเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและระเหยน้ำออกมา เมล็ดถั่วจะนุ่ม พองตัวทำเซลล์แตกและทำลายสารยับยั้งโภชนะได้ (Murry, 1987 ; Fellows, 1988)

ส่วนประกอบที่สำคัญของ micronization unit คือ ส่วนที่ทำให้นุ่ม (maceration), supply silos , ชุด gas burners, ceramic plates, สายพานลำเลียงและ grooved cylinders สำหรับบดถั่วและทำให้เย็น โดยในกระบวนการจะเริ่มจากการนำถั่วไปแช่น้ำนาน 24 – 36 ชั่วโมง จนมีความชื้น 18 – 19% นำเข้าตู้อบ ให้มีอุณหภูมิที่ผิว 140 °ซ จากนั้นให้เคลื่อนที่ไปแบบ spinning motion จาก supply silo ไปถึง cylinders โดยให้ได้รับ infrared heat นาน 50 – 90 วินาที (Murray, 1987 ; Fellows, 1988) แล้วนำมาเก็บในถังเก็บ นาน 10 - 30 นาที ก่อนผ่านเข้าสู่กระบวนการทำให้เย็น (Murray, 1996)

Faber and Zimmerman (1973) รายงานว่าการใช้ถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการ micronization เป็นเวลา 3 นาที มีอุณหภูมิที่ออกมา 115 – 127 °ซ มีการย่อยได้ของโปรตีนและมีระดับพลังงานที่ศึกษาในลูกสุกรต่ำกว่าการ extrusion ที่อุณหภูมิ 138 °ซ สอดคล้องกับ Marty *et al.* (1994) ที่ได้รายงานว่าการใช้ถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการ micronization นาน 90 วินาที ลูกสุกรมีอัตราการเจริญเติบโตและอัตราแลกน้ำหนักใกล้เคียงกับการ roasted (575 vs 565 g/d และ 2.63 vs 2.71) แต่ต่ำกว่า การใช้กากถั่วเหลืองและการ extruded (640 และ 640 g/d และ 2.28 และ 2.35)

Kouzeh-Kanani *et al.* (1981) กล่าวว่าการใช้ถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการ micronization ที่อุณหภูมิ 133 °ซ นาน 80 วินาที แล้วนำมาเก็บในถังเก็บนาน 15 นาทีมีค่าการใช้ประโยชน์ได้ของไลซีนสูงกว่าที่ 25 นาที (2.3 vs1.92 % DM) ซึ่งทางการค้ามักใช้อุณหภูมิ 124 °ซ นาน 60 วินาที เก็บในถังเก็บนาน 15 นาที เพื่อลดค่าใช้จ่าย แต่ยังสามารถทำลาย lipoxygenase และยังคงรักษาระดับของ oil peroxides ได้ต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 133 °ซ นาน 80 วินาที และเก็บในถังเก็บนาน 15 นาที (2 vs 18)

Murray (1996) รายงานว่า การใช้ถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการ micronization ทำให้ไก่เนื้อมีน้ำหนักตัว และอัตราแลกน้ำหนักไม่แตกต่างจากกากถั่วเหลืองทางการค้า (2.26 vs 2.25 kg และ 1.85 vs 1.88)

2. 5. Microwave เป็นการใช้คลื่นที่มีความยาวระหว่าง 0.1 และ 100 cmW/cm^3 และมีความถี่ระหว่าง 950 – 2450 MHz โดยคลื่นจะถูกดูดซับด้วยน้ำและขั้วของโมเลกุลภายในเมล็ดถั่ว ทำให้เกิดแรงต้านและมีความร้อนสูงขึ้น (Clarke and Wiseman, 2000)

Hafez *et al.* (1983) รายงานว่าการใช้ถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการ microwave เป็นเวลานาน 9 นาที เมื่อนำมาเลี้ยงไก่จะให้ผลดีที่สุด ถ้าใช้เวลานานกว่านั้นจะเกิด Maillard reaction ส่วนYoshida and Kajimoto (1988) แสดงให้เห็นว่าการใช้คลื่นที่มีความยาว 2,450 MHz เป็นเวลา 4 นาที ที่ความชื้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

24% สามารถทำลายสารยับยั้งการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ และแนะนำว่าในสัตว์กระเพาะเดี่ยวควรใช้เวลา 6 – 7 นาที และถั่วควรมีความชื้น 25 – 30%

Xain and Farrell (1991) รายงานว่าการใช้ถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการ microwaves และ dry-extrusion ในหนู rat ให้ผลตอบสนองดีกว่าถั่วเหลืองดิบ ในขณะที่ Lessire *et al*. (1988 อ้างโดย Mateos *et al*., No date) รายงานว่าถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการ microwaves จะมีพลังงานใช้ประโยชน์ได้ในนกต่ำกว่าวิธี dry – extrusion แต่มากกว่าถั่วเหลืองดิบ (3,883 vs 4,125 vs 3,620 kcal/kg)

3. Extrusion and expander

3. 1. Extrusion เป็นการใช้อุณหภูมิสูง 140 – 170 °ซ ระยะเวลาสั้นประมาณ 90 วินาที โดยถั่วที่ผ่านการบดแล้วจะถูกส่งผ่านเข้าไปในกระบอกที่มี แหวนกรองที่ใช้ในการปรับแรงดันและอุณหภูมิ

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการ extrusion มีดังนี้(Serano and Villalbi, 1999 อ้างโดย Mateos *et al*., No date)

1. ขนาดเริ่มต้นของถั่ว
2. ความเร็ว และ ระยะเวลาในการให้ความร้อนของ extruder unit
3. การให้ความชื้นตอนเริ่มแรก และระดับของอุณหภูมิ
4. ระยะเวลา เปอร์เซ็นต์ความชื้นที่เพิ่มให้ และอุณหภูมิขณะเข้าสู่ extruder unit
5. ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของ worm gear และ blots
6. ขนาด รูปร่างของตะแกรงทางออกของ extruder unit
7. ระยะเวลา อุณหภูมิ และความเร็วของอากาศในการทำให้แห้ง

Extruder มี 2 รูปแบบ ซึ่งมีจุดเด่นและด้อยแตกต่างกัน คือ

1. Dry extruder พัฒนาขึ้นมาในปี คศ. 1960 ถั่วที่ผ่านการบดจะถูกส่งเข้าไปในท่อทรงกระบอก (barrel) ที่มีผนังหนาเนื่องจากพลังการขับของ worm gear มีแรงดันสูงถึง 35 – 40 atm และมีความร้อนเกิดขึ้นจากการเสียดสีของถั่วกับผนังของท่อ (cylinder heats) ทำให้ช่วยฆ่าเชื้อผลผลิตที่ได้ ระยะเวลาในการให้ถั่วได้รับความร้อนที่ 120 – 165 °ซ นาน 20 -30 วินาที (Perilla *et al*., 1997; Wijeratne, 2000) ข้อเสียของวิธีนี้คือแรงเสียดสีอาจทำให้เกิดอุณหภูมิสูงกว่ากำหนดเป็นผลให้การใช้ประโยชน์ได้ของไลซีนลดลง ข้อดีคือราคาถูกกว่า moisture extruder และเกษตรกรสามารถทำได้ในฟาร์ม (Wijeratne, 2000)

2. Moist extruder ถั่วเหลืองจะถูกคัดกรองและทำความสะอาดเอาเศษวัสดุออก และผ่านเข้าสู่ precondition unit , supply unit, hollow tube ที่ประกอบด้วย blots และหัวฉีดไอน้ำร้อนรวมทั้งเพลาอาจมีหนึ่ง หรือ หลายตัวก็ได้ขับด้วย มอเตอร์จากนั้นจะผ่านเข้าไปยังส่วนที่ทำให้แห้ง และเย็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขั้นตอนการทำงานเริ่มจากทำความสะอาดเมล็ดถั่วเหลืองแล้วบดให้ละเอียดขนาด 1 มม. ส่งเข้า precondition unit ซึ่งจะมีการเพิ่มไอน้ำเข้าไปทำให้ส่วนผสมมีความชื้น 24 – 28% อุณหภูมิ 80 – 90 °ซ แล้วส่งเข้า extruder ด้วยแรงดัน 30 atm ซึ่งน้ำไม่สามารถระเหยออกมาได้เมื่ออุณหภูมิสูงถึงกำหนด หลังจากออกมาจาก extruder แล้วแรงดันจะลดลงอย่างรวดเร็วและมีการระเหยของน้ำอย่างรวดเร็วด้วยน้ำมันที่ออกมาจากเซลล์ของถั่วจะถูกดูดกลับเข้าไปในถั่วที่เย็นแล้วผ่านเข้าสู่กระบวนการทำให้แห้งนาน 14 นาที ความชื้นจะลดลงเหลือ 14 – 16% ก่อนถูกส่งเข้าไปในส่วนที่ทำให้เย็นตามแนวตั้งจนเหลือความชื้น 10 – 12%

Myer and Froseth (1987) รายงานว่าถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการ moist extrusion โดยการเติมน้ำ 2 – 8% ที่อุณหภูมิ 135°ซ นาน 16 วินาทีสามารถลดสารยับยั้งการใช้ประโยชน์ของโภชนะได้มากกว่าแบบแห้ง (เหลือ 3 vs 26 units/mg protein)

Leeson and Atteh (1996) ได้เปรียบเทียบการ extrude ถั่วเหลืองทั้งเมล็ด และถั่วเหลืองบดโดยใช้อุณหภูมิ 100 °ซ ทียบกับ 140 °ซ พบว่าที่อุณหภูมิ 100°ซ สามารถลดสารยับยั้งทริปซินเหลือ 14.8 mg/g (จาก 58.7 mg/g ในถั่วเหลืองดิบ) ในขณะที่ 140°ซ มีค่าเท่ากับ 8.4 mg/g ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันในถั่วทั้งเมล็ด และถั่วเหลืองบด การเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นจาก 80°ซ เป็น 100, 120 และ 140 °ซ ทำให้พลังงานใช้ประโยชน์ได้ในไก่เนื้อสูงขึ้นจาก 3156 เป็น 3190, 3203 และ 3226 kcal/kg ตามลำดับ สอดคล้องกับ Perilla *et al.*(1997). ที่ได้รายงานว่าการใช้ wet - extrusion ที่อุณหภูมิ 122, 126 และ 140 °ซ นาน 20 วินาที จะสามารถทำลายสารยับยั้งทริปซินได้มากและมีผลทำให้สมรรถภาพผลิตของไก่เนื้อเทียบเท่ากับการใช้กากถั่วเหลือง ดังตาราง 8

3. 2. Expansion เป็นกระบวนการที่ใช้ความดัน และไอน้ำร้อน การออกแบบ Expanders คล้ายกับ extruders วิธีนี้ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันมานาน สามารถให้ผลผลิตน้ำมันสูงและลดการปนเปื้อนจาก hexane ได้ดี (Pipa and Frank, 1989) จุดอ่อนอยู่ที่ผลผลิตที่ได้จากวิธีการนี้มีพลังงานต่ำกว่าวิธีอื่น

Expanders ประกอบด้วย แหล่งพลังงาน, precondition unit, hollow tube ที่ประกอบด้วย screws และ หัวฉีดไอน้ำ, hydraulic system ควบคุมระดับแรงดันและ เพลาของ expander ที่ขับด้วยมอเตอร์

ขั้นตอนการทำงานเริ่มที่ ถั่วเหลืองบดจะถูกส่งเข้าสู่ precondition unit จากนั้นเคลื่อนตัวผ่าน cylinder power ด้วย worm gear แล้วถูกส่งเข้าไปใน supporting unit ที่มีความดันสูง ทำให้เกิดการเสียดสีร่วมกับไอน้ำร้อนที่ใส่เข้าไปทำให้มีอุณหภูมิสูงถึง 100 – 125°ซ นาน 5 – 10 วินาที จากนั้นถูกส่งเข้าสู่ ที่เก็บซึ่งจะทำให้มีการระเหยของน้ำอย่างรวดเร็ว และอุณหภูมิของถั่วลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เหลือ 90 °ซ แล้วส่งไปทำให้แห้งด้วย horizontal dried/cooler นาน 10 นาที อุณหภูมิจะลดลงมาที่อุณหภูมิห้อง

Navarro *et al.* (2001 อ้างโดย Mateos et al., No date) รายงานว่าการใช้ expanded bean ที่มีค่า urease activity 0.06 pH , trypsin inhibitor 3.6 mg/g ในอาหารไก่เนื้อระดับ 20% ทำให้ไก่มีน้ำหนักตัวและอัตราแลกน้ำหนักไม่แตกต่างจากการใช้กากถั่วเหลือง (2.621 vs 2.617 kg และ 1.938 vs 1.988 ตามลำดับ)

Table 8 *In vitro* analysis of wet - extruded full-fat soybeans and soybean meal, and comparison on broiler performance

Treatment °C	Moisture (%)	Urease activity (pH unit)	Trypsin inhibitor activity (TI units/g)	Body weight gain 8-42 d (g)	FCR
Raw	8.39	1.99	50800	1.502[c]	2.53
118	8.01	1.69	29400	1.890[b]	1.91
120	7.97	1.11	26000	1.897[b]	1.87
122	7.91	0.07	17700	2.056[a]	1.71
126	8.15	0.08	12200	2.067[a]	1.73
140	7.97	0.03	4700	1.987[a]	1.71
SBM	10.45	0.08	3000	2.028[a]	1.65

ที่มา : Perilla *et al.*(1997)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

กระถิน (Leucaena)

ลักษณะทั่วไปของกระถิน

วงศ์ (Family) : Leguminosae

Sub-family : Mimosoideae

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Leucaena leucocephala*

กระถินมีถิ่นกำเนิดในอเมริกากลางแล้วแพร่ไปยังเอเชียและประเทศในเขตร้อนเมื่อสเปนมาปกครองฟิลิปปินส์ ในปี ค.ศ. 1565 – 1825 กระถินมี 2 พันธุ์หลักคือ

1. พันธุ์พื้นเมือง (common type) เดิมเรียกว่าพันธุ์ฮาวาย มีลำต้นเล็ก สูงประมาณ 5 เมตร ออกดอกเร็ว มีเมล็ดมาก แพร่พันธุ์ได้เร็ว จนกลายเป็นวัชพืช ในประเทศไทยพบโดยทั่วไป

2. กระถินยักษ์ (giant type) ซึ่งเกิดจากการนำกระถินในสกุลเดียวกันมาผสมพันธุ์กันได้พันธุ์ที่มีลำต้นใหญ่ให้ผลผลิตสูง ทนต่อการทำลายของแมลงและสภาพแวดล้อมที่แห้งแล้ง หนาวเย็น กระถินยักษ์ที่พบทั่วไปมี 2 สายพันธุ์ คือ ก) สายพันธุ์ Salvador สูงประมาณ 20 เมตร มีกิ่งก้านน้อย โตเร็ว ให้ผลผลิตใบ และลำต้นสูง ข) สายพันธุ์ Peru สูงประมาณ 15 เมตร แตกกิ่งก้านมากตั้งแต่โคนต้น

เมล็ดของกระถินจะมีผิวเปลือกหุ้มแข็งและมีส่วนของ wax เคลือบอยู่ทำให้น้ำซึมเข้าไปได้ยาก เป็นผลให้การงอกของเมล็ดต้องอาศัยระยะเวลานาน การปลูกกระถินด้วยเมล็ดจึงต้องนำเมล็ดไปลวกด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80°ซ ประมาณ 2 – 3 นาที เสียก่อน

กระถินมีระบบรากผิวดินซึ่งมีปมจำนวนมากช่วยในการตรึงไนโตรเจน หาอาหาร อากาศ และมีระบบรากแก้วที่สามารถหยั่งลึกได้ถึง 5 – 10 เมตร จึงทำให้สามารถทนแล้งได้ดี (ฉรงค์, 2523)

ผลผลิตกระถินส่วนของใบและกิ่งก้านมีประมาณ 1 - 3 ตัน/ไร่ ในขณะที่ อัลฟัลฟ่า ให้ผลผลิตประมาณ 1.3 – 1.5 ตัน/ไร่ (Anon, 1984) การตัดกระถินช่วงฤดูฝนที่ความสูง 50 เซนติเมตร โดยมีความถี่ในการตัดทุก ๆ 6 - 8 สัปดาห์ จะได้ผลผลิตส่วนที่เป็นอาหารสัตว์สูงสุด 1.13 ตัน/ไร่ (เฉลิมพล, 2526)

คุณค่าทางโภชนะของใบกระถิน

กระถินเป็นพืชอาหารสัตว์ที่ให้โปรตีนสูงและเจริญเติบโตดี โดยใบมีโปรตีนใกล้เคียงกับอัลฟัลฟ่า (25.9 vs 26.9%, D. Mello and Taplin, 1978) และมีกรดอะมิโนต่าง ๆ ใกล้เคียงทั้งกับอัลฟัลฟ่าและกากถั่วเหลือง ดังตาราง 9 อย่างไรก็ดีพบว่า ไลซีนและเมทไธโอนีนในใบกระถินมีน้อยกว่าปลาป่นเกือบ 2 เท่าตัว ซึ่งส่วนประกอบทางเคมีและคุณค่าทางอาหารของกระถินจะแปรผันตามสัดส่วนของใบกับกิ่งก้านหรือฝัก และอายุ Islam *et al*. (1995) รายงานว่ากระถินส่วนของใบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ยอดอ่อน ลำต้น เมล็ด ฝักอ่อน และ ฝักแก่ มีโปรตีน 23.5, 36.4, 21.3, 31.30, 25.70, และ 6.00% ตามลำดับ ดังตาราง 10

Table 9 Composition of leucaena leaf meal compared with sun-dried alfalfa and extracted soybean meal

Composition	Leucaena leaf meal	Sun-dried alfalfa	Soybean meal
Crude protein (%)	25.90	25.73	51.25
Ether extract (%)	2.64	2.25	1.01
Crude fiber (%)	11.88	31.46	6.74
Ash (%)	11.05	-	6.50
Gross energy (MJ/kg DM)	20.10	-	19.10
Amino acid composition (g/16g N)			
Aspartic acid	8.71	13.00	9.80
Threonine	3.79	4.50	4.11
Serine	3.92	4.30	6.01
Glutamic acid	10.13	9.20	19.50
Glycine	4.63	5.00	7.50
Alanine	4.25	5.50	3.91
Valine	4.08	5.20	5.35
Cystine	0.67	1.70	1.47
Methionine	1.33	1.20	1.57
Isoleucine	7.21	3.20	4.81
Leucine	7.67	6.10	7.21
Tyrosine	3.71	2.20	3.35
Phenylalanine	4.00	4.60	4.55
Lysine	5.58	4.50	6.71
Histidine	1.79	1.20	2.15
Arginine	5.58	3.80	7.50
Tryptophan	-	2.00	1.30

ที่มา: D'Mello and Taplin (1978)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

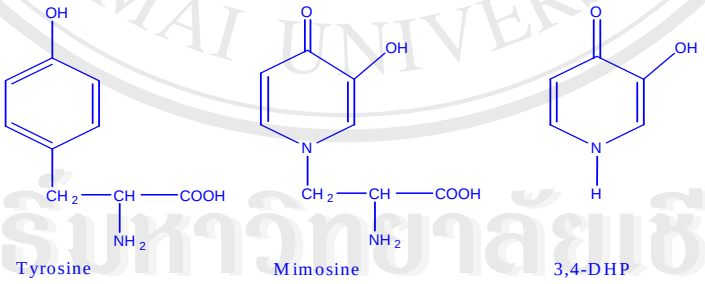
Table 10 Proximate composition, tannin and mimosine content in different parts of *Leucaena leucocephala* (Peru Type) (%DM)

	DM	CP	CF	EE	Ash	NFE	Tannin	Mimosine
	%	..... % DM						
Leaves	32.90	23.50	8.80	7.00	10.70	50.10	2.70	3.10
Young shoots	25.40	36.40	5.50	2.40	4.80	51.20	1.50	8.10
Stems	32.90	21.30	29.60	1.20	9.30	52.70	1.10	2.10
Seeds	96.00	31.30	13.90	4.20	31.10	46.50	0.10	4.40
Green pods	28.20	25.70	33.40	2.50	8.70	40.80	1.40	3.40
Dry pods	91.40	6.00	35.60	1.30	4.90	52.30	2.50	0.30

ที่มา: Islam *et al.* (1995)

ข้อจำกัดของการใช้ใบกระถินเป็นอาหารสัตว์

เนื่องจากกระถินสามารถสังเคราะห์สารพิษ mimosine (ß-N-(3-hydroxy-4-pyridone)-œ-amino propionic acid) จากกรดอะมิโนไลซีนได้ (Hylin, 1964) โดยอาศัย L-mimosine synthase ซึ่งทำงานได้ดีที่ pH 7.8 (Murakoshi *et al.*, 1984) และเนื่องจากมิโมซีนมีโครงสร้างคล้ายกรดอะมิโนไทโรซีน จึงเป็นสารแข่งขันกับไทโรซีนในการสร้างโปรตีน ดังภาพ 2



ภาพ 2 โครงสร้างของ Tyrosine, Mimosine และ 3, 4 – DHP

ใบกระถินมีมิโมซีนประมาณ 3 – 5% ของน้ำหนักแห้ง ในใบอ่อนจะมีสารนี้มากกว่าใบแก่ประมาณ 3 เท่า นอกจากนี้ยังมี procyanidines ซึ่งจะจับกับโปรตีนทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่ย่อยไม่ได้ อีกทั้งยังมีสารยับยั้งเอนไซม์ proteases และ galactomannan gum ซึ่งมีผลในการลดสมรรถภาพการผลิตด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

พิษของมิโมซีนในสัตว์กระเพาะเดี่ยวคือ ทำให้สัตว์กินอาหารลดลง โตช้า น้ำลายไหลมาก ต่อมไธรอยด์ขยายใหญ่ มีอาการทางประสาท มีปัญหาของระบบสืบพันธุ์ อีกทั้งยังเกิดอาการขนร่วงเพราะมิโมซีนไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Cystathionine synthetase และ Cystathionase ทำให้เมทไธโอนีนเปลี่ยนเป็นซีสเตอีนไม่ได้ จึงเป็นสาเหตุทำให้ขนร่วงและขนไม่งอก มีรายงานว่าสารสกัดมิโมซีนไปทำลายเซลล์ที่เชื่อมระหว่าง hair follicle ของหนู จึงทำให้สารอาหารส่งไปไม่ถึง hair follicle เป็นเหตุให้ขนร่วง นอกจากนี้ยังทำให้การย่อยอาหารและการเก็บกักไนโตรเจนลดลง หงอนและอัณฑะของไก่โตไม่เต็มที่ และในกรณีที่ได้รับสารพิษมากอาจทำให้สัตว์ถึงตายได้ (Norton, 1994)

มิโมซีนสามารถเปลี่ยนเป็น 3,4-dihydroxypyridine (DHP) ได้โดยจุลินทรีย์ในรูเมน ซึ่งสาร DHP นี้จะทำหน้าที่คล้าย goitrogen คือ ไปยับยั้งการสร้างฮอร์โมน Thyroxin เป็นเหตุให้ต่อม Thyroid ขยายใหญ่ สัตว์กินอาหารน้อยลง มีการเจริญเติบโตลดลงและขนร่วง (สาโรช, 2547)

ในโค – กระบือ และแพะ สามารถทนมิโมซีนได้ไม่เกิน 0.18 g/kgBW ส่วนแกะทนได้น้อยกว่าคือไม่เกิน 0.14 g/kgBW (Kumar and D' Mello, 1995) โดยทั่วไปพบว่า สัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถทนพิษของมิโมซีนได้ดีกว่าสัตว์กระเพาะเดี่ยว ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงแนะนำว่า สามารถใช้ใบกระถินหมักในอาหารของโคนมได้ถึง 50% ของวัตถุแห้งโดยไม่มีผลเสียต่อประสิทธิภาพการผลิตน้ำนม (วรรณา, 2545) ในขณะที่ไก่ไข่รุ่นสาวและระยะให้ไข่สามารถใช้กระถินแห้งได้ไม่เกิน 5% ของสูตรอาหาร (Ravindran and Blair, 1992) และสุกรน้ำหนัก 30 กิโลกรัม ขึ้นไปสามารถใช้ใบกระถินแห้งได้ถึง15% ของสูตรอาหาร โดยไม่ทำให้สมรรถภาพการผลิตลดลง (Ekpenyong, 1990)

การลดปริมาณมิโมซีนในใบกระถินเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์

การลดปริมาณสารพิษมิโมซีนในใบกระถินเพื่อให้สามารถนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ได้อย่างปลอดภัย มีอยู่หลายวิธีซึ่งมีขั้นตอน ความยากง่าย และปริมาณ มิโมซีนที่ลดลงได้แตกต่างกัน ดังรายงานต่างๆ ดังนี้

1. การให้ความร้อนโดยการผึ่งแดดให้แห้งเป็นเวลา 1 - 3 วัน วิธีนี้นิยมทำกันมากเพราะสะดวกและประหยัดแต่พิษยังเหลือประมาณ 60% ไพโชค (2526) พบว่ากระถินที่ตากแห้ง 11 ชั่วโมง สามารถลดพิษมิโมซีนได้ 51.13% ในกระถินยักษ์ และ 33.8% ในกระถินพื้นเมือง

2. การอบที่ 70 °ซ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง สามารถลดพิษได้ 50%

3. การเสริม Ferous sulfate ($FeSO_4$) ลงในอาหารที่ผสมใบกระถินในอัตรา 0.1% หรือนำใบกระถินแห้งไปแช่ในสารละลาย 0.2% $FeSO_4$ เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำมาตากแดดให้แห้งจะสามารถลดพิษมิโมซินได้ 89.82% (สุวรรณา, 2527) ซึ่งสอดคล้องกับ ไพโชค (2526) ที่รายงานว่า การนำใบกระถินยักษ์และพันธุ์พื้นเมืองไปแช่ใน 0.2% $FeSO_4$ เป็นเวลา 15 นาที สามารถลดพิษได้ 88.69%

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

และ 90.79% ตามลำดับ เนื่องจาก $FeSO_4$ จับตัวกับมิโมซีนทำให้เกิดการตกตะกอน ไม่สามารถดูดซึมผ่านผนังลำไส้ได้ (Ross and Springhall, 1993)

Zakayo (1998) ได้เปรียบเทียบใบกระถินที่ตากแห้ง 2 - 3 วัน กับที่แช่น้ำ 12 ชั่วโมง แล้วตากแดดให้แห้ง หรือที่แช่ใน 0.3% $FeSO_4.7H_2O$ นาน 72 ชั่วโมง แล้วทำให้แห้งที่ 50°ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มีค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง (DMD) 69.19, 63.31 และ 69.59% ตามลำดับ

เมื่อนำไปเลี้ยงสุกรโดยผสมในสูตรอาหาร 20% พบว่าใบกระถินที่แช่ใน $FeSO_4$ มีสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซากไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม แต่มีความหนาของไขมันสันหลังที่ตำแหน่ง P_2 บางกว่า (12.00 vs 15.25 มม.) ดังตาราง 11

Table 11 Performance of pigs during the growing and finishing period

Dietary group	Control	Sun-dried LLM	Water-soaked LLM	$FeSO_4$ treated LLM
Growing period				
Initial live weight (kg)	22.88[a]	22.95[a]	22.85[a]	22.93[b]
ADG (kg/d)	0.82[b]	0.59[a]	0.74[c]	0.81[b]
Feed intake (kg/d)	2.06[b]	1.79[a]	1.92[b]	2.09[b]
FCR	2.52[b]	3.04[b]	2.61[a]	2.57[a]
Live weight (on the 6th week)	57.15[b]	48.00[a]	53.90[b]	57.15[b]
Finishing period				
ADG (kg/d)	0.75[a]	-	-	0.78[a]
Feed intake (kg/d)	2.33[a]	-	-	2.35[a]
FCR	3.12[a]	-	-	3.02[a]
Final live weight (kg)	93.30[a]	-	-	96.25[a]
Carcass weight (kg)	64.55[a]	-	-	64.45[a]
Back-fat thickness(p_2) (mm)	15.25[a]	-	-	12.50[b]

Values within a row with varying superscripts are significantly different ($P<0.05$)

ที่มา: ดัดแปลงจาก Zakayo (1998)

4. การแช่น้ำนาน 12 - 24 ชั่วโมง สามารถลดพิษได้ถึง 90% ทำให้สามารถใช้ในอาหารสัตว์ได้ในปริมาณที่มากขึ้น แต่วิธีนี้สารเบต้าแคโรทีนจะถูกทำลายไปมาก สุวรรณา (2527) รายงานว่า การนำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ใบสดสับไปแช่น้ำ 15 นาที แล้วนำไปตากแห้งหรือใช้ใบแห้งแช่น้ำ 15 นาที แล้วตากให้แห้งอีกครั้งจะสามารถลดพิษมิโมซีนได้ 90.08%

5. การทำลายพิษมิโมซีนโดย *Rhizobium sp.* strain TAL1145 ซึ่งมียีน mid A, mid B และ mid C ที่สามารถสังเคราะห์ ABC-transporter protein และยีน mid D ที่สามารถสังเคราะห์เอนไซม์ aminotransferase ที่สามารถเปลี่ยนมิโมซีนไปเป็น 3-hydroxy-4-pyridone (HP) เมื่อเข้าสู่ metal-clevage pathway ยีน pyd A และ pyd B จะสังเคราะห์เอนไซม์ dioxygenase ที่จะมีหน้าที่เปิด ring และเพิ่มออกซิเจนเข้าไป 2 โมเลกุล และเอนไซม์ hydrolase ซึ่งจะเพิ่มน้ำเข้าไป 1 โมเลกุล ทำให้ 3-hydroxy-4-pyridone (HP) เปลี่ยนไปเป็น pyruvate, formate และ ammonia (Awaya *et al*., 2005)

6. การลดพิษมิโมซีนโดยการหมัก Hongo *et al*. (1986) ได้ทำการศึกษาการลดพิษมิโมซีนโดยวิธี silage-dried เปรียบเทียบกับ freeze-dried และ air-dried ได้ค่าของมิโมซีนเท่ากับ 0.19, 1.93 และ 2.61% ตามลำดับ และได้ทำการศึกษาในหนูพบว่ากลุ่มที่ได้รับอัลฟัลฟ่าและกระถินหมัก 20% มีน้ำหนักตัวเพิ่มและปริมาณอาหารที่กินได้สูงกว่ากลุ่มอื่น ซึ่งสอดคล้องกับ บุญล้อมและคณะ (2545) ที่รายงานว่า การหมักกระถินร่วมกับรำ 20% และน้ำ 20% สามารถลดมิโมซีนได้ถึง 92.74% และเมื่อนำไปใช้เลี้ยงโคให้นม พบว่าสามารถใช้ทดแทนอาหารข้นได้ 30 - 60% โดยไม่มีผลเสียต่อสมรรถภาพการผลิต (วรรณา, 2545)

องอาจ, (2548) รายงานว่า การย่อยได้ของวัตถุแห้ง, โปรตีน, เยื่อใย, อินทรียวัตถุ และ NFE ของใบกระถินหมักในสุกรรุ่นที่มีน้ำหนักตัว 34 $\pm$ 1.33 กิโลกรัม โดยใช้ถุงเก็บมูล มีค่าเท่ากับ 64.08, 70.04, 44.78, 67.41,64.88 และ67.43% สุกรกินใบกระถินหมักคิดเป็นวัตถุแห้งเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 10.15 กรัม ต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม มีค่าพลังงานย่อยได้ เท่ากับ 2,692.49 kcal/kg และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ เท่ากับ 2,578.01 kcal/kg

จะเห็นได้ว่า การหมักเป็นวิธีที่สามารถลดมิโมซีนได้มากที่สุด มีกระบวนการที่ไม่ยุ่งยาก และสามารถทำได้ทุกฤดูกาล โดยเฉพาะฤดูฝนที่มีกระถินคุณภาพสูงในปริมาณมาก และยังช่วยให้เก็บรักษาไว้ได้นาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ปอสา (Paper mulberry)

ลักษณะทั่วไปของปอสา

วงศ์ (Family) : Moraceae

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Broussonetia papyrifera* Vent

ปอสาเป็นพืชเส้นใยชนิดหนึ่ง อยู่ในตระกูลเดียวกับหม่อนและขนุน พืชในสกุลปอสามีด้วยกันทั้งสิ้น 9 ชนิด ในประเทศไทยมี 4 ชนิด แต่ที่นิยมใช้เปลือกทำกระดาษสาขณะนี้มีเพียง 2 ชนิด คือ ปอสา (*Broussonetia papyrifera*) และ Kozo (*Broussonetia kazinoki*) ซึ่งนำจากญี่ปุ่นเข้ามาปลูกในประเทศไทยครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2522 จากการศึกษาของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พบว่าปอสาไทยเหมาะสำหรับปลูกในประเทศไทยเพื่อใช้เปลือกในการผลิตกระดาษสามากกว่าปอสาญี่ปุ่น ลักษณะทั่วไปได้แก่

ลำต้น มีลักษณะกลม เปลือกเรียบ สีน้ำตาลเข้ม หรือมีลายดำ น้ำตาลดำแกมม่วงหรือสีอื่น ๆ แล้วแต่พันธุ์ สูง 10 - 15 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับอกอาจจะถึง 50 - 60 เซ็นติเมตร กิ่งอ่อนเปราะ เมื่อตัดต้นหรือกิ่งพบว่าระหว่างเปลือกกับแกนของลำต้นจะมีน้ำยางสีขาวข้นไหลออกมา

ใบ เป็นใบเดี่ยว มี 2 ลักษณะ คือ ชนิดใบมนคล้ายรูปหัวใจ และชนิดใบแฉกมี 3 - 5 แฉก บางต้นจะมีใบทั้งสองชนิดบนต้นเดียวกัน ลักษณะใบมีขนอ่อนปกคลุม ขอบใบหยักคล้ายฟันเลื่อย ปลายใบแหลม หลังใบมีสีเขียวแก่ ท้องใบสีเขียวอ่อนอมขาวสะท้อนแสง ใบมีความกว้าง 6 - 12 เซ็นติเมตร ยาว 7 - 20 เซ็นติเมตร ก้านใบยาวประมาณ 3 - 10 เซ็นติเมตร หูใบยาวประมาณ 1 - 2 เซ็นติเมตร

ปอสาสามารถใช้ประโยชน์ได้แทบทุกส่วน กล่าวคือ ใบใช้เป็นอาหารสัตว์เลี้ยง เช่น ปลา สุกร ฯลฯ มีสรรพคุณทางสมุนไพรคือ ใช้ขับปัสสาวะ แก้พิษแมลงกัดต่อยและกลากเกลื้อน ผลสุก ใช้บำรุงไต แก้อ่อนเพลีย รากใช้แก้ไข้แก้อาเจียน น้ำยางจากลำต้นใช้แก้อาการบวมน้ำ เปลือกลำต้นใช้ห้ามเลือด และเป็นส่วนให้เส้นใยที่สำคัญสำหรับใช้ทำกระดาษด้วยมือ ซึ่งนำไปทำประโยชน์ได้มากมาย เพราะกระดาษสามีคุณภาพดี ทนทานไม่กรอบหรือเปื่อยยุ่ยง่าย และเก็บได้นาน ต้นหรือกิ่งที่ลอกเปลือกแล้ว ใช้ทำฟืน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การขยายพันธุ์ปอสา

การขยายพันธุ์ปอสาทำได้หลายวิธี เช่น

1. ขยายพันธุ์ด้วยราก รากที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร จะมีการแตกตาใบมากที่สุดคือ 66% และแตกรากมากที่สุดถึง 60% (อินทรัตน์ และคณะ, 2532)

2. ขยายพันธุ์ด้วยกิ่ง กิ่งที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 – 2.5 เซนติเมตร จะแตกตาใบสูงกว่ากิ่งที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.0 เซนติเมตร (55.5 – 56.3 vs 46.1%) (อินทรัตน์ และคณะ, 2532)

3. ขยายพันธุ์ด้วยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ สามารถทำได้รวดเร็วและมีความสม่ำเสมอทางพันธุกรรมดีกว่าวิธีอื่น แต่มีต้นทุนสูงกว่า (ยุพา และคณะ, 2543)

4. ขยายพันธุ์ด้วยเมล็ด

คุณค่าทางโภชนะของใบปอสา

ใบปอสาสดมีวัตถุแห้ง 26.6%, โปรตีน 24.92% ของวัตถุแห้ง และพลังงานรวม 3,814.46 kcal/kg DM (องอาจและคณะ, 2544) จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่า ใบปอสาแห้งมีวัตถุแห้ง 91.34%, โปรตีน 23.20%, ไขมัน 2.62%, เยื่อใย 12.75%, เถ้า 14.39%, แคลเซียม 2.83%, ฟอสฟอรัส 0.38% และแซนโทฟิล 488.5 ppm. (สุภาพร, ติดต่อส่วนตัว)

การใช้ใบปอสาเป็นอาหารสัตว์

โดยทั่วไปเกษตรกรจะนำใบไปเลี้ยงปลาและสุกรพื้นเมือง สุภาพร (ติดต่อส่วนตัว) ได้ใช้ใบปอสาสูงถึง 25% แทนที่อาหารสำเร็จรูปในไก่ไข่ พบว่าไม่มีผลเสียในแง่ความเป็นพิษ แต่ที่ระดับ 10% ทำให้สมรรถภาพการผลิตไข่ดีที่สุด นอกจากนี้ องอาจและคณะ (2544) รายงานว่าการเสริมใบปอสา 10% และ 20% แทนที่อาหารสุกรขุน (น.น.ตัว60 - 90 กิโลกรัม) พบว่าที่ระดับ 10% มีอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน และอัตราแลกน้ำหนักไม่แตกต่างทางสถิติจากกลุ่มควบคุม อีกทั้งยังทำให้ความหนามันสันหลังมีแนวโน้มต่ำกว่ากลุ่มควบคุมด้วย และการใช้ใบปอสาระดับ 24.25 และ 26% ในอาหารผสมครบส่วน (TMR) เลี้ยงกระต่ายในช่วงน้ำหนัก 0.50 – 1.40 กก. พบว่า กลุ่มที่ใช้ใบปอสา 26% กระต่ายกินอาหารมากกว่าและมีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่ากลุ่มอื่น

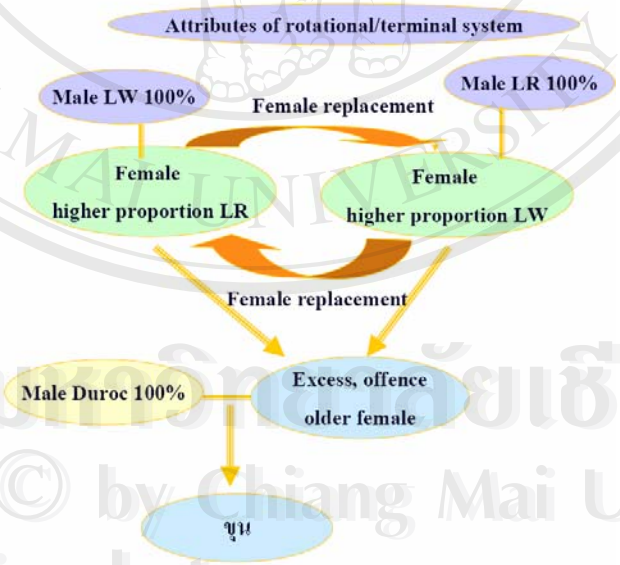
องอาจ (2548) รายงานว่า การย่อยได้ของวัตถุแห้ง, โปรตีน, เยื่อใย, อินทรียวัตถุ และ NFE ของใบปอสาหมักในสุกรรุ่นที่มีน้ำหนักตัว 40.23 ± 1.51 กิโลกรัม โดยใช้ถุงเก็บมูล มีค่าเท่ากับ 68.70, 72.28, 53.28, 67.41, 71.63 และ76.59% โดยสุกรกินใบปอสาหมักคิดเป็นวัตถุแห้งเฉลี่ยต่อวัน เท่ากับ 10.12 กรัม ต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม มีค่าพลังงานการย่อยได้ เท่ากับ 2,874.99 kcal/kg และ พลังงานใช้ประโยชน์ได้ เท่ากับ 2,752.00 kcal/kg

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 3 ต้นปอสา

ระบบการผสมพันธุ์สุกร

Bourdon, (2000) รายงานว่าการใช้แผนการผสมพันธุ์สุกรระบบ Attributes of rotational /terminal system ดังภาพ 5 มีค่าใช้จ่ายในการเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์ต่ำและยังคง มีเปอร์เซ็นต์ hybrid สูง ดังตาราง 12



ภาพ 4 แผนการผสมพันธุ์สุกรโดยวิธี Attributes of rotational/terminal system

(ดัดแปลงจาก Bourdon, 2000)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 12 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ F1 Hybrid

System	% F1 Hybrid
Three-way rotation using A x B, C x D, and E x F sire	93%
Terminal Sire System (A x B) x C sire	100%
Attributes of rotational / terminal system	> 93 % - < 100 %

ที่มา : ดัดแปลงจาก Bourdon (2000)

แก๊สชีวภาพ (biogas)

ปัจจุบันการเลี้ยงสัตว์ภายในประเทศมีการขยายตัวและพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว ผลจากการเลี้ยงสัตว์ได้ก่อให้เกิดปัญหาของเสียและน้ำเน่าจากฟาร์มโดยเฉพาะอย่างยิ่ง จากฟาร์มสุกร ซึ่งปัญหาดังกล่าวทำให้เกิดความเสื่อมโทรมของสภาพแวดล้อมที่นับวันจะทวีความรุนแรงมากขึ้น แก๊สชีวภาพเป็นเทคโนโลยีรูปแบบหนึ่งซึ่งเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ ได้ประยุกต์นำไปใช้ประโยชน์ในฟาร์มเลี้ยงสัตว์มาเป็นเวลานานแล้วโดยได้รับการส่งเสริมจากหน่วยงานราชการ หลายแห่ง

แก๊สชีวภาพ คือ แก๊สที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ จากการย่อยสลายอินทรีย์สารโดยจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะที่ปราศจากออกซิเจน แก๊สชีวภาพประกอบด้วยแก๊สหลายชนิด ดังตาราง 13

ตาราง 13 ส่วนประกอบของแก๊สชีวภาพ

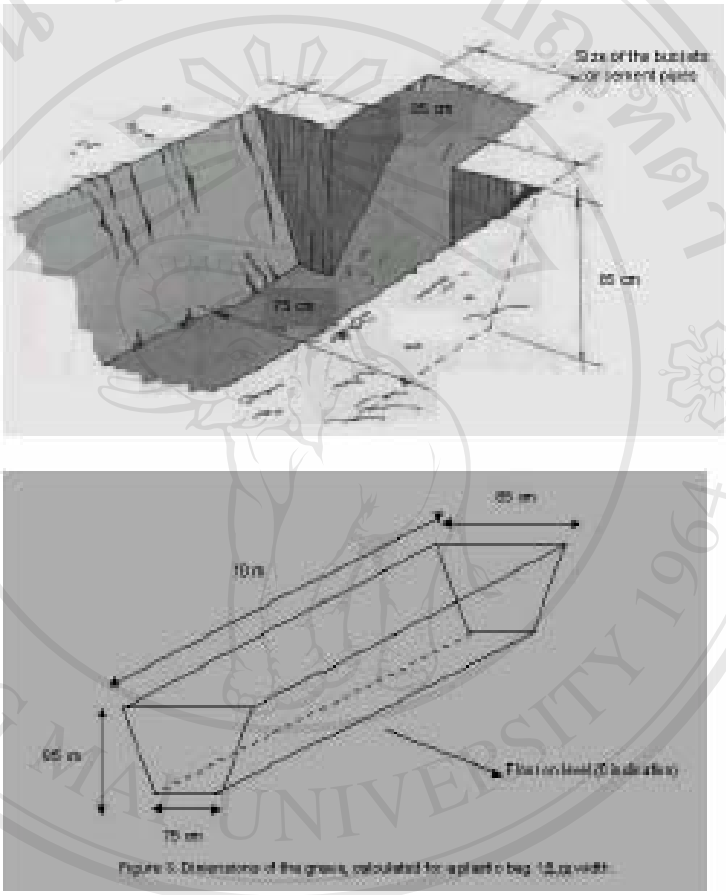
ส่วนประกอบของแก๊สชีวภาพ	ปริมาณ (%)	ส่วนประกอบของแก๊สชีวภาพ	ปริมาณ (%)
มีเทน (CH_4)	40 - 70	ออกซิเจน (O_2)	0.1
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	30 - 60	ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)	0.1
คาร์บอนมอนออกไซด์ (CO)	0.1	ไนโตรเจน (N_2)	0.5
ไฮโดรเจน (H_2)	1.0		

ที่มา : ดัดแปลงจาก Rodriguez *et al*.(1999)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การทำแก๊สชีวภาพแบบถุงหมักพี.อี. ขนาดความยาว 10 เมตร เส้นรอบวง 3 เมตร จะมีปริมาตรโดยรวม 7.2 ลบ.เมตร แยกเป็นส่วนของเหลว 5.17 ลบ.เมตร ส่วนของแก๊ส 1.8 ลบ.เมตร สามารถผลิตแก๊สได้ต่อวันประมาณ 35% ของส่วนของเหลว คิดเป็นปริมาตรแก๊สเท่ากับ 1.9 ลบ.เมตร ซึ่งเมื่อนำไปใช้กับเตาหุงต้ม 2 เตาที่ใช้แก๊ส 0.15 ลบ.เมตรต่อชั่วโมง จะเพียงพอสำหรับใช้ทำอาหารได้ 12.7 ชั่วโมง

การผลิตแก๊สดังกล่าวต้องใช้สัดส่วนของมูลและน้ำเท่ากับ 20 : 80% โดยต้องเติมมูลวันละ 21.6 ลิตร และใช้น้ำวันละ 86.4 ลิตร (ส่วนผสมมีของแข็งประมาณ 3%) ซึ่งต้องใช้สุกรน้ำหนัก 100 กิโลกรัม จำนวน 6 ตัว จึงจะผลิตมูลสดที่ต้องการประมาณวันละ 22 กิโลกรัมได้ (Rodriguez *et al.*, 1999)



ภาพ 5 บ่อขุดในแนวนอนสำหรับวางถุงหมักแก๊ส พี.อี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved