

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สารแทนนิน

แทนนินเป็นสารที่มีรสขมและฝาดในพืชมักจะเป็นของเหลวที่ขับออกมาจากเปลือกลำต้นและส่วนอื่นๆ ของพืชโดยเฉพาะใบ ผล และปมปม สารแทนนินพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1796 เรียกว่า tannare เป็นภาษาละติน แปลว่า เปลือกต้นโอ๊ค มีรสฝาด สารแทนนินสามารถรวมตัวกับโปรตีนของหนังสัตว์ทำให้ไม่เน่าเปื่อยอีกทั้งยังเปลี่ยนสภาพของหนังดิบสดๆ ให้เป็นหนังฟอก หรือหนังสำเร็จรูปได้ (Thorstensen, 1985) ในการฟอกหนังอาจใช้สารที่ขับออกมาจากพืชโดยตรงหรือใช้ในรูปแบบเข้มข้นโดยสกัดเอาเฉพาะส่วนของสารแทนนินมาใช้ประโยชน์ ในการฟอกหนัง สารแทนนินจะทำปฏิกิริยากับสารโปรตีนหนังจะมีสีและไม่เน่าเสียหลังการฟอก สารแทนนินจากพืชเป็นตัวป้องกันการทำลายหนังสัตว์โดยแบคทีเรีย และเปลี่ยนสภาพของหนังให้มีความอ่อนนุ่มไม่แข็งกระด้าง นอกเหนือจากการใช้ประโยชน์ในการฟอกหนังแล้วสารแทนนินยังมีประโยชน์ในการย้อมแห เชือก และใบเรือทำให้ทนทานต่อการใช้งานที่สัมผัสกับน้ำเค็ม นอกจากนี้ยังใช้ในการผลิตกาวยาลย้อม และช่วยให้สีติดแน่นทนนานยกตัวอย่างเช่น โปรแอนโทไซยานินแทนนิน (proanthocyanidin tannin) สามารถนำไปใช้ในการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดแทนการใช้ฟีนอลสังเคราะห์ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากปิโตรเคมี พืชที่ให้สารแทนนินหลายชนิดเป็นส่วนประกอบในอาหารขบเคี้ยวต่างๆ โดยคุณสมบัติของความฝาด เช่น gambier จาก *Uncaria gambir* (Hunte) Roxb

มีการใช้ประโยชน์สารแทนนินแพร่หลายในเภสัชกรรมโดยใช้เป็นตัวยารักษาโรคเบาหวาน โดยทำหน้าที่ควบคุมสมดุลของการหลั่งฮอร์โมนจากตับอ่อน สารแทนนินนับเป็นองค์ประกอบสำคัญในกลิ่นและรสชาติในเครื่องดื่มจำพวก ชา กาแฟ ไวน์ และเบียร์ คุณภาพของผลไม้หลายชนิดขึ้นอยู่กับปริมาณของสารแทนนินที่มีอยู่ สารแทนนินเป็นวัตถุดับที่สำคัญในการผลิตหมึก ใช้ในการทำกระดาษอัดหมึก และลดความเหนียวของดินเหนียวในการขุดเจาะบ่อน้ำมันลึกๆ

ในส่วนที่เกี่ยวกับเทคโนโลยีการฟอกหนัง Thorstensen (1985) กล่าวว่า มีสารแทนนินหลายชนิดในพืช สารสกัดแทนนินจากพืชนอกเหนือจากที่ประกอบไปด้วยสารแทนนินหลายชนิดแล้วยังประกอบไปด้วยแป้ง ยางเหนียว และสารอื่นๆ รวมทั้งสารที่แขวนลอยอื่นๆ อยู่ด้วย สารที่ไม่ใช่สารแทนนินเหล่านี้มีส่วนสำคัญต่อคุณสมบัติของสารสกัดที่ใช้ในการฟอกหนัง องค์ประกอบ

ทางเคมีพื้นฐานที่พบในสารแทนนินนอกเหนือจากน้ำตาลได้แก่ กรดแกลลิก (Gallic acid) และ กรดเอลลิจิก (Ellgic acid), ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids), ลิกแนนส์ (lignans), สทิลบีนอยด์ และคีโนนส์ กรดแกลลิกเกิดขึ้นจากกระบวนการออกซิเดชันของกรดชิคิมิก (Shikimic acid) ซึ่งเป็น สารที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ในพืชในขั้นต้น

มีรายงานเกี่ยวกับการแยกสารแทนนินออกเป็นชนิดที่ทำปฏิกิริยากับน้ำ (Hydrolysable tannin) และชนิดที่เป็นสารแทนนินเข้มข้น (condensed tannin) ทั้งนี้หลักในการแยกพิจารณาจากการที่กรดหรือเอนไซม์ทำปฏิกิริยาเกิดการแตกตัวหรือรวมตัวเป็นสารโพลีเมอร์ มีความเป็นไปได้ว่าการแยกดังกล่าวขึ้นอยู่กับกลุ่มสารที่เกี่ยวข้องกับกรดแกลลิกและกลุ่มสารที่เกี่ยวข้องกับฟลาโวน

สาร monomer อาจเชื่อมต่อกันกลายเป็น oligomer ซึ่งเป็นสารแทนนิน หรืออาจจะเชื่อมต่อกับส่วนที่เป็นน้ำตาลในสารแทนนิน ในกรณีดังกล่าวนี้จะได้สารไกลโคไซด์ดังนั้น สารไกลโคไซด์ประกอบด้วยน้ำตาลและส่วนที่เป็นโพลีฟีนอลส์ที่เรียกว่า อไกลคอน (aglycon) สารโพลีฟีนอลส์มีคุณสมบัติของสารแทนนินเมื่อมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วงประมาณ 500-3,000 (Haslam, 1979; Hills, 1987) และในกลุ่มของสารแทนนินฟลาโวนอยด์มี degree of polymerization (DP) 3-8 สารที่มีคุณสมบัติเป็นสารแทนนินมีมากมาย กลุ่มหลักๆ ที่มีความสำคัญมากที่สุดได้แก่ กลุ่มแกลโลแทนนินส์ (gallotannins), เอลลาจิทแทนนิน (ellagitannins) และ โปรแอนโทไซยานิดินส์ (proanthocyanidins) แกลโลแทนนินส์และ เอลลาจิสแทนนินเป็นเอสเทอร์ของกรดแกลลิก หรือกรดไดแกลลิกที่มีกลูโคสและสารโพลีออลส์ (polyols) อื่นๆ สารโปรแอนโทไซยานิดินส์ เป็น oligomers ของ 3-flavanols (คาเทชินส์) และ 3-4 flavandiols (ลิวโคแอนโทไซยานิดินส์)

ปฏิกิริยาของสารแทนนินกับโปรตีน เนื่องจากโมเลกุลและ macroscopic structure ของโปรตีน เป็นที่ชัดเจนว่า stereochemistry มีส่วนสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการพอกหนัง คุณสมบัติอย่างหนึ่งของหนังคือมีการเปียกน้ำลดลงและคุณสมบัติทนทานต่อการเนาเปื่อย คุณสมบัติทั้งสองนี้เกี่ยวข้องกัน ถ้าสารแทนนินมีโมเลกุลที่เล็กเกินไป (<500) จะไม่เกิดปฏิกิริยาหรือเกิดปฏิกิริยาเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้ยังไม่สามารถอธิบายในส่วนนี้ให้ชัดเจนได้ถ้าสารแทนนินมีโมเลกุลขนาดใหญ่เกินไป (>3,000) ก็จะทำให้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นไม่สมบูรณ์โดยจะขัดขวางในส่วนของปฏิกิริยากับโมเลกุลของโพลีฟีนอล ทั้งนี้โพลีฟีนอลที่มีขนาดโมเลกุลระหว่าง 500-3,000 ที่จะมีคุณสมบัติในการพอกหนังจะต้องมี stereo chemical resemblance ระหว่างโปรตีนและสารแทนนิน

1. ประวัติและบทบาทของสารแทนนินจากพืช

จากหลักฐานทางโบราณคดีเกี่ยวกับความเจริญรุ่งเรืองในยุคโบราณของอียิปต์เกี่ยวกับหนังสือที่ผ่านการฟอกได้มีการค้นพบฝักของ *Acacia nilotica* (L.) Willd. Ex Del. และเศษหนังสือที่ผ่านการฟอกในบริเวณซากโรงฟอกหนังสืออายุประมาณ 7,000 ปี (Howes, 1953)

ชาวเปอร์เซียรู้จักนำเปลือกไม้โกงกางมาใช้ประโยชน์ในการฟอกหนัง ตั้งแต่คริสต์ศตวรรษที่ 13 ในคริสต์ศตวรรษที่ 19 มีการนำไม้คากาเซียจากออสเตรเลียไปปลูกในบริติชอินเดียน แอฟริกาใต้และในชวา ในระยะต่อมาเริ่มมีการค้นพบคุณสมบัติประโยชน์ของไม้ *Quebracho trees* (*Schinopsis quebracho-colorado* Schidl.) F. Barkley, and T. Meyer และไม้ในสกุล *Schinopsis* ชนิดอื่นๆ ในอเมริกาใต้การฟอกหนังในปี ค.ศ. 1870 ในปัจจุบันไม้ *Quebracho* เป็นแหล่งวัตถุดิบที่สำคัญที่ใช้ในการฟอกหนังในอเมริกาและยุโรป

แหล่งกำเนิดสารแทนนินที่มีความสำคัญในโลกนอกเหนือจาก *quebracho* จากไม้ *Schinopsis* spp. ในอเมริกาใต้ คือ *mimosa* จาก *Acacia mearnsii* De Wild โดยเฉพาะจากแอฟริกาใต้ และเซสนัท จาก *Castanea sativa* Miller จากยุโรป จากข้อมูลการจัดส่งสารสกัดในช่วงปี ค.ศ. 1950-1988 พบว่าปริมาณสารแทนนินที่จัดส่งมีปริมาณลดลงไม่น้อยกว่า 50% ในปี ค.ศ. 1851 มีการค้นพบกรรมวิธีที่เรียกว่า *chrome tanning* ซึ่งได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมฟอกหนัง กรรมวิธี *chrome tanning* มีการแช่หนังในเกลือของโครเมียม ในระยะต่อมามีการพัฒนาอุตสาหกรรมเคมีและความรู้ในด้านสังเคราะห์สารอินทรีย์สามารถเพิ่มจำนวนโมเลกุลเข้าไปในสารแทนนินสังเคราะห์ทำให้มีคุณสมบัติเฉพาะสามารถควบคุมและคาดหวังผลจากการฟอกหนังได้นับแต่ปี ค.ศ. 1950 เป็นต้นมามีการใช้สารแทนนินสังเคราะห์จำพวก *syntans*, *resin tannages* และ *aldehyde tannages* เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในสหรัฐอเมริกาการฟอกหนังประมาณ 85% ใช้สารแทนนินสังเคราะห์ส่วนที่เหลือใช้สารแทนนินจากพืช (Seigler, et al., 1986)

สารแทนนินจากพืชแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันและมีผลต่อลักษณะหนังที่ได้ สารสกัดจาก *gambier* มีลักษณะอ่อนนุ่ม ได้หนังมีสีเหลืองหม่น สารสกัดบาเกา (*bakau*) จากไม้ป่าชายเลนหรือสีเสียดมีความฝาดมากได้หนังมีสีแดง ในขณะที่สารไมโรบาลานส์จากสมอไทยทำให้หนังสือที่ผ่านการฟอกมีสีออกเหลืองเขียว การฟอกหนังที่ดีต้องมีการควบคุมสภาพการเป็นกรดและด่าง อุณหภูมิและความเข้มข้น (Thorstensen, 1985)

บทบาทของสารแทนนินในพืชยังไม่สามารถอธิบายเป็นที่เข้าใจชัดเจน ในบางครั้งมีข้อเสนอว่าสารแทนนินน่าจะเป็นของเสียในพืช มีข้อเสนอเกี่ยวกับบทบาทของสารแทนนินในการปกป้องอันตรายจากสัตว์กินพืชและจากจุลินทรีย์ ข้อเสนอดังกล่าวได้รับการสนับสนุนในข้อที่ว่ามักพบสารแทนนินในส่วนที่มีความสำคัญและส่วนที่ถูกทำลายได้ง่ายเช่น ในบริเวณเนื้อเยื่อเจริญใน

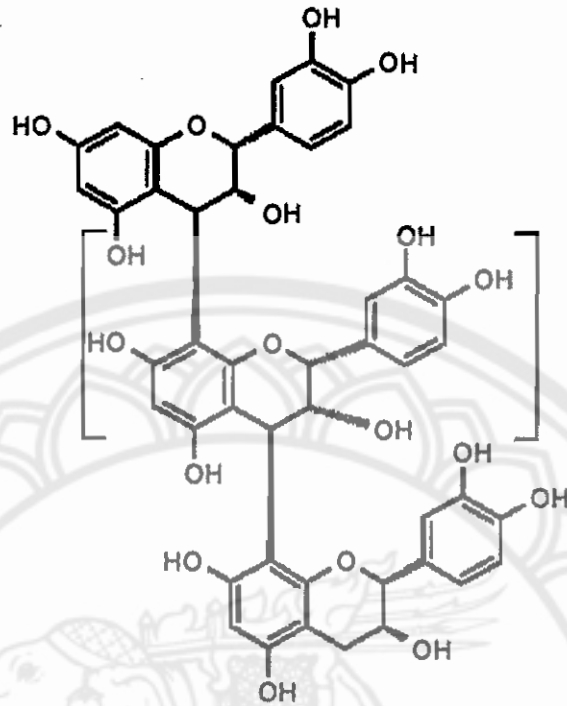
พืชใบเลี้ยงคู่ ในบทบาทเกี่ยวกับวิวัฒนาการของพืชน่าจะเป็นการป้องกันการทำลายโดยเชื้อราและแบคทีเรียโดยมีการสะสมสารแทนนินเป็นจำนวนมากในบริเวณที่ไม่มีชีวิตของพืช เช่น แก่นไม้ และเปลือกซึ่งอาจถูกทำลายโดยจุลินทรีย์ได้ง่าย มีข้อเสนอเกี่ยวกับสารแทนนินในใบว่าเป็นสารที่เกิดขึ้นในขั้นตอนของการสังเคราะห์ในเยื่อเจริญ (Gibbs, 1974)

พืชชั้นต่ำมีสารแทนนินเป็นองค์ประกอบในปริมาณที่น้อย หรือไม่มีสารแทนนินเลย เช่นเดียวกับพืชใบเลี้ยงเดี่ยวยกเว้นในพืชตระกูลปาล์ม สารแทนนินจะพบในพืชใบเลี้ยงคู่หลายวงศ์ (Family) เช่นพรวนไม้ในวงศ์ *Rosaceae* และ *Guttiferae* ส่วนพรวนไม้ในวงศ์ *Rhizophoraceae* และ *Combretaceae* จะมีสารแทนนินสูง และชนิดของพรวนไม้ที่เป็นแหล่งผลิตสารแทนนินที่สำคัญในโลกได้แก่ไม้ในวงศ์ *Leguminosae*

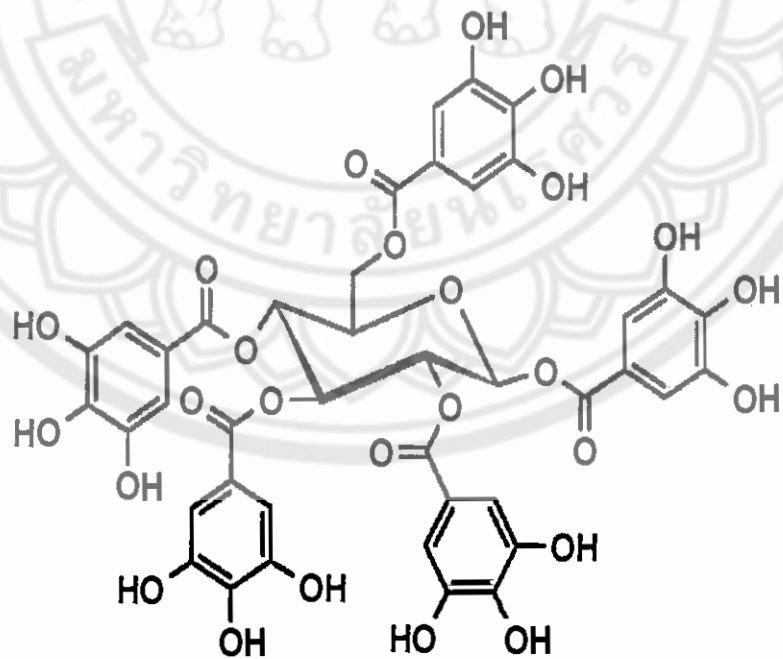
2. สารแทนนินกับอาหารสัตว์

ในปัจจุบันสารแทนนินในพืชเป็นสิ่งที่นักพยาธิวิทยา และนักกีฏวิทยาให้ความสนใจมากขึ้นเนื่องจากช่วยให้พืชมีความทนทานต่อการเกิดโรค และการถูกทำลายจากแมลง นอกจากนี้ นักโภชนศาสตร์สัตว์ก็ให้ความสำคัญมากขึ้นเนื่องจากสารแทนนินจะจับตัวกับโปรตีน และคาร์โบไฮเดรตได้ดีจึงทนต่อการถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน

สารแทนนินจัดเป็นสารประกอบจำพวกที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวน (phenolic compound) ที่ละลายน้ำได้ และสามารถจับกับโปรตีนทำให้เกิดตะกอน สารแทนนินแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ตามลักษณะโครงสร้าง และปฏิกิริยากับสารละลาย คือ Hydrolyzable tannin (HTs) และ Condensed tannin (CTs) ลักษณะของโครงสร้างทางเคมี ดังแสดงในภาพที่ 1 และ 2 โดย HTs มีคาร์โบไฮเดรต (carbohydrates) เป็นส่วนประกอบในตำแหน่ง hydroxyl groups เช่น กลุ่มของสาร gallic acid หรือ m-digallic acid (gallotannins) หรือ hexahydroxydiphenic acid และสารแทนนินกลุ่มนี้สามารถย่อยสลายได้ดีในสารละลายที่มีความเป็นกรดและต่างพบได้ในส่วนของใบ ผล ผัก และในใบเลี้ยง และพบในสารที่ให้รสขม (galls) ในพืชใบเลี้ยงคู่ เช่น oak, chestnut แต่ไม่พบในพืชใบเลี้ยงเดี่ยว (Kumar and D'Mello, 1995) ส่วนสารแทนนินชนิด CTs ได้จากส่วนของ proanthocyanidins ซึ่งเป็นโครงสร้างของสาร flavonoid, epicatechin และ catechin ซึ่งเชื่อมกับสารอื่น พบได้ในพืชทั่วไป



ภาพ 1 แสดงโครงสร้างของ Condensed tannins (CT)



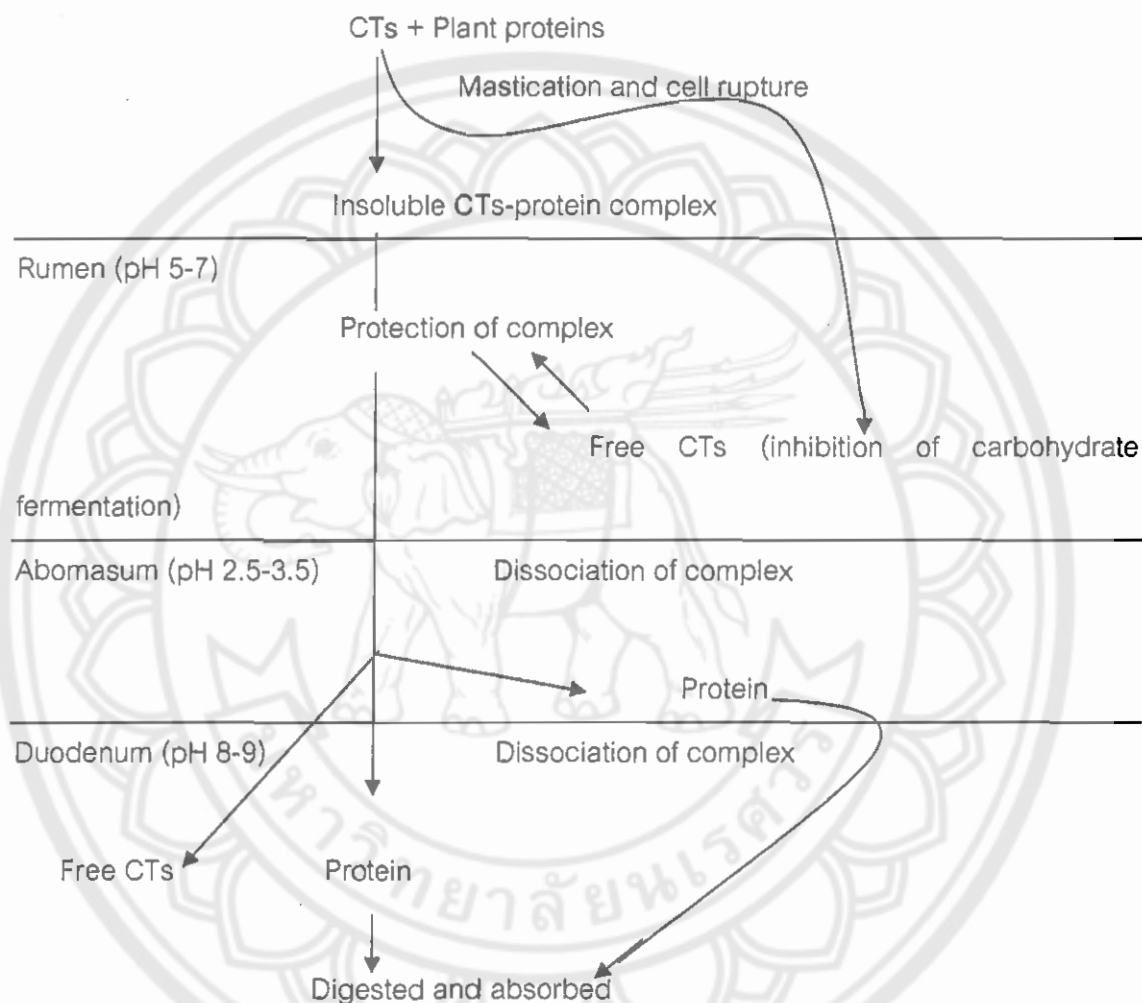
ภาพ 2 แสดงโครงสร้างของ Hydrolysable tannins (HT)

สารแทนนินที่พบในกระถินสกุล *Leucaena* ส่วนใหญ่เป็นชนิด CTs มีประมาณ 4-7% ของวัตถุแห้ง แต่ปริมาณสารแทนนินมีความผันแปรไปตามชนิด และระยะการเจริญเติบโตของพืช เช่น พืชในเขตร้อนที่ได้รับความเข้มของแสงมากมีผลให้เกิดสารแทนนินมากขึ้น อุณหภูมิที่สูงขึ้น ช่วยเพิ่มการสร้าง CTs ในใบพืชมากขึ้น (Lees, et al., 1994) และพืชที่เจริญเติบโตในดินคุณภาพต่ำ และมีความเป็นกรดมีผลให้มีการสร้าง CTs เพิ่มขึ้น (Kelman, and Tanner, 1990)

บทบาทของสารแทนนินที่ใช้ในอาหารสัตว์พบว่าสารแทนนินช่วยป้องกันการท้องอืดในสัตว์เคี้ยวเอื้องอันมีสาเหตุมาจากการกินพืชตระกูลถั่วที่มีโปรตีนที่ละลายได้สูง โดยสารแทนนินที่มีในพืชจะจับตัวกับโปรตีนดังกล่าวช่วยลดการเกิดฟองแก๊ส ซึ่งกลไกการทำงานของสารแทนนินกับโปรตีนมีดังนี้เมื่อสารแทนนินจับกับโปรตีนจะได้สารประกอบที่เรียกว่า tannin-protein โดยเชื่อมด้วยพันธะ H-bond ระหว่างหมู่ phenolic ของสารแทนนินกับหมู่ ketomide ของโปรตีนและบางครั้งเกิดจากการเชื่อมกันระหว่างส่วนที่ไม่ชอบน้ำ คือสรวงวงแหวนของสารแทนนิน (aromatic ring) กับส่วนที่ไม่ชอบน้ำของโปรตีน ซึ่งโครงสร้างของสารประกอบ tannin-protein สามารถเปลี่ยนแปลงได้ อย่างไรก็ดีตามถ้าสารแทนนินและโปรตีนมาพบกันในสภาพเป็นอัลคาร์ไลน์ และที่มีออกซิเจน ส่วนของ polyphenol เมื่อถูกออกซิไดซ์จะได้เป็นสารควิโนน (Quinone) ซึ่งเชื่อมด้วยพันธะโควาเลนต์กับ nucleophilic amino acid เช่น ไลซีน (lysine) หรือซิสเตอีน (Cysteine) จะได้สารประกอบสารแทนนินโปรตีนที่เปลี่ยนแปลงไม่ได้ การเกิดพันธะ 2 รูปแบบนี้ขึ้นอยู่กับขนาดโมเลกุลของโปรตีน และโครงสร้างของกรดอะมิโน และพบว่าโปรตีนที่มีขนาดใหญ่เมื่อจับกับสารแทนนินแล้วโปรตีนมักใช้ประโยชน์ไม่ได้

นอกจากนี้สารแทนนินสามารถจับกับเอนไซม์ที่หลั่งออกมาได้เนื่องจากเอนไซม์ก็คือโปรตีนชนิดหนึ่งนั่นเอง หากสัตว์กินอาหารที่มีสารแทนนินในปริมาณที่มากมีผลให้สัตว์หลั่งเอนไซม์ที่ช่วยย่อยโปรตีนมากกว่าปกติแต่เมื่อไม่มีอาหารในกระเพาะและลำไส้เอนไซม์ที่หลั่งออกมาจะย่อยผนังชั้นในของทางเดินอาหารทำให้เซลล์ตายในที่สุดซึ่งมีผลต่อการดูดซึมโภชนาต่างๆ ในทางตรงกันข้ามในกรณีของสัตว์เคี้ยวเอื้องหากได้รับสารแทนนินที่ไม่มากเกินไปคือ 3-6 % ของวัตถุแห้ง มักไม่เกิดปัญหาแต่กลับเป็นประโยชน์มากกว่า ในกรณีที่อาหารมีโปรตีนมากเกินไปความต้องการของจุลินทรีย์ที่ใช้ประโยชน์จากไนโตรเจนในการหมักย่อยโปรตีนส่วนที่เหลือจะจับกับสารแทนนินได้เป็นโปรตีนไหลผ่าน (by-pass protein) ไปยังกระเพาะแท้และถูกย่อยโดยเอนไซม์ และถูกดูดซึมในส่วนของลำไส้เล็กของสัตว์ เนื่องจากการเชื่อมกันระหว่างสารแทนนินกับโปรตีนสามารถถูกย่อยสลายได้ในกระเพาะที่มีสภาพเป็นกรด และไม่มีผลทำให้การสร้างโปรตีนโดยจุลินทรีย์ลดลง

ซึ่งประโยชน์เหล่านี้ช่วยให้สัตว์มีการดูดซึมและนำใช้ประโยชน์ได้เพิ่มขึ้น (Perez-maldonado, et al., 1995; McNeil, et al., 1998)



ภาพ 3 การป้องกันการถูกย่อยของโปรตีนโดย Condensed tannins (Kumer and D'Mello, 1995)

อย่างไรก็ดีสารแทนนินที่มีปริมาณสูงมีผลให้ปริมาณอาหารที่กินลดลง และการย่อยได้ของกระเพาะรูเมนรวมทั้งการใช้ประโยชน์ได้ของซัลเฟอร์ลดลงเช่นเดียวกัน ส่งผลให้ปริมาณน้ำนมลดลง ส่วนพิษของสารแทนนินโดยตรงพบว่าก่อให้เกิดการทำลายของผนังลำไส้ ตับ ม้าม ไต นอกจากนี้พบส่วนที่เป็นเมือกในปัสสาวะ และก่อให้เกิดอาการท้องผูกได้ (Kurmar and Singh, 1984) ในระดับสารแทนนินที่ต่ำช่วยให้โปรตีนสามารถถูกย่อยและดูดซึมได้เพิ่มขึ้นในลำไส้เล็กที่ตำแหน่ง duodenum แต่ยังไม่มียางานระดับสารแทนนินในพืชที่เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ได้ของสัตว์เนื่องจากการใช้ประโยชน์ได้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น โปรตีนที่อยู่ในพืช พลังงานที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ชนิด และปริมาณของสารแทนนิน

Upadhyaya (1985) รายงานว่าแกะเพศผู้ที่กินพืชที่มี CTs ในปริมาณ 0.85 g/kg ของน้ำหนักตัวนาน 15 วันพบสารที่มีลักษณะเป็นเกล็ด (flaky sediment) ในปัสสาวะส่วนสารแทนนินชนิด HTs มักส่งผลต่อการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตในสัตว์กระเพาะเดี่ยวแต่แกะสามารถย่อยสลาย HTs ได้ในกระเพาะรูเมน เมื่อ HTs ถูกดูดซึมไปจะถูกขับออกทางปัสสาวะในรูป glucuronides อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าแกะได้รับสารแทนนินชนิด HTs ในปริมาณ 0.9 g/kg ของน้ำหนักตัวนาน 15 วัน แกะได้รับสารแทนนิน 1.1 g/kg ของน้ำหนักตัวนาน 40 วัน จะแสดงอาการเป็นพิษคือ มีเนื้อเยื่อตายที่ไต ตับอ่อน และผิวหนังเล็กน้อย แต่ไม่พบว่าตับถูกทำลาย (Tripathi, et al. 1984)

Van Hoven and Furstenburg (1992) รายงานว่าสัตว์เคี้ยวเอื้องไม่ควรกินพืชที่มี CTs สูงกว่า 60 g/kg เนื่องจากอาหารจะมีความน่ากินลดลง และการย่อยได้ของวัตถุดิบลดลงทำให้มีการดูดซึมสารอาหารต่างๆ ลดลงตามไปด้วย สอดคล้องกับรายงานของ Reed et al., (1995) และ Barry and Duncan (1986) ที่พบว่าปริมาณ CTs 7-10 % มีผลให้สัตว์เคี้ยวเอื้องกินอาหารและการย่อยได้ลดลง ซึ่งให้ผลเหมือนกันกับรายงานของ Miller and Ehlke (1994) ที่ทำการทดลองแบบ *in vitro* พบว่าอาหารที่มี CTs ประมาณ 2.7% มีผลให้การย่อยได้ของโปรตีนลดลงโดยไม่มีผลต่อการย่อยได้ของวัตถุดิบ แต่ CTs ระดับ 8.5% นอกจากจะทำให้การย่อยได้ของโปรตีนลดลงแล้วยังมีผลต่อการย่อยได้ของวัตถุดิบด้วยเล็กน้อย

McNeil, et al. (1998) ได้ทำการทดลองให้แกะกินกระถินต่างสปีชีส์กัน พบว่า *L. leucocephala* ซึ่งมี CTs เท่ากับ 3.75% ของวัตถุดิบมีการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุ และไนโตรเจนได้ดีกว่าสายพันธุ์ที่มี CTs สูง นอกจากนี้ยังมีการสะสมของไนโตรเจนในร่างกายสูงกว่าอีกด้วย และเมื่อศึกษาการแตกพันธะระหว่างโปรตีนกับสารแทนนิน ที่ระดับ pH ต่างกันในทางเดินอาหารพบว่า *L. leucocephala* มีการแตกพันธะดังกล่าวได้มากที่สุดที่ทุกระดับ pH

Waghom, et al. (1987) ได้ศึกษาพบว่าปริมาณ CTs ที่ระดับ 2.2% ของวัตถุแห้ง ใน *Lotus comiculatus* ช่วยเพิ่มการดูดซึมของกรดอะมิโนที่จำเป็นในบริเวณลำไส้เล็กของแกะ โดยไม่มีผลให้ปริมาณการกินหรือการย่อยเยื่อใยลดลง และพบว่าแกะที่กิน CTs มีปริมาณแอมโมเนีย และการย่อยได้ของไนโตรเจนในกระเพาะรูเมนต่ำมีผลให้ไนโตรเจนที่ไม่ใช่แอมโมเนีย ผ่านไปยังลำไส้เล็กสูงกว่าแกะที่ไม่ได้กิน CTs และระดับ CTs 1-4% ในอาหารแกะช่วยเพิ่มการดูดซึมของกรดอะมิโนในส่วนของกระเพาะแท้ (abomasums) มากกว่าแกะที่ไม่ได้กิน CTs อย่างมีนัยสำคัญ (Barry and Manley, 1984)

การใช้ประโยชน์ได้ของอาหารที่มีสารแทนนินยังขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์เนื่องจากสัตว์บางชนิดมีการหลั่ง proline-rich protein (PRP) ในปากที่ปนมากับน้ำลายซึ่งเป็นสารที่สามารถจับกับสารแทนนินได้เป็นสารประกอบ tannin-PRP มีผลให้สารแทนนินไปจับกับโภชนะตัวอื่นได้น้อยลง และสารประกอบ tannin-PRP ทนต่อการย่อยสลายของเอนไซม์จากจุลินทรีย์ และเอนไซม์จากตัวสัตว์เอง ความสามารถในการหลั่ง PRP แตกต่างกันตามชนิดของสัตว์ เช่น กวาง สัตว์ฟันแทะ (rodent) กระต่าย ลิง แพะ และมนุษย์มี PRP ในน้ำลาย ส่วนกลุ่มของโค แกะ แสมสเตอร์ ไก่ ไม่มี PRP ในน้ำลาย (Austin, et al, 1989; D'Mello, 1992) แต่ Mole, et al. (1990) พบสาร PRP ในน้ำลาย โค แกะ และสุกร แต่มีปริมาณน้อยจึงไม่เพียงพอที่จะรวมตัวกับสารแทนนินได้ทั้งหมด นอกจากนี้ยังพบว่าผนังกระเพาะรูเมนของแพะสามารถผลิตเอนไซม์ tannase ได้จึงทำให้สารแทนนินไม่มีผลต่อการกินได้ การย่อยได้ และปริมาณไนโตรเจนที่คงอยู่ในร่างกาย (N-retention) ภายในตัวแพะ (Holechek, et al. 1990)

Niezen, et al. (1993) พบว่าสารแทนนินในอาหารช่วยลดจำนวนของไซพยาธิในมูลของสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยไม่ทราบกลไกที่แน่ชัดเหมือนกับรายงานของ Makkar, et al. (1997) ที่พบว่าสารแทนนินในอาหารช่วยลดจำนวนของโปรโตซัว entodiniomorphs และ holotrichs ในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้อง

นอกจากนี้ยังได้มีการนำสารแทนนินมาใช้ในกระบวนการทำฟืชหมัก ดังรายงานของ Salawu, et al. (1999) ที่ได้ใช้สารแทนนิน 3 ชนิด เป็นสารเสริมในหญ้า *Perennial ryegrass* หมักคือ mimosa, myrabolum และ quebracho ในสัดส่วน 5-50 กรัม/กิโลกรัม น้ำหนักแห้งของฟืชโดยละลายกับน้ำในสัดส่วน 20 มิลลิตร/กิโลกรัม พบว่าสารแทนนินช่วยลดการเกิดไนโตรเจนที่ละลายได้ และลดปริมาณแอมโมเนียในฟืชหมัก

3. วิธีลดปริมาณสารแทนนิน

อาการของสัตว์ที่เกิดจากสารแทนนินคือ สัตว์ที่กินอาหารที่มีปริมาณสารแทนนินเข้าไปปริมาณมากพอที่จะเกิดพิษได้จะแสดงอาการท้องอืด และมีคอเลสเตอรอล (Cholesterol) ในกระแสเลือดสูงขึ้นเพราะกรดแทนนินที่สะสมในร่างกายจะลดลงและพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้น้อยลง

3.1 การทำให้แห้งนอกจากช่วยลดปริมาณสารแทนนินแล้วยังมีผลให้มีการกินเพิ่มขึ้น เพิ่มการย่อยได้ของเยื่อใย และมีไนโตรเจนในร่างกายเพิ่มขึ้น Ahn *et al.* (1989) พบว่าการทำให้แห้งโดยการอบที่ 50°C ช่วยลดการทำงานของสารแทนนิน และเพิ่มการย่อยได้ของกระเพาะรูเมนได้ 35%

3.2 ทำการสกัดส่วนของเปลือกที่หุ้มอยู่ออก และนำไปแช่น้ำ (Butler, 1989)

3.3 เติมสารบางชนิดลงไปในอาหารที่มีสารแทนนินเพื่อให้สารแทนนินมีการจับตัวกับสารประกอบอื่นๆ ซึ่งจะช่วยลดการทำงานของสารแทนนินลงได้ เช่น แคลเซียมไฮดรอกไซด์ แคลเซียมคาร์บอเนต หรือยูเรีย มีรายงานว่า การให้ถั่วเหลืองที่มีสารแทนนินร่วมกับหญ้าที่เสริมยูเรียช่วยลดการทำงานของแทนนินในตัวสัตว์ลงได้ (Hill *et al.*, 1986)

3.4 จุลินทรีย์บางชนิด เช่น *Streptococcus bovis* ที่พบในมูลของสัตว์ที่กินพืชที่เป็นไม้ยืนต้น เช่น koala, ringtail possum และ กวางสามารถย่อย CT และ HT ที่จับกับโปรตีน

กระถิน (*Leucaena*)

กระถินเป็นพืชจัดอยู่ในวงศ์ (Family) Leguminosae วงศ์ย่อย (Sub-family) Mimosoideae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Leucaena leucocephala* (Lamk.) De Wit ชื่อสามัญ (Common names) Leucaena (Australia, UK), Koa haole (Hawaii), ipil-ipil (Philippines), lead tree (Caribbean), tan-tan (Virgin Islands), guaje (Mexico), hediondilla (Puerto Rico), aroma blanco (Cuba), lamtoro (Indonesia) ชื่อพื้นเมืองภาษาไทยอื่นๆ กระถินไทย กระถินบ้าน สะตอเบา ตอเบา กระถินเป็นพืชพื้นเมืองของอเมริกาใต้ อเมริกากลาง และหมู่เกาะต่างๆ ในมหาสมุทรแปซิฟิก กระถินเริ่มกระจายมาในแถบเอเชียเมื่อสเปนมาปกครองฟิลิปปินส์ระหว่างปี ค.ศ. 1565-1825 กระถินมี 2 สายพันธุ์หลักคือ

1. พันธุ์พื้นเมือง (Common type) เดิมเรียกว่าพันธุ์ฮาวายเซียน (Hawaiian) มีลำต้นเล็ก สูงประมาณ 5 เมตร ออกดอกเร็วมีเมล็ดมากจึงแพร่พันธุ์ได้รวดเร็วจนกลายเป็นวัชพืชในประเทศไทย พันธุ์นี้กลายเป็นกระถินพื้นเมืองที่พบเห็นได้ทั่วไป

2. กระจินยักษ์ (Giant type) หรือ เรียกว่าสายพันธุ์ซัลวาดอร์ (Salvador) มีลำต้นสูงประมาณ 20 เมตร มีกิ่งก้านสาขาน้อย โตเร็ว ให้ผลผลิตทั้งใบและลำต้นสูง นอกจากนี้กระจินยักษ์ยังมีอีกสายพันธุ์หนึ่งเรียกว่าสายพันธุ์เปรู (Peru) สูงประมาณ 15 เมตร แตกกิ่งก้านสาขามาก (ณรงค์, 2523 และ Bray, 1994)

กระจินในสกุล *Leucaena* มีหลายสปีชีส์ โดยจำแนกลักษณะแต่ละสายพันธุ์ตามขนาดความสูงของลำต้น สีดอก ขนาดฝัก ซึ่งสปีชีส์เหล่านี้เกิดขึ้นเนื่องจากการนำกระจินสกุลเดียวกันมาผสมกันในปัจจุบันนี้สายพันธุ์ (Cultivar) ที่ปรับปรุงขึ้นมาใหม่มักกลายเป็นสายพันธุ์ที่มีลำต้นใหญ่ที่เรียกว่ากระจินยักษ์ในปี ค.ศ. 1960 สายพันธุ์ Cunningham, K8, K28 และ K67 มีการปลูกกันแพร่หลายทั่วโลก (K มาจาก Koa haole หมายถึงกระจิน) แต่เมื่อปี ค.ศ. 1990 ได้มีการปรับปรุงพันธุ์ได้สายพันธุ์ใหม่ขึ้นมาคือ K636 และลูกผสม Kx2 และ Kx3 ซึ่งเป็นที่นิยมในเวลาถัดมา เนื่องจากให้ผลผลิตสูง ทนต่อการทำลายของแมลง และทนอากาศหนาวเย็นได้ดี (Brewbaker, 1995)

กระจินส่วนใหญ่ขยายพันธุ์โดยเมล็ด แต่เนื่องจากบริเวณเปลือกหุ้มเมล็ดมีลักษณะแข็งและมี wax เคลือบอยู่ทำให้น้ำซึมผ่านเข้าไปได้ยาก ดังนั้นก่อนนำเมล็ดไปปลูกจึงควรลวกด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส ประมาณ 2-3 นาที หรือแช่ในน้ำเดือด ประมาณ 1 วินาที และก่อนนำเมล็ดไปปลูกควรคลุกด้วยเชื้อไรโซเบียม (*Rhizobium*) ชนิดที่ใช้กันทั่วไปคือ TAL1145 หรือ CB81 โดยเฉพาะบริเวณที่ไม่เคยปลูกกระจินมาก่อน ซึ่งชนิดของเชื้อราจะมีเฉพาะสายพันธุ์ และถ้าดินเป็นกรดควรใช้ปูนขาวปรับสภาพดินเพื่อให้เชื้อไรโซเบียมเจริญเติบโตได้ดี (Shelton and Brewbaker, 1994)

กระจินเป็นพืชที่มีระบบราก 2 ระบบ คือ ระบบรากผิวดินซึ่งมีปมรากอยู่มากช่วยในการตรึงไนโตรเจน หาอาหารและอากาศ ส่วนอีกระบบคือ ระบบรากแก้ว อยู่ลึกประมาณ 2/3 ของความสูงลำต้น (ณรงค์, 2523) รากแก้วสามารถหยั่งลึกได้ถึง 5-10 เมตรจึงสามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพแห้งแล้ง แต่จะให้ผลผลิตสูงเมื่อปลูกในพื้นที่ที่สูงกว่าระดับน้ำทะเลไม่เกิน 500 เมตร มีปริมาณน้ำฝน 650-3,000 มม. เจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีค่า pH ไม่น้อยกว่า 5.2 บางครั้งสามารถขึ้นได้ในดินที่มีค่า pH 8 และพบว่าเจริญเติบโตได้ไม่ดีในสภาพดินเค็ม มีอุณหภูมิเย็นหรือต่ำกว่า และมีปริมาณแคลเซียมสูง นอกจากนี้กระจินชอบขึ้นในที่โล่งแจ้งในช่วงอากาศหนาวกระจินจะเริ่มออกดอกและออกฝัก ทำให้ผลผลิตของใบลดลงเนื่องจากได้รับแสงน้อย (Gutteridge and Shelton, 1994; Brewbaker, 1995)

ผลผลิตและคุณค่าทางอาหารของใบกระถินอาจให้ผลผลิตวัตถุแห้งถึง 1,600 กิโลกรัมต่อไร่ และมีโภชนะย่อยได้ 58% โปรตีนที่ย่อยได้ 18% และอินทรีวัตถุที่ย่อยได้ 66% แม้กระถินจะเป็นพืชตระกูลถั่วที่ให้ผลผลิตและโปรตีนสูง แต่กระถินมีสารที่เรียกว่า ไมโมซิน (mimosine) ซึ่งเป็นสาร alkaloid ชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดขนร่วงในม้าและหมู และทำให้ไก่ไขลดลงถ้าให้กินเกินกว่า 5% ของอาหารทั้งหมด (สายัณห์, 2540)

ผลผลิตของกระถินยักษ์ในประเทศไทย จากรายงานของ จรุง และคณะ (2537) ซึ่งนำกระถินยักษ์พันธุ์ Leuchy Kx3b และ Leucle K636 ไปทำการปลูกที่ศูนย์วิจัยการเกษตรแม่เหียะ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งมีความสูงจากระดับน้ำทะเล 312 เมตร ในดิน Plinthic Paleaquults ที่มีความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างต่ำและการระบายน้ำไม่ดี มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1099.5 มม./ปี พบว่ากระถินยักษ์พันธุ์ Leuchy Kx3b และ Leucle K636 มีน้ำหนักใบแห้งรวมกิ่งก้าน เท่ากับ 6.27 และ 5.62 กิโลกรัม/ตัน ตามลำดับ จากรายงานพบว่ากระถินที่มีอายุ 13-15, 17-19 และ 21 เดือน ให้ผลผลิตของใบประมาณ 1, 2.5 และ 3 กิโลกรัมแห้ง/ตันในการตัดครั้งแรก และเมื่อเปรียบเทียบผลผลิตน้ำหนักแห้งของกระถิน (ส่วนของใบและกิ่งก้าน) กับถั่วอัลฟัลฟา (alfalfa) เท่ากับ 6-18 vs 8-9 ton/hectare หรือ 1-3 vs 1.3-1.5 ตันต่อไร่ ตามลำดับ (Anonymous, 1984)

เฉลิมพล (2526) ได้รายงานผลผลิตโปรตีน และฟอสฟอรัสของกระถินสายพันธุ์ Cunningham ที่ตัดด้วยความถี่ทุกๆ 4, 6 และ 8 สัปดาห์ และมีความสูงของการตัด 5, 25 และ 50 ซม. จากผิวดิน ตลอด 24 สัปดาห์ ในระหว่างฤดูฝนพบว่า การตัดที่สูงจากผิวดิน 50 ซม. ให้ผลผลิตของส่วนที่ใช้เป็นอาหารสัตว์ได้สูงสุด คือ 1.13 ตัน/ไร่ ความถี่ในการตัดที่เหมาะสมอยู่ระหว่างทุกๆ 6-8 สัปดาห์ พบว่าปริมาณโปรตีน และฟอสฟอรัสลดลงเล็กน้อยเมื่อลดความถี่ในการตัด แต่ไม่มีผลจากความสูงในการตัดเนื่องจากความถี่ในการตัดมีผลต่อพื้นที่ผิวของใบและอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรตที่มีน้อยภายหลังการตัด นอกจากนี้ผลผลิตยังขึ้นอยู่กับ พันธุ์ ภูมิอากาศและสภาพแวดล้อม พบว่าต้นกระถินที่ตัดสูงจากผิวดินมากที่สุดสามารถฟื้นตัวปกคลุมหน้าดินได้เร็ว และใบที่อยู่ส่วนล่างจะเหลือง และหลุดร่วงได้เร็วกว่า

1. คุณค่าทางอาหารของใบกระถิน

ใบกระถินสามารถใช้เป็นอาหารสัตว์ได้เพราะมีคุณค่าทางอาหารสูงใกล้เคียงกับถั่วอัลฟัลฟาซึ่งเป็นพืชอาหารสัตว์ที่ให้โปรตีนสูงและเจริญเติบโตได้ดีในแถบภูมิประเทศที่มีอากาศหนาวเย็น ดังข้อมูลในตาราง 1 พบว่าใบกระถินมีส่วนของ β -carotene สูงกว่าใบอัลฟัลฟา ถึง 2 เท่า ส่วนพลังงานรวม (GE) มีสูงกว่าอัลฟัลฟาเล็กน้อย สำหรับเถาและแร่ธาตุนั้นพบว่ากระถินมีน้อยกว่าอัลฟัลฟา ปริมาณของสารแทนนินสูงกว่าอัลฟัลฟามาก

ตาราง 1 ส่วนประกอบทางเคมีของใบกระถินเทียบกับถั่วอัลฟัลฟา

องค์ประกอบ	ใบกระถิน	ใบถั่วอัลฟัลฟา
Total N (%)	4.2	4.3
Crude protein (%)	25.9	26.9
Modified acid detergent fiber (%)	20.4	21.7
β - carotene (mg/kg)	536.0	253.0
Gross energy (kJ/g)	20.1	18.5
Total ash (%)	11.0	16.6
Ca (%)	2.36	3.15
P (%)	0.23	0.36
Tannin (mg/g)	10.15	0.13

ที่มา Shelton, and Brewbaker (1994)

ส่วนขององค์ประกอบทางเคมีในใบกระถินมีความแตกต่างกันแล้วแต่ว่าจะมีส่วนของกิ่งก้านหรือฝักปนมากน้อยเพียงใด และยังขึ้นอยู่กับอายุตลอดจนปัจจัยอื่นๆด้วย อย่างไรก็ตามโปรตีนในกระถินอยู่ในเกณฑ์ที่สูงคือ ช่วง 18.9-30.5 % ของวัตถุดิบ ดังตาราง 2

ตาราง 2 องค์ประกอบทางเคมีของใบกระถินจากรายงานแหล่งต่างๆ (%)

องค์ประกอบทางเคมี	Fresh leaf ^{1/}	Fresh, twigs, young ^{1/}	Leaf ^{2/}	Dry leaf ^{3/}	Leucaena ^{4/}	Leucaena ^{5/}
Dry Matter, DM	-	31.6	-	89.9	-	90.8
Crude Protein, CP	21.0	27.8	18.9	26.0	30.5	-
Crude Fiber, CF	18.1	10.4	-	11.2	-	-
EE	6.5	3.2	-	8.8	-	-
NFE	46.0	55.1	-	45.5	-	-
Ash	8.4	3.5	-	8.5	7.1	-
NDF	-	-	48.4	-	20.7	34.6
ADF	-	-	23.6	-	-	19.2
ADL	-	-	-	-	-	9.4

ที่มา ^{1/}Gohl (1975) ^{2/}Halim (1992) ^{3/}Cheva-Lsarakul (1982) ^{4/}Dalzell, *et al.* (1998)
^{5/}El hassan, *et al.* (2000)

จากตาราง 3 ซึ่งแสดงถึงปริมาณกรดอะมิโนในใบกระถินเปรียบเทียบกับถั่วอัลฟัลฟา กากถั่วเหลือง และปลาป่น จะเห็นได้ว่าปริมาณกรดอะมิโนของใบกระถินจากรายงานต่างๆ มีค่าต่างกันมาก ซึ่งอาจเนื่องมาจากปัจจัยหลายประการดังที่กล่าวมาก่อนหน้านี้ เช่นเดียวกับความผันแปรของปริมาณโปรตีน อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาโดยรวมพบว่ากรดอะมิโนต่างๆ ในใบกระถินมีค่าใกล้เคียงกับถั่วอัลฟัลฟา ปลาป่น และกากถั่วเหลือง ยกเว้น Lysine และ Methionine ในใบกระถินมีน้อยกว่าในปลาป่นเกือบ 2 เท่าจึงทำให้โปรตีนในใบกระถินมีคุณภาพต่ำกว่ากากถั่วเหลือง และปลาป่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อนำไปใช้เลี้ยงสัตว์กระเพาะเดี่ยว แต่การใช้เลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องอาจไม่เป็นปัญหามากนักเพราะมีจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนช่วยเปลี่ยนให้เป็นโปรตีนคุณภาพดีขึ้น

ตาราง 3 ปริมาณกรดอะมิโนของ ใบกระถิน ถั่วอัลฟัลฟา กากถั่วเหลือง และปลาป่น

Amino acid (mg/gN)	Leucaena ^{1/}	Leucaena leaf ^{2/}	Leucaena leaf ^{3/}	Leucaena leaf ^{4/}	Alfalfa ^{1/}	Fish meal ^{2/}	Soybean meal ^{2/}
Arginine	294	277	108	294	357	375	463
Cysteine	88	67	97	63	77	69	106
Histidine	125	123	569	119	139	-	181
Isoleucine	563	244	431	244	290	256	294
Leucine	469	444	815	419	494	475	488
Lysine	313	339	233	319	368	500	388
Methionine(M)	100	98	90	75	96	175	88
M+Cystine	188	-	-	-	173	-	-
Phenylalanine	294	283	622	269	307	256	319
Threonine	231	266	515	219	290	269	244
Tyrosine	263	208	375	200	232	-	238
Valine	338	311	590	275	356	325	300
Alanine	-	311	574	269	-	394	275
Aspartic acid	-	864	1631	575	-	625	756
Proline	-	305	659	306	-	244	300
Glycine	-	278	-	244	-	400	275
Serine	-	279	-	231	-	256	331
Glutamic acid	-	640	1146	550	-	813	1138

ที่มา ^{1/}Shelton, and Brewbaker (1994) ^{2/}Ter Meulen, and El-Harith (1985)

^{3/}ชาญชัย (2526) อ้างโดย วิสุทธิ (2530) ^{4/}Vearasilp, et al. (1981)

กระดามีแร่ธาตุ โพแทสเซียม (K) เหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) สูงกว่าความต้องการของโครีดนม ส่วนแร่ธาตุชนิดอื่นๆ มีปริมาณใกล้เคียงกับความต้องการของโค ยกเว้นโซเดียม (Na) ที่พบว่าปริมาณต่ำกว่าความต้องการมาก ซึ่งเป็นไปในทำนองเดียวกับพืชอาหารสัตว์ชนิดอื่นๆ ดังตาราง 4

ตาราง 4 ปริมาณแร่ธาตุหลักและแร่ธาตุปลีกย่อยในใบกระดามี

	N	Ca	K	Mg	P	S	Cu	Fe	Mn	Na	Zn
	-----DM%-----						-----p.p.m.-----				
Leucaena ^{1/}	-	0.5	2.3	0.23	0.40	0.51	6	104	55	374	34
Leucaena ^{2/}	4.53	0.71	1.84	0.31	0.26	0.27	8.0	164	185	300	29

ที่มา ^{1/} Dalzell, et al. (1998) ^{2/} Shelton, and Brewbaker (1994)

จากตาราง 5 พบว่าการย่อยได้ของวัตถุดิบของกระดามีในสัตว์เคี้ยวเอื้อง 3 ชนิดที่มีค่าแตกต่างกันคือ แพะย่อยได้ดีกว่าแกะและโคตามลำดับ อย่างไรก็ตามในตารางนี้เป็นผลจากการทดลองที่ต่างเวลา และต่างสถานที่กัน ดังนั้นนอกจากชนิดของสัตว์และชนิดของอาหารที่ใช้ทดลอง ยังอาจมีความแตกต่างกันไปตามอายุ และปัจจัยอื่นๆด้วย ข้อมูลจากตารางพบว่ากระดามีการย่อยได้ของวัตถุดิบอยู่ในช่วง 50-69 % สอดคล้องกับรายงานของ Sethi, and Kulkarni (no date) ที่พบว่าค่าการย่อยได้ของพืชตระกูลถั่วจะอยู่ในช่วง 50-70 % และเมื่อพิจารณาในโคพบว่าการย่อยของถั่วอัลฟัลฟาดีกว่าใบกระดามี

นอกจากนี้ได้มีการศึกษาเปรียบเทียบการย่อยได้ของวัตถุดิบ (invitro dry matter digestibility, IVDMD) โดยวิธี Two stages และค่าการย่อยสลายของวัตถุดิบในกระเพาะรูเมน โดยวิธี *in sacco* ของถั่วอัลฟัลฟา กระดามี กระดามีณรงค์ Tagasaste และ Sesbania ดังตาราง 6 พบว่าค่าการย่อยสลายวัตถุดิบของใบกระดามีสูงกว่าถั่วอัลฟัลฟาไม่ว่าจะศึกษาโดยวิธี two stages หรือ *in sacco* แต่เมื่อเปรียบเทียบกับถั่วยืนต้นชนิดอื่นๆ พบว่าค่าการย่อยได้ของใบกระดามีค่าต่ำกว่า Tagasaste และ Sesbania แต่สูงกว่ากระดามีณรงค์ เมื่อพิจารณาอัตราการย่อยสลายพบว่าการย่อยสลายของถั่วอัลฟัลฟาดีที่สุด

ตาราง 5 การย่อยได้ของใบกระถิน และถั่วอัลฟัลฟา ในสัตว์ชนิดต่างๆ

	Leucaena ^{1/}	Leucaena ^{2/}	Leucaena ^{2/}	Leucaena ^{2/}	Alfalfa ^{3/}
	-----%digestibility-----				
Dry matter	64.1	68.6	63.2	54.8	68.7
Organic matter	65.9	-	-	-	-
Crude protein	64.8	-	-	-	-
Crude fiber	44.3	-	-	-	-
EE	42.7	-	-	-	-
NFE	76.3	-	-	-	-
Ash	45.1	-	-	-	-
Animal	Sheep	Goats	Sheep	Cattle	Lac.cows
ที่มา	^{1/} Cheva-Isarakul (1982)	^{2/} Norton (1994)	^{3/} Merchen, and Satter (1983)		

ตาราง 6 การย่อยได้ของวัตถุดิบ (%) ในพืชตระกูลถั่ว วัดโดยวิธี Two stages และ *in sacco*

	Two	----- <i>in sacco</i> -----			
	stages	A	b	a+b	c(h ⁻¹)
ถั่วอัลฟัลฟา (<i>Medicago sativa</i>)	62.3	42.0	35.7	77.7	0.105
กระถิน (<i>Leucaena leucocephala</i>)	66.5	43.5	42.5	86.0	0.036
กระถินณรงค์ (<i>Acacia angustissima</i>)	58.6	36.8	37.8	73.6	0.032
Tagasaate (<i>Chamaecytisus palmensis</i>)	67.8	56.9	36.8	93.7	0.037
Sesbania (<i>Sesbania sesban</i>)	72.3	41.7	50.8	92.5	0.085

a=ส่วนที่ย่อยสลายได้ทันที b=ส่วนที่ย่อยสลายได้เมื่อเวลาผ่านไป

c(h⁻¹) = อัตราการย่อยสลายที่เวลาต่างๆ a+b = ค่าการย่อยสลายได้ทั้งหมด

ที่มา ดัดแปลงจาก El hassan, et al. (2000)

2. ผลของสารไมโมซินในกระถินที่มีต่อสัตว์

แม้ว่ากระถินจะมีคุณค่าทางอาหารสูง เมื่อเทียบกับพืชอาหารสัตว์ชนิดอื่นๆ แต่ในธรรมชาติ พบว่ากระถินสามารถสังเคราะห์สารชนิดหนึ่งคือ ไมโมซิน (mimosine) โดยมีกรดอะมิโนไลซีน (lysine) เป็นสารตั้งต้นที่สำคัญในการสังเคราะห์ และมีเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ คือ L-mimosine Synthase ซึ่งทำงานได้ดีที่ pH 7.8 (Murakoshi, et al. 1984) สารไมโมซินนี้จัดอยู่ในกลุ่มของกรดอะมิโนที่ไม่ใช่โปรตีน (non-protein amino acid) มีโครงสร้างคล้ายกับกรดอะมิโนไทโรซีน (tyrosine) มีชื่อทางเคมี คือ β -N-(3-hydroxy-4-pyridone)- α -amino propionic acid และมีสูตรทางเคมี คือ $C_9H_{10}O_4N_2$ สารชนิดนี้จึงขัดขวางการใช้ประโยชน์ของกรดอะมิโนไทโรซีน

สารไมโมซินพบได้ในพืชตระกูลถั่วเขตร้อนโดยเฉพาะถั่วยืนต้นสกุล *Leucaena* แต่ปริมาณจะแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ เช่น *L. leucocephala* มีสารชนิดนี้เกือบทุกส่วนของต้นพืช โดยมีปริมาณแตกต่างกันไปตามส่วนต่างๆ และอายุการเจริญเติบโต เช่นในช่วงที่เมล็ดเริ่มงอกมีไมโมซินคิดเป็นร้อยละของวัตถุแห้ง 12.3% ในใบมี 2.6-5.1% และในเมล็ดอ่อนมีมากกว่าเมล็ดที่แก่คือเท่ากับ 6.2 และ 3.2% ตามลำดับ (Sethi, and Kulkarni, no date) และจากรายงานของ Jone (1994) ปริมาณสารไมโมซินนี้พบมากในเนื้อเยื่อที่เจริญเติบโต เช่น ปลายรากที่เริ่มงอกจากเมล็ดเท่ากับ 8-12 % ใบอ่อน 4-6 % ในฝักอ่อนที่มีเมล็ด เท่ากับ 4-5 % ส่วนในประเทศไทยพบว่าใบกระถินมีไมโมซิน 3-5 % แต่กระถินปนที่มีขายในท้องตลาดจังหวัดเชียงใหม่มีไมโมซินประมาณ 1.2% ใกล้เคียงกับกระถินพื้นเมืองในเขตอำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม คือ 1.02-1.22 % (วิสุทธิ, 2530) และ Vearasilp, et al. (1981) รายงานว่าพบปริมาณไมโมซินในใบกระถินเท่ากับ 6.0% ของโปรตีนรวม หรือ เท่ากับ 1.2% ของวัตถุแห้ง

เป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่าใบกระถินแห้งและใบกระถินสดสามารถใช้เป็นแหล่งโปรตีนจากพืชที่หาง่ายและราคาถูกชนิดหนึ่งโดยใช้ทดแทนโปรตีนจากแหล่งอื่นๆ ที่มีราคาแพงหรืออาจหายากในบางฤดู มีการตื่นตัวใช้ใบกระถินในรูปแบบต่างๆ กันเป็นแหล่งโปรตีนในอาหารสัตว์กันมากทั้งในอาหารของสัตว์กระเพาะเดี่ยวและสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยมีปริมาณการใช้ที่จำกัดเนื่องจากสารไมโมซิน ปริมาณไมโมซินจะมีมากหรือน้อยนั้นจะแตกต่างกันไปตามพันธุ์ ลักษณะของใบ และระยะการเจริญเติบโตของกระถิน

สำหรับระดับการใช้ใบกระถินในอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง จะสามารถใช้ได้ในปริมาณที่สูงกว่าสัตว์กระเพาะเดี่ยว เนื่องจากสัตว์เคี้ยวเอื้องจะมีจุลินทรีย์บางชนิดที่สามารถย่อยสลายสารไมโมซินให้เป็นสาร DHP (Dihydroxy pyridone) ซึ่งจะถูกขับออกทางปัสสาวะของสัตว์



ได้ (Hegarty, 1964) เกี่ยวกับการสลายตัวของสาร DHP นี้รายงานว่าในบางท้องที่ของประเทศ ฮาวาย อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ และไทย มีแนวโน้มว่าอาจจะมีจุลินทรีย์บางชนิดในกระเพาะโค กระบือ สามารถทำลายสาร DHP นี้ได้ ปัญหาความเป็นพิษของสารไมโมซินต่อสัตว์กระเพาะรวม มักเกิดขึ้นน้อย เนื่องจากเมื่อสัตว์เคี้ยวเอื้องกิน เอนไซม์ที่อยู่ในเซลล์จะถูกปลดปล่อยออกมาทำการเปลี่ยนสารไมโมซินไปเป็นสาร DHP ประมาณ 30% ของไมโมซินที่กินเข้าไปมีการเปลี่ยนแปลงก่อนถึงกระเพาะรูเมน (Lowry, et al. 1983) เมื่อกระดุกถูกเคี้ยวผ่านมาถึงกระเพาะรูเมนส่วนของไมโมซินที่เหลือมีการเปลี่ยนไปเป็นสาร DHP จนหมดในช่วงเวลาสั้นๆ โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน แต่ถ้าสัตว์กินกระดุกที่ตากแห้ง เอนไซม์ภายในเซลล์พืชจะถูกทำลายไป ทำให้การเปลี่ยนไมโมซินไปเป็น DHP เกิดภายในกระเพาะรูเมนเท่านั้น (Jones, and Megarrity, 1986; Kumar, and D'Mello, 1995) DHP นี้ถ้าไม่ถูกสลายตัวจะทำให้สัตว์แสดงอาการเป็นพิษ ลักษณะที่มองเห็นด้วยตาคือ ขนที่บริเวณโคนหาง และที่หูหางจะร่วง สุขภาพทรุดโทรม และน้ำหนักลด ถ้ามีอาการรุนแรงจะมีน้ำลายไหลออกมามาก และมีแผลบริเวณปากและลิ้น นอกจากนี้จะทำให้การทำงานของต่อมไทรอยด์ผิดปกติ เกิดคอหอยพอกได้ (Jones, et al. 1986) ต่อมไทรอยด์นี้จะอยู่สองข้างของหลอดลม ทำหน้าที่ผลิตฮอร์โมนมาควบคุมกระบวนการเมตาโบลิซึมซึ่งจะมีผลต่อการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ สาเหตุของอาการเหล่านี้เป็นผลมาจากสาร DHP ถูกดูดซึมเข้าทางกระแสเลือดซึ่งไปรบกวนการทำงานของต่อมไทรอยด์ โดยไปรบกวนการจับตัวของสารอินทรีย์กับไอโอดีนทำให้ไม่สามารถสร้างฮอร์โมนไทรอกซินได้ ต่อมไทรอยด์จึงถูกกระตุ้นให้สร้างฮอร์โมนไทรอกซินมากขึ้น ก่อให้เกิดอาการคอหอยพอก และเนื่องจากสารไมโมซินมีโครงสร้างคล้ายกับ L-tyrosine จึงมีผลขัดขวางและยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนในร่างกาย เช่น ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ pyridoxal containing transaminase, tyrosine decarboxylase ทำให้มีการเจริญเติบโตช้าลง อีกทั้งสารไมโมซินยังไปรบกวนการทำงานของวิตามิน B₆ ซึ่งจำเป็นต่อการทำงานของเอนไซม์ cystathionine synthetase และ cystathionase ที่ใช้ในกระบวนการเปลี่ยน methionine ไปเป็น cysteine จึงมีผลทำให้ขนร่วง (Liener, 1989)

อาการเป็นพิษเนื่องจากสารไมโมซินในกระดุกเกิดได้ต่อเมื่อโคกินใบกระดุกสดเป็นปริมาณเกิน 50% ของอาหารที่กินต่อวัน และกินติดต่อกันนานเกิน 6 เดือน การให้ใบกระดุกสดในสัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่น โค กระบือ แพะ แกะ จะต้องให้ด้วยความรอบคอบ และให้ในปริมาณที่จำกัด แต่สำหรับในใบกระดุกแห้งนั้นจะมีสารพิษน้อยกว่าใบสด จึงสามารถใช้ในระดับสูงได้ และปลอดภัย

Jones (1994) รายงานว่า แกะที่กินกระถิน 50% และลูเซิร์น (lucerne) 50% ซึ่งจะได้รับปริมาณไมโมซินเท่ากับ 16-21 กรัมต่อวัน ไม่พบอาการเจ็บป่วยเนื่องจากสารไมโมซิน และระดับของสารไมโมซินไม่มีผลต่อ ความอยากกินอาหาร ระดับของไทรอกซินในเลือด ขนาดของต่อมไทรอยด์ และไม่พบสาร DHP ในปัสสาวะ ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองในปี ค.ศ. 1981 คณะนักวิจัยของ Jones ได้นำแพะจากประเทศออสเตรเลียมาทำการทดลองที่ประเทศอินโดนีเซีย จำนวน 4 ตัว โดย 2 ตัวมีการถ่ายน้ำนมจากแพะที่เลี้ยงในอินโดนีเซียลงในแพะจากออสเตรเลีย พบว่าแพะจากออสเตรเลียสามารถย่อยสลาย DHP ได้ เมื่อทำการเลี้ยงได้ 5 วันพบว่ากลุ่มที่ได้รับการถ่ายน้ำนมจากแพะอินโดนีเซีย (กลุ่ม 2) มี DHP ในปัสสาวะหลังวันที่ 5 น้อยกว่าเดิม แต่กลุ่มที่ไม่ได้รับการถ่าย (กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มควบคุม) มี DHP ในปัสสาวะสูงเช่นเดิม ส่วนปริมาณอาหารที่กินได้ พบว่าหลังวันที่ 5 กลุ่มที่ 2 กินอาหารได้มากกว่าเดิม และมากกว่ากลุ่มควบคุมถึง 2 เท่า

Kudo, *et al.* (1984) ได้ศึกษาอัตราการทำลายไมโมซินโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนที่ได้จากโคและแกะในประเทศแคนาดาที่กินอาหารขั้นเต็มที่ เทียบกับที่กินอาหารหยาบเต็มที่ พบว่าน้ำนมของโคที่กินอาหารขั้นเต็มจะมีอัตราการทำลายไมโมซินเท่ากับ 2.17 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร/ชั่วโมง ซึ่งเร็วกว่าโคที่กินอาหารหยาบเต็มที่ โดยมีอัตราการทำลาย 0.44 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร/ชั่วโมง ส่วนแกะที่กินอาหารขั้นเต็มจะมีอัตราการทำลายไมโมซินเท่ากับ 2.88 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร/ชั่วโมง ซึ่งเร็วกว่าแกะที่กินอาหารหยาบเต็มที่ โดยมีอัตราการทำลาย <1.87 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร/ชั่วโมง ได้มีการศึกษาต่อโดยนำเชื้อจุลินทรีย์จากกระเพาะแพะที่เลี้ยงบนเกาะ Maui ที่กินกระถินมาเลี้ยงบนจานเลี้ยงเชื้อที่มีสาร DHP และไมโมซิน พบว่าสารดังกล่าวถูกย่อยสลายหมด และพบจุลินทรีย์จัดอยู่ในกลุ่มแกรมลบ มีลักษณะเป็นท่อน (gram negative rods) เป็นตัวย่อยสลาย จุลินทรีย์กลุ่มนี้สามารถอยู่ในสภาพไร้ออกซิเจน จึงทดลองนำอาหารที่มีจุลินทรีย์กลุ่มนี้บรรจุลงในหลอดทดลอง 10 หลอด มีปริมาตร 9 ml นำไปถ่ายลงในกระเพาะรูเมนของโคที่แสดงอาการเป็นพิษเนื่องจากไบกระถิน ใน Townsville และ Oonoonba หลังจากได้รับการถ่ายเชื้อแล้วพบว่า โคมีการขับถ่ายไมโมซิน และ DHP เพิ่มขึ้น และกินอาหารได้เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า จุลินทรีย์กลุ่มที่สามารถย่อยสลายสารไมโมซิน และ DHP สามารถแพร่กระจายจากสัตว์ตัวหนึ่งไปยังอีกตัวหนึ่งได้เองโดยธรรมชาติภายใน 5 สัปดาห์ (Jones, 1994)

แม้ว่าจะมีการค้นพบจุลินทรีย์ที่สามารถลดความเป็นพิษของสารไมโมซินลงได้ อย่างไรก็ตามก็เพื่อความปลอดภัยในการนำไบกระถินมาทำการเลี้ยงสัตว์ ควรกำหนดปริมาณที่ให้สัตว์กิน แต่เนื่องจากความแตกต่างด้านสายพันธุ์ของสัตว์ สายพันธุ์กระถิน และความเคยชินในการกินของสัตว์ ดังนั้นปริมาณกระถินสดที่ควรให้สัตว์กินจะแตกต่างกันไปตามชนิดของสัตว์ดังนี้ ในโค-กระบือ

ควรให้ไม่เกิน 30% และไม่เกิน 50% ของอาหารทั้งหมด (Kumar, 1992) หรือ โค-กระบือสามารถกินปริมาณไมโมซินได้ไม่เกิน 0.18 g/kg ของน้ำหนักตัว และแกะไม่เกิน 0.18 และ 0.14 g/kg ของน้ำหนักตัวตามลำดับ (Kumar, and D'Mello, 1995)

3. การใช้ใบกระถินเป็นอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

จินตนา, และคณะ (2526) ได้ทดลองให้โคลูกผสมบราห์มัน ที่มีน้ำหนักตัวเริ่มต้น 120 กิโลกรัม จำนวน 5 ตัวกินใบกระถินสด คิดเป็นร้อยละ 50 ของอาหารทั้งหมด เป็นเวลา 232 วัน พบว่าโคมีอาการเป็นพิษไม่พร้อมกัน คือ โค 1 ตัวแสดงอาการเป็นพิษหลังกินกระถิน 80 วัน โค 2 ตัว แสดงอาการหลังกินได้ 8 เดือน โดยมีอาการ น้ำตาไหลตลอดเวลา น้ำลายไหล และน้ำหนักตัวลด แต่อาการเหล่านี้จะหายไปเมื่อไม่ให้อาหารใบกระถิน และอีก 2 ตัวไม่แสดงอาการเป็นพิษ ซึ่งต่างจากรายงานของ จินดา และคณะ (2529) ที่ใช้ใบกระถินสดเพียงอย่างเดียวขุนกระบือลูกผสม มูร่าห์เพศผู้ตอน อายุประมาณ 2 ปี 6 เดือน จำนวน 2 ตัว โดยให้อาหารอย่างเต็มที่นาน 768 วัน กระบือสามารถกินได้ 58.53 กิโลกรัมสด/ตัว/วัน หรือเท่ากับ 5.88 กิโลกรัมแห้ง/ตัว/วัน มีอัตราการเจริญเติบโตตลอดการทดลองเฉลี่ย 0.27 กิโลกรัม/ตัว/วัน มีสุขภาพสมบูรณ์ ไม่แสดงอาการอันเนื่องมาจากพิษของไมโมซินทั้งลักษณะภายนอก และทางพยาธิของอวัยวะภายใน

บุญเสริม, และบุญล้อม (2529) ได้ศึกษาการเสริมใบกระถินแห้ง ร่วมกับฟางปรงแต่ง ยูเรีย 5% โดยทดลองในโครุ่นลูกผสม ขาว-ดำ อายุประมาณ 7 เดือน น้ำหนักเฉลี่ย 105 กิโลกรัม จำนวน 2 กลุ่มๆ ละ 6 ตัว โดยกลุ่มที่ 1 กินฟางปรงแต่งเต็มที่ กลุ่มที่ 2 กินฟางปรงแต่งเสริม ใบกระถินแห้ง 0.5 กิโลกรัม/ตัว/วัน และทั้ง 2 กลุ่มเสริมรำละเอียด 1 กิโลกรัม/ตัว/วัน ในอาหาร เป็นเวลา 98 วัน พบว่ากลุ่มที่ 2 กินอาหารได้มากกว่ากลุ่มที่ 1 คิดเป็นปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้ เท่ากับ 2.8 vs 2.4 กิโลกรัม/ตัว/วัน มีผลให้อัตราการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหารดีกว่ากลุ่มที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญ

บุญล้อม (2531) ได้ทดลองเปรียบเทียบให้แกะเพศผู้ น้ำหนักเฉลี่ย 19.8 กิโลกรัม แบ่งเป็น 5 กลุ่มๆ ละ 5 ตัว แต่ละกลุ่มกินฟางข้าวหมักยูเรีย 4% ร่วมกับใบกระถินสด 1 กิโลกรัม/ตัว/วัน และฟางข้าวราดยูเรีย 2% ร่วมกับ กากน้ำตาล 10% และ ใบกระถินสด 1 กิโลกรัม/ตัว/วัน เป็นเวลา 69 วัน พบว่าแกะมีอัตราการเจริญเติบโตดีขึ้น และไม่มีอาการเป็นพิษเนื่องจากไมโมซินเช่นกัน แม้ว่าเมื่อคิดเป็นปริมาณกระถินแห้งที่กินต่อน้ำหนักตัว เท่ากับ 1.3%

บทบาทของโปรตีนในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

โปรตีนจัดเป็นสารอาหารประเภทหนึ่งในสารอาหาร 6 ประเภทหลัก คือคาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน แร่ธาตุ วิตามินและ น้ำ โปรตีนเป็นองค์ประกอบสำคัญของร่างกายสัตว์ทุกชนิด เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต การซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของร่างกาย การให้ผลผลิตต่างๆ รวมถึง การสร้างระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย โปรตีนพบอยู่ในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตทุกชนิดทั้งเซลล์พืช และ เซลล์สัตว์ ในการเลี้ยงสัตว์ อาหารที่จะให้เลี้ยงสัตว์ในแต่ละวันนั้นจะต้องคำนึงถึงระดับโปรตีนใน อาหารว่าสัตว์จะได้รับโปรตีนในปริมาณที่เพียงพอต่อการดำรงชีพและการให้ผลผลิตหรือไม่ เพราะ ถ้าสัตว์ได้รับโปรตีนไม่เพียงพอตามความต้องการ หรือการได้รับโปรตีนที่มีคุณภาพต่ำ มีกรดอะมิโน ที่จำเป็นต้องมีในอาหารไม่สมดุลย์กันก็จะทำให้สัตว์แคระแกรน อัตราการเจริญเติบโตต่ำกว่า มาตรฐาน สัตว์อ่อนแอ ผลผลิตต่ำ ทำให้ผู้เลี้ยงสัตว์ขาดทุนได้ ดังนั้นการให้อาหารหรือประกอบ สูตรอาหารเลี้ยงสัตว์ให้ได้ผลผลิตตอบแทนกลับมามาตามความต้องการ

1. โครงสร้างและหน้าที่ของโปรตีน

โปรตีนเป็นอินทรีย์สารที่มีโมเลกุลใหญ่และซับซ้อน มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 5,000-1,000,000 หรือมากกว่านั้น โปรตีนประกอบด้วยธาตุ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน เหมือน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน แต่มีไนโตรเจนปริมาณที่มากและมีสัดส่วนค่อนข้างคงที่ คือ ในน้ำนม ประมาณ 15% ในเนื้อสัตว์ประมาณ 16% ในเมล็ดธัญพืชประมาณ 17% และถั่ว ประมาณ 18% โดยเฉลี่ยแล้วโปรตีนมีไนโตรเจนประมาณ 16% การที่โปรตีนมีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่ ค่อนข้างคงที่นี้เอง จึงมีการใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์หาโปรตีนในอาหารโดยการวิเคราะห์หา ปริมาณไนโตรเจน แล้วคูณด้วยค่า 6.25 ก็จะได้ค่าโปรตีนโดยประมาณในอาหารชนิดนั้น นอกจากนี้โปรตีนยังมีธาตุอื่นเป็นองค์ประกอบอีกเช่น กำมะถัน และฟอสฟอรัส และอาจพบ เหล็ก ไอโอดีน และโคบอลท์ เป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณที่น้อยมาก

1.1 โครงสร้างทางเคมีของโปรตีน

โปรตีนเป็นสารประกอบที่ซับซ้อน ประกอบด้วยหน่วยย่อยที่เรียกว่ากรดอะมิโน (amino acid) ชนิดต่างๆ ซึ่งจับกันด้วยพันธะเปปไทด์ (peptide linkage) ต่อกันเป็นสายยาว เหมือนลูกโซ่ หรืออาจพันกันรวมเป็นกลุ่ม บางชนิดเป็นเกลียว หรือขดเป็นวง เพราะมีการเชื่อมต่อกันระหว่างกรดอะมิโนด้วยพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) หรือการเชื่อมต่อกันของซัลเฟอร์ สองอะตอม (disulfide linkage) โปรตีนสามารถแบ่งออกได้ตามองค์ประกอบดังนี้

1.1.1 โปรตีนรวม (crude protein, CP) หมายถึง ปริมาณโปรตีนที่ได้จากการวัดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในอาหารคูณกับค่าดัชนี 6.25 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนที่มีในโปรตีน ปริมาณโปรตีนดังกล่าวสัตว์ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งหมดเนื่องจากไนโตรเจนที่ไม่ได้เป็นองค์ประกอบของโปรตีนตัวสัตว์ไม่สามารถนำไปใช้ในการสร้างเป็นกรดอะมิโนได้

1.1.2 โปรตีนแท้ (true protein, TP) หมายถึง โปรตีนที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนจับกันเป็นโมเลกุลใหญ่ สัตว์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการสร้างโปรตีนในร่างกาย หรือในผลิตภัณฑ์ของสัตว์ได้

1.1.3 สารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (non-protein nitrogen, NPN) ได้แก่ ยูเรีย ไบยูเรต และไนเตรท เป็นต้น ยูเรีย และไบยูเรต สามารถใช้เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ถ้าใช้อย่างถูกวิธี

1.2 หน้าที่ของโปรตีนในร่างกาย

1.2.1 โปรตีนเป็นส่วนประกอบของทุกเซลล์ในร่างกาย คือส่วนประกอบของเนื้อเยื่อทุกชนิด เช่น กล้ามเนื้อ กระดูก ฟัน ขน เล็บ เลือด เนื้อเยื่อของอวัยวะต่างๆ

1.2.2 สร้างและซ่อมแซมเซลล์ต่างๆที่เสื่อมสลายให้อยู่ในสภาพปกติที่จะทำงานได้ซึ่งกระบวนการนี้จะเกิดขึ้นตลอดเวลาที่สัตว์ยังมีชีวิตอยู่

1.2.3 ใช้ในการสร้างอินทรีย์สาร (organic compound) ต่างๆ ที่สำคัญต่อร่างกายเช่น เอมไซม์ และฮอร์โมน ซึ่งมีหน้าที่สำคัญต่อระบบการทำงานภายในร่างกาย โดยเฉพาะการย่อย การดูดซึม และกระบวนการเมตาโบลิซึม (metabolism) ของอาหาร นอกจากนี้แล้วโปรตีนยังเป็นส่วนประกอบของนิวคลีโอโปรตีน (nucleoprotein) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการถ่ายทอดพันธุกรรม และไฟบริโนเจน (fibrinogen) ซึ่งสร้างไฟบริน (fibrin) เพื่อช่วยในการแข็งตัวของเลือดอีกด้วย

1.2.4 ช่วยในการควบคุมการเคลื่อนไหวของของเหลวในร่างกายโดยโปรตีนในเลือดจะรักษาระดับความสมดุลของความดันออสโมติก (osmotic pressure) ทำให้น้ำหรือของเหลวในเซลล์กับนอกเซลล์อยู่ในสภาวะสมดุล

1.2.5 ควบคุมความเป็นกรด-ด่างในเลือด ในเนื้อเยื่อต่างๆ ให้อยู่ในสภาวะปกติ คือ ในเลือดมีภาวะความเป็นกรด-ด่าง (pH) ระหว่าง 7.35-7.45 จึงจะทำให้การทำงานของร่างกายเป็นปกติ

1.2.6 ใช้ในการสร้างภูมิคุ้มกันด้านทานโรค (antibody) โดยแอกมาโกลบูลิน (α - globulin) ซึ่งเป็นโปรตีนชนิดหนึ่งในเลือดจะทำหน้าที่ในการสร้างภูมิคุ้มกันด้านทานโรค ถ้าสัตว์ได้รับโปรตีนไม่เพียงพอ จะทำให้มีภูมิคุ้มกันด้านทานโรคต่ำ

1.2.7 เก็บสะสมไว้ในร่างกาย โปรตีนสามารถใช้เป็นพลังงานแทนคาร์โบไฮเดรตและไขมันได้โดย โปรตีน 1 กรัมให้พลังงาน 4 กิโลแคลอรี

ในลูกสัตว์เคี้ยวเอื้อง ซึ่งกระเพาะในสตรูเมนยังทำงานได้เพียงเล็กน้อย ความต้องการโปรตีนจากอาหารจะมีมากเช่นเดียวกับสัตว์กระเพาะเดียว ความต้องการของกรดอะมิโนจะหาได้จากส่วนประกอบของกรดอะมิโนในน้ำนม หรืออาหารทดแทนนม

2. คุณภาพของโปรตีน

โปรตีนจากแหล่งต่างๆมีคุณภาพไม่เหมือนกันทั้งนี้เนื่องจากส่วนประกอบของกรดอะมิโนที่เป็นโครงสร้างของโปรตีนนั้นมีจำนวนชนิด และอัตราส่วนของกรดอะมิโนไม่เหมือนกัน โดยทั่วไปแล้วโปรตีนที่ได้จากพืชจะมีคุณภาพต่ำกว่าโปรตีนที่ได้จากสัตว์ โปรตีนที่ให้กรดอะมิโนบางชนิดหรือหลายชนิดไม่เพียงพอต่อความต้องการของสัตว์ เช่น โปรตีนจากข้าวโพด ปลายข้าว รำละเอียด จัดเป็นโปรตีนคุณภาพต่ำ การใช้วัตถุดิบอาหารประเภทนี้แต่เพียงอย่างเดียวเลี้ยงสัตว์ จะทำให้สัตว์โตช้า และให้ผลผลิตลดลง โปรตีนที่ให้กรดอะมิโนชนิดต่างๆ ในสัดส่วนและปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของสัตว์ เช่น โปรตีนจาก กากถั่วเหลือง ปลาป่น จัดเป็นโปรตีนคุณภาพสูง สัตว์จะใช้โปรตีนได้อย่างมีประสิทธิภาพ วัตถุดิบอาหารที่ให้โปรตีนคุณภาพสูงนั้นยังสามารถใช้เป็นแหล่งให้กรดอะมิโนเสริมกับวัตถุดิบธัญพืช ทำให้คุณภาพโปรตีนของอาหารผสมดีขึ้น นอกจากนี้ในปัจจุบันยังมีกรดอะมิโนสังเคราะห์ หรือ กรดอะมิโนบริสุทธิ์แต่ละชนิด ซึ่งสามารถใช้เติมลงไปในการอาหารเพื่อป้องกันการขาดกรดอะมิโนชนิดนั้นๆ ได้

3. การย่อยสลายโปรตีนในรูเมนและการนำไปประโยชน์ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

โดยทั่วไปโปรตีนในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถแบ่งได้ 2 กลุ่ม คือ

3.1 กลุ่มที่ย่อยสลายได้ดีในกระเพาะรูเมน (rumen degradable protein, RDP หรือ degradable intake protein, DIP) ประกอบด้วยโปรตีนที่ละลายได้ในกระเพาะรูเมน (soluble protein) และที่ไม่ละลายบางส่วน เป็นโปรตีนในอาหารที่ถูกย่อยโดยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน ซึ่งรวมถึงไนโตรเจนที่ไม่ได้เป็นโปรตีน โปรตีนที่แท้จริงส่วนใหญ่ละลายได้ แต่มีบางส่วนของโปรตีนที่แท้จริงที่ไม่ละลาย ซึ่งส่วนใหญ่เป็นโปรตีนที่เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ และโปรตีนที่สูญเสียสภาพโดยความร้อน โปรตีนในอาหารจะถูกเอนไซม์ของจุลินทรีย์ย่อยให้กลายเป็นเปปไทด์ที่มีขนาดและความยาวแตกต่างกัน กรดอะมิโนอิสระ และแอมโมเนีย ซึ่งจุลินทรีย์จะนำไปสร้างเป็นโปรตีนของตัวเอง ดังนั้นนอกเหนือจากคาร์โบไฮเดรตแล้ว

RDP ที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการสร้างโปรตีนของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน ระดับของ RDP ที่เหมาะสมในสูตรอาหารขึ้นอยู่กับระดับของคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยหมักได้ง่ายในสูตรอาหาร ซึ่งโดยทั่วไประดับของโปรตีนที่เหมาะสมในสูตรอาหารมีค่าประมาณ 10-12 % ของวัตถุดิบแห้ง

3.2 กลุ่มที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมน (ruminal undegradable protein, RUP หรือ undegradable intake protein, UIP) หรือที่เรียกว่าโปรตีนไหลผ่าน (by pass protein หรือ escape protein) ประกอบด้วยโปรตีนที่ไม่ละลายในกระเพาะรูเมน (insoluble protein) เป็นส่วนใหญ่ เป็นโปรตีนในอาหารที่ไหลผ่าน และ/หรือไม่ถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน วัตถุดิบอาหารสัตว์ทุกชนิดยกเว้นไนโตรเจนที่ไม่ได้เป็นโปรตีนจะมีส่วนของโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยในกระเพาะรูเมนประกอบดังตาราง 7 ซึ่งได้แสดงค่าเฉลี่ยของ RUP ในวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่รายงานโดยสภาวิจัยแห่งชาติของประเทศสหรัฐอเมริกา (National Research Council, NRC) RUP ส่วนใหญ่จะเป็นโปรตีนที่เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ ซึ่งมักจะรวมกันอยู่กับเยื่อใย โปรตีนส่วนนี้เมื่อผ่านไปยังกระเพาะแท้และลำไส้เล็ก หลังจากนั้นจะถูกเอนไซม์จากตัวสัตว์ที่ย่อยโปรตีนทำการย่อยและดูดซึมนำไปใช้ประโยชน์ได้ RUP อีกส่วนหนึ่งเป็นส่วนที่ย่อยไม่ได้ในกระเพาะแท้และลำไส้เล็ก จึงเป็นส่วนที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อสัตว์ RUP เป็นแหล่งของกรดอะมิโนที่สำคัญอีกแหล่งหนึ่งของสัตว์เคี้ยวเอื้อง และโดยเฉพาะสัตว์ที่ให้ผลผลิตสูง

ตาราง 7 ค่าเฉลี่ยของ RUP ในวัตถุดิบอาหารสัตว์บางชนิด

วัตถุดิบอาหารสัตว์	RUP (เปอร์เซ็นต์ของโปรตีน)
พืชอาหารสัตว์	
หญ้า	40
ข้าวโพดหมัก	31
หญ้าผสมถั่วโคลเวอร์หมัก	28
ถั่วอัลฟัลฟาแห้ง	23
หญ้าหมัก	21
เมล็ดธัญพืช	
ข้าวฟ่าง	54
ข้าวโพด	52
ข้าวบาร์เลย์	27

ตาราง 7 (ต่อ)

วัตถุดิบอาหารสัตว์	RUP (เปอร์เซ็นต์ของโปรตีน)
กากเมล็ดฝ้าย	43
กากถั่วเหลือง	35
กากเรปซีด	28
กากเมล็ดทานตะวัน	26
โปรตีนจากสัตว์	
เลือดปน	82
ขนไก่ปน	71
ปลาปน	60
เนื้อและกระดูกปน	49

ที่มา NRC (1998.)

การวิเคราะห์หา RUP และ RDP ในวัตถุดิบอาหารสัตว์เป็นวิธีการที่ยังไม่มีมาตรฐาน เหมือนกับการวิเคราะห์ทางเคมีอื่นๆ แต่วิธีการที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน คือ การหาอัตราการย่อยสลายและปริมาณของโปรตีนที่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมน โดยวิธีการนำวัตถุดิบอาหารสัตว์บรรจุในถุงที่มีขนาดของรูที่เหมาะสม (ไม่ใหญ่เกินไปจนทำให้อนุภาคของอาหารเล็ดลอดออกมาได้ และก็ไม่เล็กจนเกินไปจนทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเข้าไปย่อยสลายอาหารได้) แล้วนำไปแช่ในกระเพาะรูเมนประมาณ 24-48 ชั่วโมง หลังจากนั้นก็วัดปริมาณของโปรตีนที่เหลือในวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่อยู่ในถุง โปรตีนส่วนที่เหลืออยู่จะเป็น RUP ส่วนที่สูญหายไปก็คือ RDP วิธีนี้รู้จักกันครั้งแรกในชื่อ เทคนิคการใช้ถุงไนลอน (nylon bag technique) เนื่องจากวัสดุที่ใช้ทำถุงครั้งแรกเป็นผ้าไนลอน ปัจจุบันได้มีการทดลองใช้วัสดุหลายชนิดมาทำถุง และพบว่าที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด คือ ฟ้าตาครอน (Dacron) จึงเรียกว่า เทคนิคการใช้ถุงตาครอน (Dacron bag technique) แต่ชื่อที่เป็นชื่อรวมของวิธีการนี้ คือ เทคนิคอินซิทู (in situ technique)

ตาราง 8 เปอร์เซ็นต์ RUP ในวัตถุดิบอาหารโปรตีนที่ได้จากการใช้เทคนิคถลุงดาครอน

วัตถุดิบโปรตีน	จำนวนตัวอย่าง	พิสัย	ค่าเฉลี่ย
โปรตีนจากพืช			
กากถั่วเหลือง	6	55-77	66
กากเบียร์แห้ง	5	50-63	57
ส่าเหล้าแห้ง	5	47-64	56
กากเมล็ดฝ้าย(อัดน้ำมัน)	1	-	55
กากเมล็ดฝ้าย(สกัดน้ำมัน)	1	-	46
กากถั่วเหลือง(อัดน้ำมัน)	3	38-53	46
กากถั่วเหลือง(สกัดน้ำมัน)	5	22-29	25
โปรตีนจากสัตว์			
เลือดป่น	12	78-98	88
ขนไก่ป่น(ผ่านการไฮโดรไลซ์)	12	50-88	76
ปลาป่น	13	59-73	65
เนื้อป่นและกระดูกป่น	11	40-88	59

ที่มา Stern และคณะ (1994)

โปรตีนที่สัตว์เคี้ยวเอื้องได้รับจากอาหารเมื่อเข้าสู่กระเพาะรูเมน โปรตีนกลุ่มที่ถูกย่อยสลายได้ จะถูกย่อยให้เป็นโมเลกุลเล็กๆ ก่อน ด้วยน้ำย่อยจากจุลินทรีย์โดยเฉพาะแบคทีเรีย ได้เป็นกรดอะมิโน แล้วจะถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย ซึ่งจะถูกแบคทีเรียนำไปสร้างเป็นโปรตีนในตัวของมันเอง (microbial protein) ต่อไป ส่วนโปรตีนในกลุ่มที่ไม่ถูกย่อย รวมทั้งแบคทีเรียและจุลินทรีย์อื่นๆ ในกระเพาะรูเมนจะผ่านลงสู่ทางเดินอาหารส่วนล่างซึ่งจะถูกย่อยที่ลำไส้เล็กโดยน้ำย่อยจากตัวสัตว์เองได้เป็นกรดอะมิโนและถูกดูดซึมเข้าไปใช้ประโยชน์ต่อไป โปรตีนส่วนที่ย่อยไม่ได้จะถูกขับออกมาทางมูล ส่วนกรดอะมิโนที่ถูกดูดซึมเข้าไป และแอมโมเนียที่เกิดขึ้นในกระเพาะรูเมน ซึ่งถูกเปลี่ยนให้เป็นยูเรียที่ตับ ส่วนหนึ่งจะถูกขับออกทางปัสสาวะ (บุญล้อม, 2541)

4. โปรตีนจุลินทรีย์ที่สร้างได้ในกระเพาะรูเมน (ruminally synthesized microbial protein)

เป็นโปรตีนในเซลล์ (cellular protein) ของแบคทีเรีย โปรโตซัว และเชื้อราที่อยู่ในกระเพาะรูเมนและไหลผ่านพร้อมกับโภชนาอื่นๆ ที่ไม่ถูกย่อยโดยกระเพาะรูเมนไปยังลำไส้เล็ก ในปัจจุบันสามารถแยกชนิดของแบคทีเรียในกระเพาะรูเมนได้มากกว่า 200 ชนิด โปรโตซัวมากกว่า 20 ชนิด และเชื้อราอย่างน้อย 12 ชนิด ถ้าสัตว์กินอาหารที่เหมาะสม โปรตีนที่ได้จากการสังเคราะห์ของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน สามารถให้กรดอะมิโนที่สัตว์สามารถดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้ประมาณ 50-65 % โดยส่วนใหญ่เป็นโปรตีนจากแบคทีเรีย ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปริมาณของโปรตีนที่สังเคราะห์ของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนคือ ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยหมักได้ง่ายในกระเพาะรูเมน และสารประกอบไนโตรเจนซึ่งไม่ใช่โปรตีน ซึ่งเป็นแหล่งของแอมโมเนีย

5. ข้อดีและข้อเสียของการย่อยสลายโปรตีนในรูเมน

บุญล้อม (2527) ได้กล่าวถึงข้อดีข้อเสียของการย่อยสลายโปรตีนที่มีคุณภาพต่างกัน ในกระเพาะรูเมนไว้ดังนี้ คือ ถ้าโปรตีนที่สัตว์กินเข้าไปมีคุณภาพต่ำ มีสัดส่วนของกรดอะมิโนไม่เหมาะสมกับความต้องการของสัตว์ หรือขาดกรดอะมิโนที่จำเป็น (essential amino acids) เป็นจำนวนมาก การถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมน แล้วสร้างเป็นจุลินทรีย์โปรตีนก็นับว่าได้กำไร ทั้งนี้เนื่องจากจุลินทรีย์สามารถสังเคราะห์กรดอะมิโนที่จำเป็นได้ในขณะที่สัตว์เองสังเคราะห์ไม่ได้ เมื่อ จุลินทรีย์เดินทางออกจากกระเพาะรูเมนไปกับอาหารจนถึงลำไส้เล็ก จะถูกย่อยโดยเอนไซม์จากตัวสัตว์ได้เป็นกรดอะมิโนที่เหมาะสมกับความต้องการของร่างกายถ้าโปรตีนที่สัตว์กินเข้าไปมีคุณภาพดีอยู่แล้ว คือมีสัดส่วนของกรดอะมิโนที่เหมาะสมกับความต้องการของสัตว์การถูกย่อยสลายให้เป็นแอมโมเนียแล้วนำไปสร้างเป็นโปรตีนของจุลินทรีย์นับว่าขาดทุน ทั้งนี้เนื่องจากสารประกอบไนโตรเจนในตัวจุลินทรีย์อยู่ในรูปของกรดนิวคลีอิกเป็นจำนวนมาก (ประมาณ 20% ของไนโตรเจนทั้งหมด) ซึ่งสัตว์ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ อีกทั้งสัดส่วนของกรดอะมิโนที่จำเป็นในโปรตีนของจุลินทรีย์อาจเร็วกว่าโปรตีนเดิมที่กินเข้าไปก็ได้ นอกจากนี้การย่อยสลายของโปรตีนให้กลายเป็นแอมโมเนียนั้นจุลินทรีย์อาจจะนำแอมโมเนียไปใช้ได้ไม่หมดหรือใช้ไม่ทันทำให้เกิดการสูญเสีย

เมื่อพิจารณาจากภาพ 4 จะพบว่าการนำแอมโมเนียไปใช้ในการสังเคราะห์โปรตีนอย่างมีประสิทธิภาพนั้น จำเป็นต้องมีคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่ายอย่างเพียงพอ แต่เนื่องจากอาหารหยากในประเทศไทยมีคุณภาพไม่ดี พลังงานที่จุลินทรีย์นำมาใช้ในการเปลี่ยนแอมโมเนียให้เป็นโปรตีนจึงมีไม่เพียงพอ ทำให้แอมโมเนียในกระเพาะรูเมนสูง ซึ่งจะซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมนเข้าสู่กระแสเลือดและถูกเปลี่ยนเป็นยูเรียที่ตับ และถูกขับถ่ายออกทางปัสสาวะ ซึ่งเป็นการสูญเสีย

โปรตีนไปโดยไม่เกิดประโยชน์ นอกจากนี้ถ้าความเข้มข้นของแอมโมเนียมีสูงเกินไปจนร่างกายขับออกไม่ทันจะเกิดความเป็นพิษขึ้น

Protein -----> NH_3 , CO_2
 Carbohydrate-----> Keto acid + VFA
 NH_3 + Keto acid-----> Microbial protein
 Microbial protein-----> Free amino acid -----> Absorbed

ภาพ 4 กระบวนการย่อยสลายโปรตีนในอาหารของโคนม (ดัดแปลงจาก NRC, 1998)

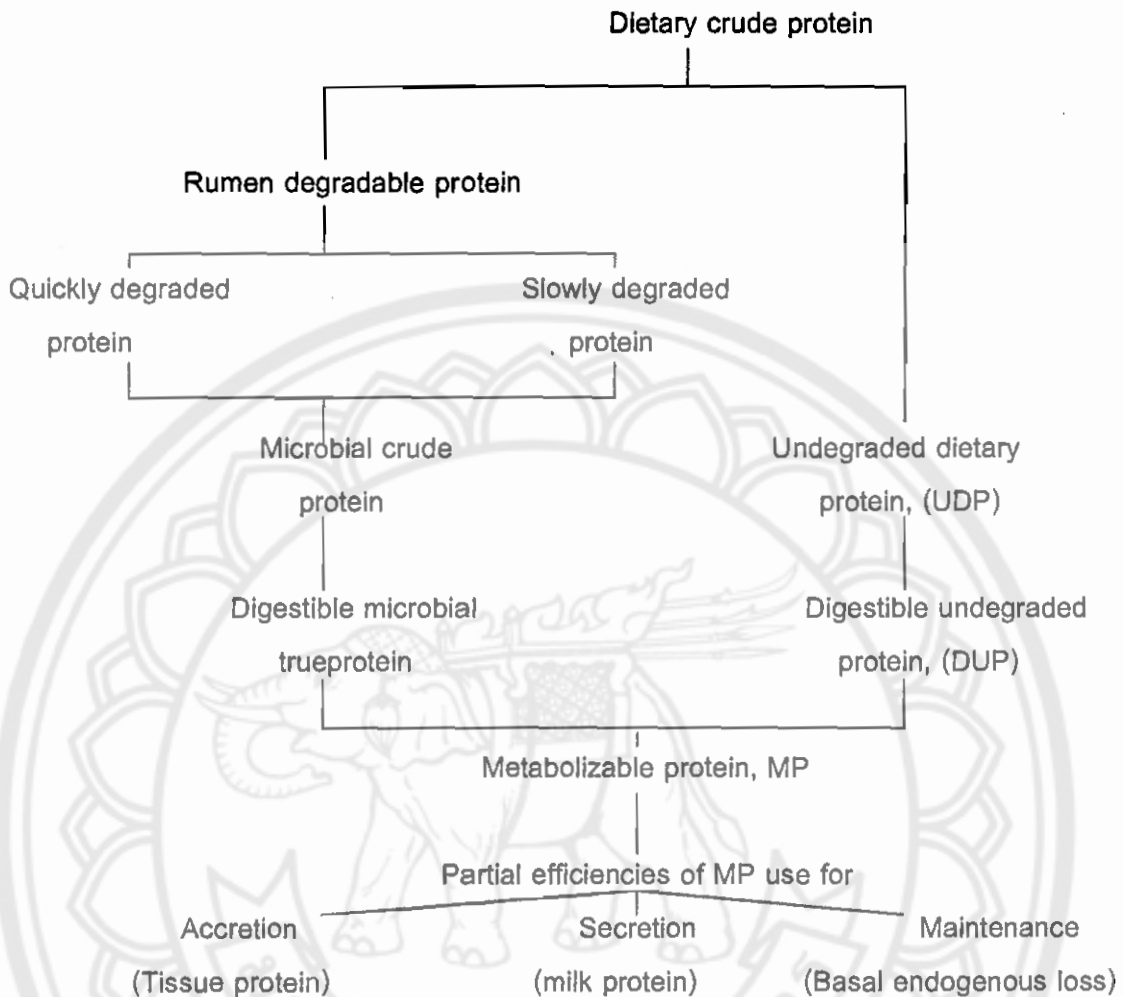
การที่โปรตีนจะสลายตัวในรูเมนได้มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับ การละลายได้ (Solubility) ของโปรตีนนั้นเป็นสำคัญ อย่างไรก็ตาม อัตราการไหลผ่านทางเดินอาหาร (flow rate) ปริมาณอาหารที่กิน องค์ประกอบของอาหาร pH ในกระเพาะรูเมน และโครงสร้างของโปรตีนก็มีส่วนเกี่ยวข้องด้วย (บุญล้อม, 2527)

Satter (1986) สรุปว่าปัจจัยที่มีผลต่อการแตกตัวของโปรตีนในรูเมน คือ พันธะไดซัลไฟด์ (disulfide bond) ในโมเลกุลของโปรตีน ระยะเวลาที่อยู่ในรูเมน (retention time) การละลายของโปรตีน กรรมวิธีการเก็บรักษา

Chalupa (1986) รายงานว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการไหลผ่านออกจากกระเพาะรูเมน ได้แก่ ปริมาณอาหารที่กิน ความถ่วงจำเพาะ ขนาดของชิ้นอาหาร อัตราส่วนระหว่างอาหารหยาบกับอาหารข้น และอัตราการย่อยสลายในรูเมน

6. โปรตีนไหลผ่าน (By pass protein)

เป็นโปรตีนที่ย่อยสลายได้น้อยในกระเพาะรูเมน ซึ่งจะผ่านกระเพาะรูเมนไปถูกย่อยสลายที่ลำไส้เล็ก โดยโปรตีนที่ผ่านไปถึงลำไส้เล็กมาจากสองแหล่ง คือโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมน (ruminally undegradable protein, RUP) และโปรตีนจุลินทรีย์ที่สร้างได้ในกระเพาะรูเมน (ruminally synthesized microbial protein) ซึ่งโปรตีนจากสองแหล่งนี้รวมกันเรียกว่า Metabolizable protein, MP ซึ่งเมื่อไปถึงลำไส้เล็กจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์จากตัวสัตว์ได้เป็นกรดอะมิโนซึ่งจะถูกดูดซึมไปใช้ประโยชน์ในตัวสัตว์ได้โดยตรงและมีความสำคัญมากดังภาพ 5



ภาพ 5 การเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของการกินโปรตีนรวม นำไปสู่การเผาผลาญโปรตีน และการแบ่งแยกในการให้ผลผลิตของสัตว์ที่ต่างกัน (Oldham, 1994)

ในการเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ให้ผลผลิตสูง เช่น โคนม โคขุน หรือกระบือขุน ควรทำให้โปรตีนคุณภาพดีถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมนลดลง เพื่อให้มีโปรตีนไหลผ่านเพิ่มขึ้น อีกทั้งการลดการย่อยสลายโปรตีนในกระเพาะรูเมน ทำให้มีพลังงานถูกดูดซึมในทางเดินอาหารสูงขึ้น และลดการสูญเสียโปรตีนในรูปของแอมโมเนียอีกทางหนึ่งด้วย (Beever, and Thomson, 1981) แต่การที่โปรตีนไหลผ่านจะใช้ประโยชน์ได้ดีเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับความสามารถในการย่อยสลายและดูดซึมไปใช้ประโยชน์ที่ลำไส้เล็ก ถ้าโปรตีนไหลผ่านถูกย่อยด้วยเอนไซม์จากตัวสัตว์ได้มากก็จะมีกรดอะมิโนที่เป็นประโยชน์ต่อตัวสัตว์มาก อย่างไรก็ตามก็ตีจากการศึกษาในโคนมหลายรายงานวิจัย

พบว่าถ้าอาหารมีโปรตีนไหลผ่านเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณน้ำนมและเปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำนมสูงขึ้นด้วย ดังตาราง 9

ตาราง 9 ผลของอาหารที่มีโปรตีนไหลผ่านสูง (HUP) เปรียบเทียบกับโปรตีนไหลผ่านต่ำ (LUP) ที่มีผลต่อผลผลิตและเปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำนม

ผลผลิตน้ำนม (กิโลกรัม)		โปรตีนในน้ำนม(%)		แหล่งที่มา
LUP	HUP	LUP	HUP	
8.3	9.5	3.6	4.1	พิทยา (2536)
12.3	13.1	3.7	4.8	เกรียงศักดิ์ (2539)
26.5	28.7	3.1	3.1	Higginbotham, <i>et al.</i> (1989)
35.7	34.1	2.9	3.1	Winsryg, <i>et al.</i> (1991)
29.1	29.6	3.1	3.0	Taylor, <i>et al.</i> (1991)
31.5	31.5	3.0	3.1	Robinson, and Kennelly (1988)

LUP = low undegradable protein HUP = high undegradable protein

พิทยา (2536) ได้ทำการทดลองประกอบสูตรอาหารที่มีระดับของโปรตีนรวม 14% โดยมีโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมน (UDP) แตกต่างกันคือ 34, 38 และ 42% ของโปรตีนรวม พบว่าน้ำนมที่ปรับให้มีไขมัน 4% (4% FCM) มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามปริมาณ UDP คือ 7.6, 8.2 และ 8.5 กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ ส่วนองค์ประกอบของน้ำนมพบว่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนักคือ มีไขมันนม 3.3, 3.3 และ 3.4% มีโปรตีน 8.6, 8.85 และ 8.82% ตามลำดับ เมื่อประเมินผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ พบว่าอาหารสูตร 42% UDP ให้ผลตอบแทนสูงสุด ซึ่งการทดลองนี้พอสรุปได้ว่าอาหารโคนมควรมีโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมนในระดับ 38-42 %

ทรงศักดิ์ และคณะ (2541) ได้ให้อาหารที่มีโปรตีนรวม 2 ระดับ (16% และ 20%) โดยมีโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมน 3 ระดับ คือ 35%, 40% และ 45% พบว่าเมื่อเพิ่มโปรตีนในอาหาร ปริมาณการกินได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุดิบแห้ง อินทรียวัตถุ และโปรตีนลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) อย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณนมที่ปรับไขมัน 3.5% แล้ว (9.77, 9.98 และ 11.7 กิโลกรัม) และปริมาณไขมันรวมทั้งโปรตีนที่ผลิตได้ต่อวันสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมน และ/หรือ โปรตีนใน

อาหารเพิ่มขึ้น สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโปรตีนจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบผลตอบแทนเชิงเศรษฐกิจพบว่าอาหารที่มีโปรตีนต่ำ (16%) แต่มีโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายสูง (45%) ให้ผลตอบแทนที่สูงกว่าและโคมีความคงทนในการให้น้ำนมดีกว่า ดังนั้นในการประกอบสูตรอาหารโคนมจึงมีความจำเป็นที่จะต้องพิจารณาถึงระดับของโปรตีนและโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมนด้วย

เป็นที่น่าสังเกตว่าการทดลองที่ได้ศึกษาในประเทศไทยนั้น ผลการตอบสนองในเชิงบวกต่อการเพิ่มระดับโปรตีนไหลผ่าน แม้ว่าโคจะให้นมเพียงประมาณ 10 กิโลกรัม/วัน เท่านั้น ซึ่งขัดแย้งกับ Atwal, et al. (1995) ที่กล่าวว่าการให้ RUP นั้นจะได้ผลดีกับโคนมที่ให้นมมากกว่า 30 กิโลกรัมขึ้นไป นอกจากนี้ยังพบว่าโคนมที่มีน้ำหนักตัว 454 กิโลกรัมและให้นม 30 กิโลกรัม ที่มีไขมันนม 4% ในช่วงแรกของการให้นม มีความต้องการ RUP เท่ากับ 45.5% ของโปรตีนรวม ซึ่งใกล้เคียงกับ Anonymous (1998) ที่ระบุว่าโคที่ให้นมสูงต้องการ RUP ประมาณ 37-42% ของโปรตีนรวม ส่วนการให้ RUP กับโคที่ให้นมต่ำจะไม่มีผลและไม่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจด้วย สอดคล้องกับ Dunlap, et al. (2000) ที่พบว่า การให้ RUP จะไม่มีผลต่อโคที่อยู่ช่วงท้ายของการให้นม

กรรมวิธีในการเพิ่มโปรตีนไหลผ่านเพื่อใช้เป็นประโยชน์ในสัตว์

1. การใช้ความร้อน (Heat treatment)

ความร้อนที่ให้แก่อาหารไม่ว่าจะโดยทางตรงหรือโดยทางอ้อม เช่น การอัดเม็ด การสกัดน้ำมัน การคั่ว การอบ การนึ่ง การต้ม ฯลฯ มีผลทำให้โปรตีนสลายตัวในรูเมนได้น้อยลงทั้งนั้น แต่การให้ความร้อนนี้ต้องคำนึงถึงอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสม เพราะถ้าให้ความร้อนมากเกินไปจะทำให้เกิดกระบวนการที่เรียกว่า Maillard reaction คือ aldehyde group ของน้ำตาลจะไปจับกับหมู่อะมิโนอิสระ (free amino group) ของโปรตีน ได้เป็นสารเชิงซ้อนของกรดอะมิโนกับน้ำตาล (amino-sugar complex) ซึ่งจะหนต่อการย่อยของเอนไซม์มากกว่าพันธะเปปไทด์ตามปกติ ถึงแม้ว่าในอาหารจะไม่มีน้ำตาลหรือคาร์โบไฮเดรต การให้ความร้อนสูงเกินไปก็อาจทำให้หมู่อะมิโน (amino group) ของไลซีนทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนอิสระหรือ หมู่คาร์บอนิล (carbonyl group) ของโปรตีนอื่น เกิดเป็นพันธะกรดอะมิโน (amino bond) ขึ้น ทำให้โปรตีนนั้นไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้เช่นกัน แต่ถ้าให้ความร้อนที่ระดับพอเหมาะจะทำให้โปรตีนหนต่อการย่อยสลายในกระเพาะรูเมน แต่ไปถูกย่อยในลำไส้เล็กได้เป็นกรดอะมิโนซึ่งสัตว์สามารถดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรง (บุญล้อม, 2527)

Kaufmann, and Luepping (1982) ได้เปรียบเทียบผลของการใช้ความร้อนแห้งและความร้อนชื้น (autoclave) กับกากถั่วเหลืองพบว่า การใช้ความร้อนชื้นจะให้ผลดีกว่าคือ ใช้เวลาน้อยกว่าเพียง 15 นาที ที่อุณหภูมิ 120-130 °C ก็จะทำให้การละลายได้ลดลงอย่างมาก นอกจากนี้ การใช้ความร้อนชื้นที่อุณหภูมิดังกล่าวยังไม่ทำให้การย่อยได้ลดลงเท่าใดนัก การใช้ความร้อนแห้งจะต้องใช้ระยะเวลาที่นานกว่าและอุณหภูมิสูงกว่าจึงจะทำให้การละลายได้ลดลง ซึ่งนับว่าเป็นการเสี่ยง เพราะอาจทำให้เกิดกระบวนการปกป้องที่มากเกินไป อันเนื่องมาจากปฏิกิริยา Maillard หรือปฏิกิริยาที่เกิดจากการให้ความร้อน อย่างไรก็ตามการใช้ความร้อนชื้นไม่ได้ทำให้การสลายตัวของโปรตีนทุกชนิดลดลงเท่ากัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากโครงสร้างของโปรตีนในอาหารแต่ละชนิดต่างกัน และอาหารแต่ละชนิดอาจได้รับการผ่านกระบวนการจัดการที่ไม่เหมือนกันมาก่อน

Crooker, et al. (1986) ได้ศึกษาโดยใช้ความร้อนสกัดน้ำมันออก (defatted) จากกากถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 250, 250, 215 และ 180 °C เป็นเวลา 30, 20, 20 และ 25 นาที พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้โปรตีนรวมที่อยู่ในถุง nylon เพิ่มขึ้น แสดงว่ามีการย่อยสลายของโปรตีนในกระเพาะรูเมนลดลง Reddy, et al. (1993) ทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการ (*in vitro* method) พบว่าการอบ (roasting) ถั่วเหลืองทั้งเมล็ดที่อุณหภูมิ 143 °C และ 146 °C ทำให้มีโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมนประมาณ 50-60% และเอนไซม์ lipase ทำงานได้ลดลง แต่เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 163 °C จะเกิดการไหม้ของกากถั่วเหลืองทำให้โปรตีนย่อยได้ลดลงและเอนไซม์ lipase หยุดการทำงาน และพบว่าการใช้อุณหภูมิไม่เกิน 146 °C ทำให้น้ำหนักตัวของลูกโคนมเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับ Hillman (1999) ที่ให้ความร้อนแห้งแก่กากถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 120-140 °C เทียบกับการใช้ formaldehyde พบว่าการให้ความร้อนแก่กากถั่วเหลืองทำให้โปรตีนคงทนต่อการย่อยสลายเพิ่มขึ้นตามลำดับ และสูงกว่ากากถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านความร้อนหลายเท่า โดยการให้ความร้อนแก่กากถั่วเหลือง 140 °C ทำให้โปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายใกล้เคียงกับการใช้ formaldehyde และสูงกว่าปลาป่นปกติอีกด้วย

2. การใช้สารเคมี (chemical treatment)

สารเคมีที่ใช้ป้องกันการย่อยสลายของโปรตีนในกระเพาะรูเมนมีหลายชนิด เช่น formaldehyde, tannin, formic, glyoxal, glutaraldehyde (Ortega-Cerrilla, et al. 1999) หรือ Volatile fatty acid, alcohol, lignosulfonate (heated with sulfite liquor and xylose) NaOH cation เช่น zinc, reducing sugar และ bentonite clay เป็นต้น ส่วนสารอื่นๆ ที่ช่วยเคลือบโปรตีนไว้ ได้แก่ fat (Rossi, et al. 1999) blood, albumin, Ca-soap, wood molasses, egg white หรือ whey protein ฯลฯ ซึ่งส่วนใหญ่ใช้โดยการฉีดพ่น (Atwal, et al. 1995) แต่สารที่นิยมใช้กันมากคือ formaldehyde และ tannin โดย Ferguson, et al. (1967) ได้รายงานว่าการใช้สารเคมีกลุ่มของ

aldehydes เช่น acetaldehyde, glutaraldehyde, glyoxal และ formaldehyde พบว่า formaldehyde มีประสิทธิภาพในการป้องกันการย่อยสลายในกระเพาะรูเมนที่ดีที่สุด สารเคมีที่ใช้ป้องกันการโปรตีนไม่ให้ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมนนั้นจะไปสร้างพันธะ (cross-linkages) กับกรดอะมิโนและกลุ่มเอไมด์ (amide) ของโปรตีนทำให้การละลายของโปรตีนภายใต้สภาวะ pH ในกระเพาะรูเมนลดลง แต่เนื่องจากปฏิกิริยานี้ย้อนกลับได้พันธะดังกล่าวจึงถูกทำลายที่สภาวะเป็นกรดในกระเพาะแท้ของสัตว์ ทำให้โปรตีนถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Chalupa, 1974)

ฟอร์มัลดีไฮด์ เป็นสารประกอบอัลดีไฮด์ที่มีสูตรทางเคมี คือ HCHO มีสถานะเป็นก๊าซ ไม่มีสี มีน้ำหนักโมเลกุล 30.03 กรัม/โมล ละลายน้ำได้ดีที่อุณหภูมิห้อง ถ้าอยู่ในรูปสารละลายเรียกว่า ฟอร์มาลีน มีคุณสมบัติในการยับยั้งจุลินทรีย์และสามารถลดการย่อยสลายโปรตีนในกระเพาะรูเมนได้ โดยฟอร์มัลดีไฮด์จะทำปฏิกิริยากับโปรตีนกลายเป็นสารประกอบ methylol compound ซึ่งเป็นการจับกันแบบ methylene cross-linkages ภายในสายโซ่ของโปรตีน (protein chain) ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเข้าไปย่อยโปรตีนเหล่านี้ได้ แต่การจับกันระหว่างฟอร์มัลดีไฮด์กับโปรตีนสามารถแยกออกจากกันได้ภายใต้สภาวะที่เป็นกรดในกระเพาะแท้ (abomasum) ทำให้เอนไซม์จากตัวสัตว์สามารถย่อยโปรตีนเหล่านี้ได้ (Barry, 1986) จากการทดลองของ Kaufmann, and Luepping (1982) ได้ทดลองใช้ฟอร์มัลดีไฮด์กับกากถั่วเหลืองระดับ 1, 2, 3, 4, และ 5 กรัมต่อกิโลกรัมวัตถุดิบ พบว่าระดับที่เหมาะสมคือ 2 กรัมต่อกิโลกรัมวัตถุดิบ เพราะถ้าใช้เกินนี้ก็ไม่ทำให้การละลายได้หรือปริมาณแอมโมเนียลดลงมากกว่านั้น และจะทำให้การย่อยได้ในลำไส้เล็กลดลง

ในการศึกษาการใช้ formaldehyde ที่ 0, 0.3, 0.6 และ 0.9 % ของน้ำหนักกากถั่วเหลือง พบว่าเมื่อใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ระดับสูงขึ้นไปจะทำให้ค่าโปรตีนรวมที่เหลืออยู่ในถุงในลำไส้เพิ่มขึ้นแสดงว่ามีการย่อยสลายของโปรตีนในกระเพาะรูเมนลดลง (Crooker, et al. 1986) ซึ่งสอดคล้องกับการใช้ฟอร์มัลดีไฮด์กับกากถั่วเหลืองและกากเรปซีดระดับ 0.6% ของโปรตีนรวม (Jian-Xin, et al. 1994)

Harris (1992) ได้ศึกษาผลการใช้กากถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการด้วยฟอร์มัลดีไฮด์ในสูตรอาหารชั้นที่มีโปรตีน 16% และ 20.3% โดยสัดส่วนอาหารหยานต่ออาหารชั้นที่ให้เท่ากับ 22:78 พบว่าการใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ทำให้มีโปรตีนไหลผ่านสูงขึ้น ส่งผลให้ผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้นและทำให้ประสิทธิภาพการสืบพันธุ์ดีขึ้น

Tewatia, et al. (1995) รายงานว่า การใช้ฟอร์มัลดีไฮด์กับ Faba beans ที่ระดับ 0.43 และ 0.54 กรัมต่อ 100 กิโลกรัมของโปรตีนรวม ช่วยเพิ่มการผลิตน้ำนมของแพะนมอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนการใช้ฟอร์มาลีน 175 มิลลิลิตรต่อ 50 กิโลกรัมของ cotton seed cake พบว่าทำให้

ความเข้มข้นของแอมโมเนีย และการย่อยสลายของวัตถุแห้งและโปรตีนรวมในรูเมนลดลง (Kimambo, *et al*, No date) การใช้ formaldehyde กับข้าวบาเลย์ ที่ระดับ 10, 20 และ 30 กรัมต่อกิโลกรัมของโปรตีนรวม พบว่าทำให้การย่อยสลายของวัตถุแห้ง แปะง และไนโตรเจนในกระเพาะรูเมนลดลงตามระดับการใช้ที่เพิ่มขึ้น (Ortega-Cerrilla, *et al*. 1999)

จากรายงานที่รวบรวมมาจะเห็นได้ว่าระดับฟอร์มาลดีไฮด์ที่ใช้ได้ผลในการทดลองต่างๆ นั้น มีค่าแตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปัจจัยหลายประการ เช่น วิธีการใช้ สถานที่ใช้ว่าอยู่ในรูปแก๊สหรือของเหลว ปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตในอาหาร ขนาดของชิ้นอาหารเป็นต้น ถ้าใช้ในระดับสูงเกินไป อาจเกิดกระบวนการปกป้องที่มากเกินไป คือโปรตีนไม่สามารถละลายได้เลยไม่ว่าในส่วนของทางเดินอาหารทำให้สัตว์นำไปใช้ประโยชน์ไม่ได้ และเนื่องจากฟอร์มาลดีไฮด์มีความเป็นพิษเมื่อสูดดมเข้าไปจะทำให้ระคายเคืองตา โพรงจมูก และลำคอ ในคนถ้าได้รับเข้าไปในระดับสูงจะทำให้เกิดอาการไอ หายใจลำบาก เจ็บหน้าอก และหลอดลมอักเสบ แต่ถ้าได้รับโดยการกินจะทำให้เกิดการกัดกร่อนและอักเสบของทางเดินอาหาร เกิดปวดแผลในช่องปาก หลอดอาหาร และกระเพาะอาหาร ดังนั้นการใช้ฟอร์มาลดีไฮด์ควรต้องทำด้วยความระมัดระวัง

กระบือ

กระบือจัดอยู่ในอันดับ (order) Artiodactyla ได้แก่สัตว์กีบคู่ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 อันดับย่อย (Suborder) คืออันดับย่อยที่ 1 สัตว์กระเพาะเดี่ยว ได้แก่ สุนัข และฮิปโปโปแตมัส เป็นต้น อันดับย่อยที่ 2 สัตว์สี่กระเพาะ (ruminant) ซึ่งแบ่งเป็นวงศ์ (Family) ได้ 4 วงศ์ คือ อูฐ ยีราฟ กวาง และ Bovidae สำหรับวงศ์ Bovidae แบ่งออกเป็น 3 เผ่า (tribe) คือ เลียงผา แพะแกะ และ Bovini ซึ่ง Bovini แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

1. Bovina ได้แก่ โค ยัค (yak) และไบซัน (bison)
2. กระบือป่าแอฟริกัน (*Bos caffer* หรือ *Syncerus caffer*) มีอยู่ในป่าเขตซาวานาห์ (savannah) ของทวีปแอฟริกา ซึ่งอยู่ทางตอนใต้ของทะเลทรายซาฮารา
3. กระบือป่าเอเชีย (Bubalina) ได้แก่ กระบืออินเดีย (*Bubalus bubalis*) กระบือทามารอ (Tamaraw) (*Bubalus mindorensis*) กระบืออนัว (Anoa) (*Bubalus depressicornis*)

กระบืออินเดีย (*Bubalus bubalis*) เป็นกระบือที่มนุษย์นำมาฝึกฝนเป็นสัตว์เลี้ยงเพื่อใช้งาน ให้เนื้อและน้ำนมในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ กระบือปลัก (Swamp buffalo) และกระบือแม่น้ำ (River buffalo) กระบือปลักเป็นกระบือที่มีโครโมโซม 48 คู่ (Mason, 1974 อ้างใน ไชยวรรณ, 2533) เลี้ยงกันมากในประเทศจีนตอนใต้ รวมทั้งประเทศต่างๆ ในแถบเอเชียอาคเนย์ กระบือปลัก มีรูปร่างหนากลม ออกใหญ่ เขาแผ่ออกกว้าง หน้าผากเรียวยาว หน้าสั้น หน้าแฉ

(nuzzie) กว้าง แนวสันหลังค่อนข้างเป็นเส้นตรงแล้วลาดลงเป็นมุมหักตรงบั้นท้าย บั้นท้ายเล็กเมื่อเทียบกับส่วนหน้า กีบกว้าง กระบือปลักมีสีเทาแก่หรือเทาอมดำ เพศผู้มีน้ำหนักประมาณ 400-1,000 กิโลกรัม เพศเมียมีน้ำหนักประมาณ 300-800 กิโลกรัม ส่วนใหญ่เกษตรกรเลี้ยงไว้ใช้งาน และใช้บริโภคเนื้อเมื่อปลดระวาง กระบือปลักชอบนอนแช่ปลักโคลนในเวลาที่อากาศร้อนและความชื้นต่ำโดยใช้เวลาแช่ปลักวันละ 5-6 ชั่วโมง (ประสบ, 2527 อ้างใน ไชยวรรณ และคณะ, 2533) ส่วนกระบือแม่น้ำ (River buffalo) เป็นกระบือที่มีโครโมโซม 50 คู่ (Mason, 1974 อ้างใน ไชยวรรณ และคณะ, 2533) เลี้ยงกันมากในประเทศอินเดีย และปากีสถาน กระบือแม่น้ำจัดเป็นกระบือนม กระบือแม่น้ำมีหลายพันธุ์เช่น พันธุ์มูร่าห์ (murrāh) พันธุ์เซอร์ตี (surti) พันธุ์กุนดี (kundi) พันธุ์นิลลี/ราวี (nilli/ravi) ฯลฯ กระบือแม่น้ำมีสีดำ บางครั้งมีสีขาวที่หัวและขา ลำตัวยาว กีบเท้าเล็ก ชอบนอนแช่น้ำใต้น้ำลึก และไม่มีโคลน เพศผู้มีน้ำหนักประมาณ 300-1,000 กิโลกรัม เพศเมียมีน้ำหนักประมาณ 250-650 กิโลกรัม (Fahimuddin, 1975 อ้างใน ไชยวรรณ และคณะ, 2533) มากกว่า 98% ของจำนวนกระบือทั่วโลกจะเลี้ยงในเขตเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (FAO, 1992 อ้างใน Wanapat, 1994)

1. การผลิตกระบือในประเทศไทย

จากข้อมูลของกรมปศุสัตว์ปี 2536 มีจำนวนประชากรกระบือ 4.8 ล้านตัว และในปี 2546 มีจำนวนประชากรกระบือประมาณ 1.6 ล้านตัว มีจำนวนผู้เลี้ยงกระบือเป็นการค้า 3,231 ราย ส่วนใหญ่มีการเลี้ยงอยู่ระหว่าง 20-50 ตัว (2,921 ราย) ประเทศไทยมีการนำเข้ากระบือมีชีวิต 36,187 ตัวคิดเป็นมูลค่า 200 ล้านบาท การนำเข้าส่วนใหญ่นำเข้ามาจาก พม่า ลาว และกัมพูชา มีการส่งออกกระบือมีชีวิต 316 ตัว คิดเป็นมูลค่า 3.8 ล้านบาท ประเทศที่มีการส่งออกไปจำหน่ายคือ มาเลเซีย มีการนำเข้าของเนื้อโคแช่แข็ง 1.4 ล้านกิโลกรัม คิดเป็นมูลค่า 140 ล้านบาท (กรมปศุสัตว์, 2547) โดยประชากรของประเทศมี 66 ล้านคน มีเกษตรกรคิดเป็น 60% ซึ่งมีบางส่วนที่ต้องอาศัยแรงงานจากสัตว์ โดยเฉพาะกระบือในการทำเกษตรกรรมซึ่ง 95% อยู่ในการครอบครองของเกษตรกรรายย่อย นอกจากนี้ใช้แรงงานแล้วกระบือยังมีประโยชน์ในการขนส่ง การให้มูลทำปุ๋ย สุดท้ายยังสามารถให้เนื้อได้อีกด้วย ในปัจจุบันการขุนกระบือกำลังเป็นที่สนใจเพราะความต้องการของผู้บริโภคในปัจจุบันสูงมากขึ้น (Na Chaingmai, 1994)

ระบบการเลี้ยงกระบือในประเทศไทยเป็นการเลี้ยงโดยเกษตรกรรายย่อย เป็นการปลูกพืช และเลี้ยงสัตว์ผสมผสานกัน วัตถุประสงค์ของการเลี้ยงกระบือไม่ใช่เฉพาะเป็นรายได้ และเป็นอาหารเท่านั้น แต่เลี้ยงเพื่อเป็นแรงงานจำเพาะที่ต้องใช้กระบือเช่น การเลี้ยงกระบือในจังหวัด ชลบุรีเพื่อใช้ไถนา กำจัดวัชพืชในร่องมันสำปะหลัง หรือร่องอ้อย เป็นต้น ทางด้านการจัดการฟาร์ม และการปรับปรุงพันธุ์สัตว์ เกษตรกรส่วนใหญ่มักไม่มีการทำเครื่องหมายประจำตัวสัตว์ หรือทำสถิติ

การเกิด การตาย จำนวนลูกเกิด การเจริญเติบโต ลักษณะและขนาดที่ส่งตลาด ขาดความรู้ในด้าน การผสมพันธุ์โดยปล่อยให้กระบือฝูงเดียวกันผสมพันธุ์กันจนเลือดชิด ซึ่งเป็นหลักสำคัญในการ ปรับปรุงพันธุ์สัตว์ จากการศึกษาการเลี้ยงกระบือในจังหวัดสุรินทร์ พบว่าเกษตรกรมีวัตถุประสงค์ การเลี้ยงเพื่อใช้งานเป็นหลักถึงร้อยละ 53.3 เลี้ยงกระบือเพื่อขายร้อยละ 13.3 ส่วนรูปแบบการ เลี้ยงยังไม่มีการพัฒนา โดยปล่อยให้กระบือผสมพันธุ์กันเองตามธรรมชาติเมื่อปล่อยเลี้ยงรวมกัน ในทุ่งนาร้อยละ 80 วิธีการเลี้ยงดูส่วนมากปล่อยให้กินหญ้าที่มีตามธรรมชาติในทุ่งนา และพื้นที่ สาธารณะ มักขาดแคลนพืชอาหารสัตว์ที่มีคุณภาพ (ไชยวัฒน์ และคณะ, 2543)

วิกฤติกระบือไทยในปัจจุบันคือประชากรกระบือลดลงอย่างรวดเร็ว และขนาดก็ย้ง เล็กลงด้วย FAO (1977) ได้เคยรายงานว่ กระบือปลักไทยเป็นกระบือที่ดีที่สุดมีขนาด 1 ตันให้เห้น มากมายจนเคยถูกเรียกว่า "a ton buffalo" ต่อมากระบือปลักไทยถูกทำลายพันธุกรรมที่ดีไปอย่าง ต่อเนื่องเป็นเพราะค่านิยมในการตอนกระบือเพศผู้ที่ตัวใหญ่เพื่อให้ง่ายในการใช้งาน และ ควบคุมดูแลง่าย ทำให้พ่อพันธุ์กระบือมีขนาดเล็กลงจนเกิดการทำลายพันธุกรรมที่เรียกว่า "genetic erosion"

ในการผลิตกระบือนั้นจะมีการผลิตจากพื้นที่ในเขตเอเชียเป็นส่วนใหญ่ โดยคิดเป็น 91-92 % โดยจะมีอัตราการเพิ่มการผลิต 41% ต่อปี โดยการศึกษาพบว่าเนื้อกระบือน่าจะได้รับ ความนิยมมากขึ้นถ้ามีการปรับปรุงคุณภาพ โดยอาจมีการให้อาหารดีขึ้น ซ้ำตั้งแต่อายุยังไม่แก่ มีการจัดการที่ดี โดยประสิทธิภาพการผลิตเนื้อกระบือจะไม่มีเพียงแต่ในแถบเอเชียใต้เท่านั้น เอเชีย ตะวันออกเฉียงใต้ก็ถือว่าเป็นแหล่งผลิตที่ใหญ่เช่นกัน (Sasaki, 1994)

ได้มีการพัฒนาพันธุ์กระบือลูกผสมระหว่างกระบือปลักและกระบือแม่น้ำเพื่อผลิต เนื้อ พบว่ามีผลผลิตสามารถให้เนื้อมากกว่ากระบือพื้นเมือง โดยให้เปอร์เซ็นต์ซาก 56.15% และ 48.50% เปอร์เซ็นต์เนื้อแดง 42.5 และ 36.9% ให้พื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน 156 ตร.ซม. และ 97 ตร.ซม. (Dong Biajing, 1993 อ้างถึงโดย Zhengkang, 1994)

เนื่องจากจำนวนประชากรเพิ่มมากขึ้น ปริมาณความต้องการเนื้อกระบือในประเทศไทย จึงได้เพิ่มมากขึ้นด้วย เริ่มตั้งแต่ปี 1990 เป็นต้นมา ประมาณ 6% ของจำนวนกระบือในประเทศไทย ถูกฆ่าเพื่อผลิตเนื้อ 68.3 เมตริกตัน ทำให้ปริมาณกระบือลดลงถึงปีละ 90,000 ตัว (Na Chiangmai, 1994) มีรายงานจาก Charles and Johnson (1972, 1975) อ้างใน Wanapat, et al. (1994a) ว่า กระบือให้เปอร์เซ็นต์เนื้อในซากสูง มีส่วนของกระดูกน้อย และมีไขมันน้อยด้วย ซึ่งเป็น ที่ต้องการของตลาดผู้บริโภค

2. ปัญหาด้านอาหารสัตว์ในการผลิตกระบือ

ทางด้านอาหารสัตว์ที่เกษตรกรใช้เลี้ยงกระบือมักมีคุณภาพไม่ดี และมีปริมาณไม่เพียงพอกับความต้องการของกระบือ โดยส่วนมากกระบือจะถูกเลี้ยงดูในสภาพธรรมชาติมีอาหารที่มีคุณภาพต่ำ และขาดแคลนเป็นบางฤดูโดยเฉพาะในฤดูแล้ง ทำให้สารอาหารไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย กระบือจึงให้ผลผลิตต่ำ จากการศึกษาวิจัยหลายโครงการในประเทศไทยสรุปผลที่สอดคล้องกันว่า ในช่วงหน้าแล้ง ระหว่างเดือน ธันวาคมถึงพฤษภาคม เป็นช่วงที่กระบือมีน้ำหนักลดลง และพบว่าในฤดูแล้งจัดก่อนฝนเริ่มตกนั้น ปริมาณกลูโคสในเลือดกระบือจะต่ำที่สุด ทำให้กระบือดึงอาหารสำรองในร่างกายมาใช้หมดโดยเฉพาะ กระบือที่กินแต่ฟางข้าว ซึ่งมีคุณค่าทางอาหารต่ำ ทั้งคุณภาพพลังงาน และโปรตีน โดยมิได้มีผลกระทบโดยตรงต่อสภาพร่างกายเท่านั้น ยังมีผลผลกระทบต่อความสมบูรณ์พันธุ์ ทำให้ผสมติดยาก

จากการศึกษาเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตของกระบือที่ปล่อยทุ่งหญ้า และกระบือที่เลี้ยงซึ่งเสริมน้ำมันปาล์ม (oil-palm) พบว่ามีอัตราการเจริญเติบโต 420 g/d และ 550 g/d กระบือปลักที่กินฟางข้าวและฟางหมักยูเรียเป็นอาหารหลัก จะมีอัตราการเจริญเติบโต 403 g/d และ 451 g/d (เมธา, และฉลอง, 2533) ส่วนกระบือที่เลี้ยงตามธรรมชาติโดยไม่มีการเสริมอาหารพบว่า ในฤดูที่มีหญ้าอุดมสมบูรณ์กระบือสามารถเพิ่มน้ำหนักวันละประมาณ 400 กรัม ส่วนในฤดูแล้งกระบือจะสูญเสียน้ำหนักตัวเพราะขาดแคลนหญ้า และอาหาร กระบือที่โตเต็มที่น้ำหนักตัวอาจลดลงประมาณ 10-15 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นกระบือที่มีน้ำหนัก 300 กิโลกรัมอาจสูญเสียน้ำหนักถึง 30-40 กิโลกรัม เนื่องจากภาวะแห้งแล้ง

Wanapat (1994) รายงานว่า กระบือปลักมีความสามารถดีกว่าโคทางด้านการใช้ประโยชน์จากไนโตรเจน จากผลของการมีจำนวนประชากรของแบคทีเรียที่ย่อยสลายเยื่อใยได้มากกว่า จึงทำให้การย่อยเยื่อใยได้ดีกว่า และกินอาหารได้มากกว่าด้วย การทำงานของกระบือจะมีผลต่อสภาวะต่างๆในระบบทางเดินอาหาร โดยข้อมูลพื้นฐานพบว่า การที่กระบือเดินไปมาวันนั้นจะลดความสามารถในการย่อยได้ และลดการกินได้ เมื่อเปรียบเทียบกับกรยืนนิ่ง (Wanapat, and Wachirapakorn, 1987 อ้างอิงใน โอภาส, 2538) แต่การศึกษาในกระบือเพศเมียนั้นหากได้ทำงานจะทำให้การกินได้ทั้งหมดเมื่อคิดเป็นวัตตูแห่งเพิ่มขึ้นจากปกติที่พักนอน 8.2 เป็น 8.8 กก./วัน การย่อยได้จะเพิ่มขึ้นจาก 47% เป็น 53% ของวัตตูแห่ง (Ffoulkes, et al. 1986 อ้างอิงใน โอภาส, 2538) อย่างไรก็ตามไม่มีผลแตกต่างทางสถิติสำหรับการกินได้และการย่อยได้ แต่พบว่ากระบือที่ทำงานจะมีอัตราการเจริญเติบโตลดต่ำลงจาก 229 เป็น 107 กรัมต่อวัน และยังพบว่า กระบือที่ทำงานจะสามารถกินหญ้าได้มากกว่ากระบือที่ไม่ทำงาน การย่อยได้ของโภชนะ ความเป็นกรดต่าง และกรดไขมันที่ระเหยง่าย (Volatile fatty acid, VFA) ในรูเมนไม่แตกต่างกัน แต่ความเข้มข้นของ

แอมโมเนียในกระป๋องที่ทำงานจะสูงกว่าไม่ทำงาน คือ 26.7 และ 17 mg% ตามลำดับ (ฉลอง, และ เมาะ, 2531 อ้างอิงใน โอภาส, 2538)

จินตนา และคณะ (2535) ได้รายงานผลของอาหารสัตว์ที่มีผลต่อการผสมติดของกระป๋องว่า การศึกษาของฝูงแม่กระป๋องของสถานีบำรุงพันธุ์สัตว์สุรินทร์ ซึ่งแม่กระป๋องมีโอกาสได้รับการผสมพันธุ์ตลอดทั้งปี โดยทำการเจาะเลือดแม่กระป๋องหลังคลอดแล้ว 2 สัปดาห์ ทุกๆ 7 วันเพื่อวิเคราะห์หาฮอร์โมนโปรเจสเตอโรน ซึ่งเป็นตัวชี้วัดการท้องของแม่กระป๋อง พบว่าฤดูกาลของการผลิตพืชอาหารสัตว์มีผลต่อระยะท้องว่างหลังคลอดของแม่กระป๋อง โดยที่แม่กระป๋องที่ท้องในช่วงฤดูแล้งจัด จะทำให้ระยะท้องว่างหลังคลอดยาวกว่าแม่กระป๋องที่คลอดในฤดูอื่น รายละเอียดดังตาราง 10

ตาราง 10 อิทธิพลของฤดูกาลที่มีต่อระยะท้องว่างหลังคลอด (Day open) ของกระป๋อง

ฤดูกาล	n	Day open	นน.หลังคลอด (ก.ก.)	น้ำฝน มม.	อุณหภูมิเฉลี่ย °c	คุณภาพพืชอาหารสัตว์
ร้อนจัด มี.ค.-เม.ย.	4	216	382	53	31	คุณภาพต่ำ กินหญ้าแห้ง ฟางข้าว
ต้นฝน พ.ค.-มิ.ย.	3	154	429	171	30	หญ้าเริ่มเขียว ปริมาณน้อย
ฝนหนัก ก.ค.-ต.ค.	5	120	428	218	28	หญ้าอุดมสมบูรณ์
ต้นหนาว พ.ย.-ก.พ.	10	104	469	0	25	หญ้าเพียงพอ เริ่มเสริมอาหารชั้น

ที่มา จินตนา, และคณะ (2535)

ส่วนมากผู้คนที่คิดว่า กระป๋องเป็นสัตว์กินง่ายไม่เลือก จึงทำให้ไม่ได้ดูแลเอาใจใส่ในเรื่องอาหารกระป๋องเท่าที่ควร จึงปล่อยให้แทะเล็มแบบธรรมชาติของฤดูกาล แต่จากการศึกษาวิจัยดังที่ได้กล่าวมาแล้วพบว่า การจัดการด้านอาหารสัตว์ และระบบการเลี้ยงกระป๋องของเกษตรกรจะมีผลกระทบต่อภาวะเจริญเติบโต และการผสมติดของกระป๋อง ซึ่งเป็นลักษณะที่สำคัญทางเศรษฐกิจที่สำคัญ หมายถึงผู้เลี้ยงกระป๋องจะขายกระป๋องได้ราคาดี และจะทำให้เพิ่มจำนวนลูกเกิดต่อแม่กระป๋องได้มากขึ้น กระป๋องจะโตเร็ว สมบูรณ์ จะให้ลูกเร็วขึ้น มีระยะห่างการให้ลูกสั้นลง