หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

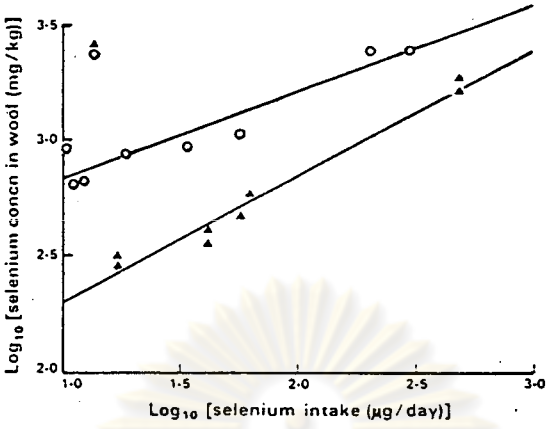
บทที่ 2

การสำรวจเอกสาร

ซีลีเนียมเป็นแร่ธาตุที่พบได้ในเซลล์ทุกเซลล์และเนื้อเยื่อของร่างกายสัตว์ในความเข้มข้นที่แปรไปตามชนิดของอวัยวะ ระดับและรูปแบบทางเคมีของซีลีเนียมในอาหาร โดยทั่วไปแล้วตับและไตมีระดับของซีลีเนียมสูงที่สุด กล้ามเนื้อ กระดูก และเลือดโดยเฉพาะเนื้อเยื่อไขมันมีระดับต่ำกว่ามาก กล้ามเนื้อหัวใจมีระดับของซีลีเนียมสูงกว่ากล้ามเนื้อร่างกาย (Godwin และคณะ, 1975) ความเข้มข้นของแร่ธาตุซีลีเนียมในเนื้อเยื่อเป็นสิ่งแสดงให้เห็นถึงระดับของซีลีเนียมในอาหาร การให้อาหารที่ประกอบด้วยปริมาณซีลีเนียมต่าง ๆ กันแก่แกะหรือหนูแรท มีผลให้การสะสมแร่ธาตุในเนื้อเยื่อต่าง ๆ เปลี่ยนไปตามปริมาณซีลีเนียมในอาหารที่ได้รับ (Cousins และ Cairney 1961; Burk และคณะ, 1968)

หนูขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ประกอบด้วย Torula yeast ซึ่งมีระดับซีลีเนียมต่ำเป็นเวลานาน 4 สัปดาห์ พบว่า ระดับซีลีเนียมในไตจะลดต่ำลงจากระดับ 1.0 เป็น 0.3 พีพีเอ็ม และในตับจะลดระดับจาก 0.7 เป็น 0.1 พีพีเอ็ม (จากน้ำหนักสด)(Burk และคณะ, 1968) ลักษณะเช่นนี้เกิดขึ้นในแกะ โค และสุกรเช่นเดียวกัน (Cousins และ Cairney, 1961; Hidiroglou และคณะ, 1968)

ระดับที่ทำให้เกิดพิษของซีลีเนียมนั้นประมาณ 10-100 เท่าของระดับปกติที่สัตว์กินหรืออาจสูงกว่านี้ ทำให้ระดับของซีลีเนียมในเนื้อเยื่อต่าง ๆ สูงขึ้นกว่าปกติ ตับและไตอาจสูงได้ถึง 5-7 พีพีเอ็ม ในกล้ามเนื้อ 1-2 พีพีเอ็ม เมื่อระดับซีลีเนียมในเนื้อเยื่อสูงกว่านี้ การกำจัดออกจะเริ่มขึ้น (Cousins และ Cairney, 1961; Rosenfeldและ Beath, 1945) สัตว์ที่ได้รับซีลีเนียมสูงจนเกิดพิษอย่างรุนแรงนั้น ระดับซีลีเนียมในขนและกีบเท้าจะสูงขึ้น (ภาพที่ 1) Hidiroglou (1965) รายงานว่าแม่วัวที่มีระดับซีลีเนียม



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของซีลีเนียมในขนสัตว์ และปริมาณการกินซีลีเนียมต่อวัน ○ 0.5 gS/kg; y = 2.46 + 0.37x, r = 0.95 ▲ 2.0 gS/kg; y = 1.75 + 0.55x, r = 0.99

จาก White (1980)

ในขนอยู่ระหว่าง 0.06-0.23 พีพีเอ็ม จะให้กำเนิดลูกวัวที่ป่วยหรือตายด้วยโรคกล้ามเนื้อขาว แต่ถ้าระดับแร่ธาตุในขนสูงกว่า 0.25 พีพีเอ็ม ลูกที่เกิดจะไม่เป็นโรคนี้ โคที่มีอายุ 1 ปี และอยู่ในบริเวณพื้นที่ที่มีระดับแร่ธาตุซีลีเนียมสูง ระดับซีลีเนียมในขนสัตว์เฉลี่ย 10 พีพีเอ็ม และอาจสูงได้ถึง 30 พีพีเอ็ม เปรียบเทียบกับสัตว์ในบริเวณที่ไม่มีผลกระทบจากซีลีเนียมแล้ว มีเพียง 1-4 พีพีเอ็มเท่านั้น (Olson และคณะ, 1975) ดังนั้นอาจสรุปได้ว่า ถ้าระดับของซีลีเนียมในขนสัตว์ต่ำกว่า 5 พีพีเอ็มแล้ว แสดงว่าระดับของซีลีเนียมในอาหารสัตว์นั้นไม่สูงเกินไปที่จะก่อให้เกิดพิษ

ซีลีเนียมในคน

Hamilton และคณะ (1972-1973) ได้รายงานค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของซีลีเนียมในอวัยวะต่าง ๆ ของคนดังนี้ ตับ 0.30 ± 0.10 ไต 0.10 ± 0.02 กล้ามเนื้อ 0.11 ± 0.01 ปอด 0.10 ± 0.02 สมอง 0.09 ± 0.02 อัณฑะ 0.20 ± 0.04 และรังไข่ 0.09 ± 0.30 พีพีเอ็ม เล็บของคนมีระดับซีลีเนียมสูงเมื่อเทียบกับเนื้อเยื่ออื่น (Hadjimarkos และ Shearer, 1973) จากตัวอย่างเล็บของ 16 คน ซีลีเนียมในเล็บอยู่ในช่วง 0.70-1.67 และค่าเฉลี่ย 1.14 ± 0.06 พีพีเอ็ม น้ำลายมีความเข้มข้นของ

ซีลีเนียมต่ำมาก ตัวอย่างน้ำลายจากเด็กอยู่ในช่วง 1.1-5.2 พีพีบี (ppb) ค่าเฉลี่ย 3.0 ± 0.3 พีพีบี (Hadjimarkos และ Shearer, 1971)

ซีลีเนียมในน้ำนม

ความเข้มข้นของซีลีเนียมในน้ำนมวัวเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณที่สัตว์ได้รับ พื้นที่ที่ขาดซีลีเนียม เช่น ประเทศนิวซีแลนด์ ความเข้มข้นของซีลีเนียมในน้ำนมวัวเท่ากับ 5 นาโนกรัมต่อมล. (Millar และ Sheppard, 1972) ระดับซีลีเนียมในน้ำนมสามารถเพิ่มขึ้นได้โดยการเสริมซีลีเนียมในอาหาร หรือให้สัตว์โดยตรง การเพิ่มระดับซีลีเนียมในน้ำนมวัวทำได้โดยฉีดซีลีเนทที่มีซีลีเนียม 50 มก. เข้าใต้ผิวหนังหรือให้ทางปาก ในการเสริมครั้งหนึ่งๆ สามารถเพิ่มระดับซีลีเนียมในน้ำนมได้นานถึง 3-4 สัปดาห์ เปรียบเทียบกับแม่วัวที่ไม่ได้รับการเสริมซีลีเนียมให้นั้น ระดับซีลีเนียมในน้ำนมมีเพียง 3-4 นาโนกรัมต่อมล. (Grant และ Wilson, 1968) น้ำนมจากแม่แกะที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีซีลีเนียมต่ำสามารถเพิ่มเป็น 3 เท่าได้โดยการเสริมซีลีเนียมในอาหาร 2.25 มก.ต่อวัน (Gardner และ Hogne, 1967)

น้ำนมของคน มีซีลีเนียมมากกว่าน้ำนมปกติถึง 2 เท่าทั้ง ๆ ที่มีปริมาณโปรตีนในน้ำนมเพียงครึ่งหนึ่งของโปรตีนในน้ำนมวัว (Millar และ Sheppard, 1972) Shearer และ Hadjimarkos (1975) รายงานค่าที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างน้ำนมของหญิงวัยเจริญพันธุ์ในสหรัฐอเมริกา 241 คนจาก 17 รัฐ หญิงเหล่านี้ปกติ ไม่ตั้งครรภ์ อาศัยอยู่ในรัฐนั้นๆอย่างน้อย 1 ปี มีอายุเฉลี่ย 27.4 ± 0.3 ปี และจำนวนวันหลังคลอดเฉลี่ย 183 ± 9 วัน สุ่มน้ำนมวิเคราะห์หาระดับซีลีเนียมพบว่า ระดับซีลีเนียมในน้ำนมของคนอยู่ในช่วงแคบประมาณ 0.007 - 0.033 พีพีเอ็ม ซึ่งระดับจะเปลี่ยนไปตามระดับซีลีเนียมในพืชอาหารที่มีอยู่ในพื้นที่นั้น ๆ เช่นเดียวกับระดับในเลือดที่จะเปลี่ยนไปตามพื้นที่เช่นกัน

ซีลีเนียมในเลือด

ความเข้มข้นของซีลีเนียมในเลือดเปลี่ยนแปลงไปตามระดับของซีลีเนียมที่มีอยู่ในอาหาร ระดับการเปลี่ยนแปลงในเลือดอยู่ในช่วงกว้าง ตัวอย่างเช่น แกะที่ถูกเลี้ยงด้วย

อาหารที่มีปริมาณของซีลีเนียมสูงขนาดทำให้เกิดพิษได้นั้น ซีลีเนียมในเลือดจะสูงถึง 1.34 - 3.1 พีพีเอ็ม (Rosenfeld และ Beath, 1945) แกะที่เป็นโรคเนื่องจากขาดซีลีเนียมนั้น ระดับซีลีเนียมในเลือดต่ำเพียง 0.01 - 0.02 พีพีเอ็ม (Cousins และ Cairney, 1961; Hadiroglou และคณะ, 1968) Kuchel และ Buckley (1969) รายงานความเข้มข้นของซีลีเนียมในเลือดของแกะที่เลี้ยงในทุ่งหญ้าที่มีระดับซีลีเนียมปกตินั้น อยู่ในช่วง 0.06 - 0.20 พีพีเอ็ม (ค่าเฉลี่ย 0.10 พีพีเอ็ม) การเสริมซีลีเนียมชนิดเม็ด (selenium pellet) เป็นการชักนำให้ระดับซีลีเนียมในเลือดสูงขึ้นอย่างรวดเร็วประมาณ 0.15 - 0.25 พีพีเอ็ม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณซีลีเนียมที่มีในเม็ดยานั้น การทดลองของ Burk และคณะ (1969) โดยเลี้ยงหนูขาวด้วยอาหารที่ประกอบด้วย Torula yeast พบว่าระดับซีลีเนียมในเลือดจะลดลงจาก 0.3 พีพีเอ็ม เหลือ 0.05 พีพีเอ็ม ภายใน 4 สัปดาห์

ระดับซีลีเนียมในเลือดของคนมีค่าเฉลี่ย 0.18 พีพีเอ็ม (Dickson และ Tomlinson, 1967) แต่มีรายงานค่าที่แตกต่างกันไปดังเช่น Hamilton และคณะ (1972-1973) ได้รายงานค่าที่ต่ำกว่าคือ 0.08 พีพีเอ็ม ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องจากซีลีเนียมในพืชอาหาร และสภาพทางภูมิศาสตร์ของประเทศที่ทำให้เกิดความแปรปรวนเช่นนี้

ระดับซีลีเนียมในพลาสมาส่วนใหญ่จับกับ α, β-globulin (Dickson และ Tomlinson, 1967) Burk และคณะ (1968) ศึกษาเด็กที่เป็นโรคขาดโปรตีน (Kwashiokor) 2 กลุ่ม พบว่าระดับซีลีเนียมในเลือดมีค่าเฉลี่ย 0.08 และ 0.11 พีพีเอ็ม เปรียบเทียบกับเด็กปกติมีค่า 0.14 และ 0.22 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ปกติในเม็ดเลือดแดงมีความเข้มข้นของซีลีเนียมสูงกว่าในพลาสมา เด็กที่หายจากโรคขาดโปรตีนมีระดับซีลีเนียมในเม็ดเลือดแดง 0.23 พีพีเอ็ม ในพลาสมามี 0.10 พีพีเอ็ม เปรียบเทียบกับเด็กปกติมีระดับซีลีเนียมในเม็ดเลือดแดง 0.36 พีพีเอ็ม และในพลาสมา 0.15 พีพีเอ็ม

ลูกไก่มีระดับซีลีเนียมในเม็ดเลือดแดง 0.25 - 0.35 พีพีเอ็ม ในซีรัมมี 0.1 - 0.2 พีพีเอ็ม (Taussky และคณะ, 1963 และ 1965)

รูปแบบของซีลีเนียมในเลือดและเนื้อเยื่อ (Forms of Selenium in Blood and Tissues)

ซีลีเนียมพบได้ในเนื้อเยื่อของสัตว์ในลักษณะที่จับกับโปรตีนบางส่วนเข้าไปอยู่ในโครงสร้างของโปรตีนคล้ายกับที่ซัลเฟอร์จับกับกรดอะมิโน และซีลีเนียมบางส่วนอยู่ในรูปที่เป็นองค์ประกอบของเอ็นไซม์กลูทาไธโอน เปอร์ออกซิเดส McConnell และ Wabnitz (1957) พบว่า สัตว์สามารถเปลี่ยนสารประกอบอนินทรีย์ของซีลีเนียมเข้าไปจับกับกรดอะมิโนได้ เช่น ซีลีโนเมทไธโอนีน (selenomethionine) ซีลีโนซีสทีน (selenocystine) ซึ่งพบได้ในโปรตีนจากตับสุนัข ต่อมาในปี 1967 Cummins และ Martin ได้ศึกษาขบวนการสังเคราะห์ซีลีโนเมทไธโอนีน และซีลีโนซีสทีน จากซีลีไนท์ (selenite) ในตัวกระต่าย ไม่พบว่ามีสารประกอบของซีลีเนียมทั้ง 2 ชนิดเกิดขึ้นในส่วนโปรตีนของตับหรือปัสสาวะจากกระต่ายเลย แต่พบว่ามีเพียงซีลีไนท์ที่จับกับสารประกอบซัลเฟอร์เท่านั้น เช่นเดียวกับที่ Jenkins (1968) รายงานในปีต่อมาว่าซีลีเนียมเข้าไปอยู่ในโครงสร้างของโปรตีน โดยจับกับซัลเฟอร์ 2 อะตอมด้วยไดซัลไฟด์บอนด์ (S-Se-S bonds) ซีลีไนท์สามารถเข้าจับกับกรดอะมิโนในโปรตีนของตับ ไต ตับอ่อน นม และพลาสมาของแกะได้ นอกจากนี้ซีลีเนียมยังถูกรับเข้าไปเป็นส่วนประกอบของเคลือบฟันและเนื้อฟันของหนูแรทด้วย (Shearer และ Hadjimarkos, 1973)

กลูทาไธโอน เปอร์ออกซิเดส เป็นโปรตีนที่มีซีลีเนียมเป็นองค์ประกอบโดยที่ 1 โมเลกุล เอ็นไซม์ประกอบด้วยแร่ธาตุซีลีเนียม 4 กรัมอะตอม บทบาทของเอ็นไซม์นี้คือ เร่งปฏิกิริยาการสลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยรวมกับกลูทาไธโอน (GSH) เกิดเป็นกลูทาไธโอน รูปออกซิไดส์ (GSSG) และน้ำ ดังสมการ (Underwood, 1977)

$$2GSH + H_2O_2 \xrightarrow{\text{glutathione peroxidase}} GSSG + H_2O$$

$$2GSSG + NADPH \xrightarrow{\text{glutathione reduetase}} 2GSH + NADP^+$$

พบเอ็นไซม์นี้ได้ทั่วร่างกายทั้งในเนื้อเยื่อ ของเหลวในร่างกายและเซลล์ พบมากที่สุดในตับ รองลงมาคือเม็ดเลือดแดง กล้ามเนื้อหัวใจ ปอด และไต ส่วนระบบทางเดินอาหารและกล้ามเนื้อร่างกายพบได้น้อยกว่า ปริมาณของกลูทาไธโอน เปอร์ออกซิเดส ขึ้นอยู่

กับปริมาณของซีลีเนียมในอาหาร ลูกแกะ (อายุ 2-3 สัปดาห์) ที่เกิดจากแม่ที่ขาดซีลีเนียม มีกิจกรรมของเอ็นไซม์นี้ในเม็ดเลือดแดงและกล้ามเนื้อลดลงอย่างมากและในพลาสมาลดลงเล็กน้อย (ตารางที่ 1) เปรียบเทียบกับลูกแกะที่เกิดจากแม่ที่ได้รับการเสริมซีลีเนียม เมื่อลูกแกะอายุได้ 10 สัปดาห์ กิจกรรมของกลูทาไธโอน เปอร์ออกซิเดส ในเม็ดเลือดแดงจะลดลงอย่างเห็นได้ชัดขึ้นและมีการลดระดับของเอ็นไซม์นี้ ในหัวใจห้องล่างทั้งซ้ายและขวาด้วย (Godwin และคณะ, 1975)

เมตาบอลิสมของซีลีเนียม

การดูดซึม (absorption) การกักคั่ง (retention) และการกระจาย (distribution) ของซีลีเนียมภายในร่างกาย ปริมาณ รูปแบบและช่องทางของการขับทิ้งซีลีเนียมนั้น แปรไปตามรูปแบบทางเคมีและปริมาณของซีลีเนียมที่สัตว์กิน รวมทั้งระดับของแร่ธาตุอื่น ๆ ที่มีในอาหารก็มีอิทธิพลต่อเมตาบอลิสมของซีลีเนียมด้วย ตัวอย่างเช่น การให้ปริมาณซัลเฟอร์ในอาหารต่ำ (0.5 กรัมต่อ กก.ของอาหาร) จะมีผลทำให้สมดุลของซีลีเนียม ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ในแกะลดลง แต่จะเพิ่มระดับซีลีเนียมในพลาสมาและขนสัตว์ แสดงถึงปฏิกิริยาของซัลเฟอร์ต่อซีลีเนียม ทำให้ซีลีเนียมจำนวนมากขึ้นถูกนำเข้าสู่โปรตีนในพลาสมาและขนสัตว์ มากกว่าเมื่อไม่จำกัดซัลเฟอร์ในอาหาร ผลที่แสดงอีกอย่างหนึ่งคือซีลีเนียมอาจเป็นตัวแทนในการสังเคราะห์โปรตีนได้ (White,1980)(ตารางที่ 2,3) เมตาบอลิสมในสัตว์เคี้ยวเอื้องแตกต่างจากสัตว์ทั่วไป ระดับของวิตามินอีในอาหารไม่มีผลต่อการดูดซึม หรือกักคั่งของซีลีเนียมในเลือด ตับ และไต การกักคั่งในเลือดและอวัยวะต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับปริมาณซีลีเนียมที่สัตว์ได้รับ (Burk และคณะ, 1968)

ในสัตว์เคี้ยวเอื้องการดูดซึมของซีลีเนียมจะพบที่ลำไส้เล็ก ส่วนดูโอดินัม (duodenum) และบริเวณส่วนต้นของดูโอดินัมนี้จะมีการขับหลั่งซีลีเนียมเกิดขึ้น พบได้ทั้งสัตว์เคี้ยวเอื้องและสัตว์กระเพาะเดี่ยวในลำไส้ใหญ่ส่วนต้น (cecum) และส่วนปลาย (colon) ไม่มีการขับหลั่งกระเพาะรูเมน (rumen) และกระเพาะอะบอมาซัม (abomasum) ของแกะไม่มีการดูดซึมซีลีเนียม (ภาพที่ 2) การดูดซึมสุทธิ (total net absorption) ในแกะประมาณ 35% ของซีลีเนียมที่กินเข้าไป (Wright, 1967) สัตว์กระเพาะเดี่ยวมีการดูดซึมซีลีเนียมในลำไส้สูงกว่าสัตว์เคี้ยวเอื้อง ทั้งนี้อาจเนื่องจากมีปฏิกิริยารีดักชัน (reduction) ของซีลีไนท์

ตารางที่ 1 ระดับของกลูทาไธโอน เปอร์ออกซิเดสในกล้ามเนื้อ เม็ดเลือดแดง และพลาสมาของลูกแกะอายุ 2-3 สัปดาห์ ที่เกิดจากแม่แกะที่ได้รับการเสริมด้วยซีลีเนียมและวิตามินอี [a]

Ewe treatment	No.of samples	Enzyme activity		
		Muscle biopsy	Erythrocytes	Plasma
No Se supplement[b]	6	1.46 ± 0.23	16.3 ± 2.8	0.29 ± 0.07
Se-supplemented[c]	6	2.33 ± 0.23	37.4 ± 2.8	0.48 ± 0.08
Significance		P = 0.05	P < 0.001	NS

[a]ระดับของเอ็นไซม์ แสดงเป็น ไมโครโมลของ NADPH ต่อ 100 มก.ของโปรตีนต่อนาที ± S.E.

[b]รวมลูกแกะจากแม่ที่ได้รับวิตามินอี

[c]แม่แกะที่ได้รับซีลีเนียมชนิดเม็ดและชนิดเหลวทางปาก

จาก Godwin และคณะ, 1975

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2 การตอบสนองต่อการให้ซัลเฟอร์ระดับต่าง ๆ ในอาหาร

Parameter	Sulfur concn in diet (g/kg) 2.0	0.5	P
Dry matter			
Intake (g/day)	706 ± 7	423 ± 62	***
Digestibility (%)	64.4 ± 0.8	56.0 ± 0.8	***
Nitrogen			
Intake (g/day)	15.53 ± 0.16	9.30 ± 1.37	***
Faecal (g/day)	3.70 ± 0.14	2.29 ± 0.29	***
Apparent digestibility (%)	76.15 ± 0.85	74.5 ± 0.92	N.S.
Urinary (g/day)	9.14 ± 0.34	6.90 ± 0.76	***
Balance (g/day)	2.69 ± 0.22	0.11 ± 0.41	***
Sulfur			
Intake (mg/day)	1412 ± 14	212 ± 31	***
Faecal (mg/day)	514 ± 17	184 ± 21	***
Apparent digestibility (%)	64 ± 1	4 ± 8	***
Urinary (mg/day)	699 ± 25	41 ± 4	***
Balance (mg/day)	199 ± 31	-13 ± 13	***
Selenium			
Intake (µg/day)	150 ± 72	81 ± 39	N.S.
Faecal (µg/day)	79 ± 36	59 ± 23	N.S.
Apparent digestibility (%)	35 ± 5	-7 ± 12	N.S.
Urinary (µg/day)	38 ± 14	21 ± 6	N.S.
Balance (µg/day)	32 ± 27	1 ± 10	N.S.
Plasma			
Total sulfur (µg/ml)	813 ± 27	809 ± 14	N.S.
Sulfate-sulfur (µg/ml)	52 ± 2	21 ± 1	***
Whole blood glutathione peroxidase (EU/ml)	375 ± 19	398 ± 26	N.S.
Wool			
Total sulfur (g/kg)	27.6 ± 0.4	27.6 ± 0.4	N.S.
Selenium (µg/kg)	736 ± 224	1261 ± 267	N.S.
Fibre diameter (µm)	20.1 ± 0.4	19.2 ± 0.5	N.S.

ค่าต่าง ๆ ที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± SE สำหรับแกะ 8 ตัว $^{*}P < 0.05$, $^{**}P < 0.01$, $^{***}P < 0.001$, N.S. = ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

จาก White (1980)

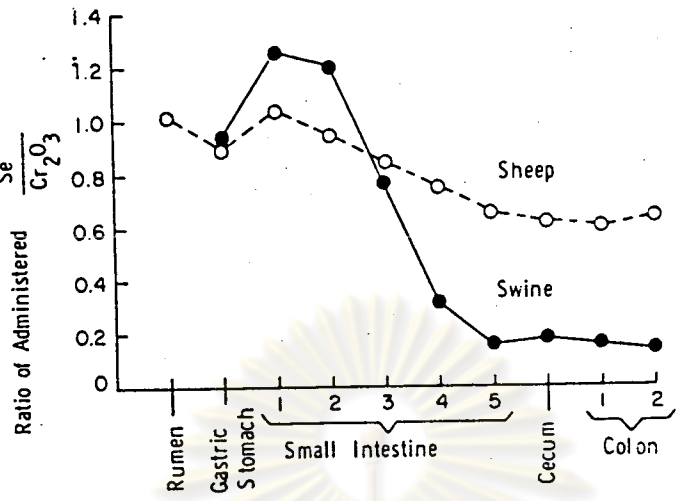
ตารางที่ 3 การตอบสนองต่อการให้ซีลีเนียมระดับต่าง ๆ ในอาหาร

Parameter	Dietary sulfur concn (g/kg)	Dietary selenium concn (mg/kg)			
		0.67	0.09	0.06	0.02
Selenium intake (µg/day)	2.0	481 ± 0^{a}	61 ± 5^{b}	41 ± 0^{c}	17 ± 0^{d}
	0.5	251 ± 97^{a}	34 ± 48^{b}	26 ± 16^{b}	12 ± 1^{b}
Faecal selenium	2.0	234 ± 21^{a}	41 ± 4^{b}	28 ± 2^{bc}	15 ± 1^{cd}
excretion (µg/day)	0.5	159 ± 55^{a}	31 ± 37^{b}	32 ± 24^{b}	17 ± 3^{b}
Apparent selenium	2.0	51 ± 4^{a}	33 ± 1^{b}	32 ± 5^{b}	15 ± 6^{c}
digestibility (%)	0.5	37 ± 3^{a}	-2 ± 36^{ab}	-20 ± 18^{b}	-43 ± 14^{b}
Urinary selenium	2.0	100 ± 0^{a}	18 ± 4^{b}	17 ± 2^{b}	15 ± 2^{b}
excretion (µg/day)	0.5	49 ± 6^{a}	12 ± 8^{b}	11 ± 2^{b}	10 ± 0^{b}
Selenium balance (µg/day)	2.0	147 ± 21^{a}	2 ± 7^{b}	-4 ± 4^{b}	-13 ± 1^{b}
	0.5	43 ± 36^{a}	-9 ± 3^{b}	-17 ± 10^{a}	-15 ± 2^{b}
Plasma selenium	2.0	149 ± 12^{a}	110 ± 9^{b}	89 ± 9^{b}	75 ± 5^{cd}
concn (ng/ml)	0.5	188 ± 19^{a}	103 ± 3^{b}	88 ± 3^{b}	85 ± 7^{b}
Wool selenium	2.0	1745 ± 115^{a}	519 ± 60^{b}	380 ± 24^{b}	300 ± 12^{b}
concn (µg/kg)	0.5	2465 ± 5^{a}	1000 ± 70^{b}	920 ± 40^{b}	660 ± 20^{c}
Shole blood selenium concn (ng/ml)	Combined	360 ± 22^{a}	292 ± 10^{b}	262 ± 21^{b}	272 ± 15^{b}

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± S.E. สำหรับแกะ 2 ตัว อักษรที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันภายในกลุ่มทดลองที่ให้ซัลเฟอร์ ที่ระดับความเชื่อมั่น 5%

จาก White (1980)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2 แสดงการดูดซึมและการขับหลั่งของซีลีเนียมในส่วนต่างๆ ของลำไส้ และอัตราส่วนของ ^{75}Se และ Cr_2O_3 ที่ให้ ในแกะและสุกร

จาก Wright (1967)

เปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำและถูกนำไปใช้ไม่ได้เกิดขึ้นในกระเพาะรูเมน (Cousins และ Cairney, 1961) เหตุผลเหล่านี้เป็นสาเหตุสำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้สัตว์เกิดภาวะการขาดซีลีเนียม สารประกอบอินทรีย์บางอย่างของซีลีเนียม เช่น selenopropionic acid สัตว์ดูดซึมได้น้อยมาก ดังนั้นอาหารสัตว์ที่เพิ่ม propionic acid มาก (20%) จึงทำให้สัตว์ไม่สามารถนำซีลีเนียมไปใช้ได้อย่างเต็มที่ (Allen และคณะ, 1975)

ซีลีเนียมที่สะสมอยู่ในเนื้อเยื่อส่วนใหญ่จะไม่คงอยู่กับที่ แต่จะมีการขับทิ้งทางมูล ปัสสาวะและทางลมหายใจออก สัตว์เคี้ยวเอื้องมีการขับทิ้งซีลีเนียมทางมูลด้วยปริมาณที่มากกว่าทางปัสสาวะ แม้จะให้อาหารที่มีปริมาณซีลีเนียมต่ำก็ตาม (Cousins และ Cairney, 1961)(ตารางที่ 4) เนื่องจากมีปฏิกิริยารีดักชันของซีลีเนียมในอาหารเปลี่ยนเป็นซีลีเนียมในรูปที่สัตว์ไม่สามารถนำไปใช้ได้เกิดขึ้นในกระเพาะรูเมน สัตว์ที่ถูกเลี้ยงด้วยอาหารที่มีระดับซีลีเนียมค่อนข้างสูงเป็นเวลานาน ซีลีเนียมจะถูกขับทิ้งทางปัสสาวะน้อยมาก เนื่องจากไตถูกทำลายและซีลีเนียมถูกนำไปสะสมไว้ในเนื้อเยื่อต่าง ๆ มากขึ้น ระดับที่สะสมขึ้นอยู่กับปริมาณ

ตารางที่ 4 การขับทิ้งซีลีเนียมทางปัสสาวะและมูลของสุกรที่ได้รับการเสริมและไม่เสริมด้วยซีลีเนียม ค่าเฉลี่ยจากสุกร 2 ตัว (ไมโครกรัมของซีลีเนียม)

Time after Dosage	Non-Dosed		Dosed*	
	Urine	Faeces	Urine	Faeces
0 - 24 hr	6	18	318	383
24 - 48 hr	7	29	118	760
48 - 72 hr	6	23	66	403
Total, 0 - 72 hr	19	70	503	1546

*สารประกอบอนินทรีย์ของซีลีเนียมที่ให้สัตว์กินครั้งแรก 5 มก.

จาก Cousins และ Cairney (1961)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

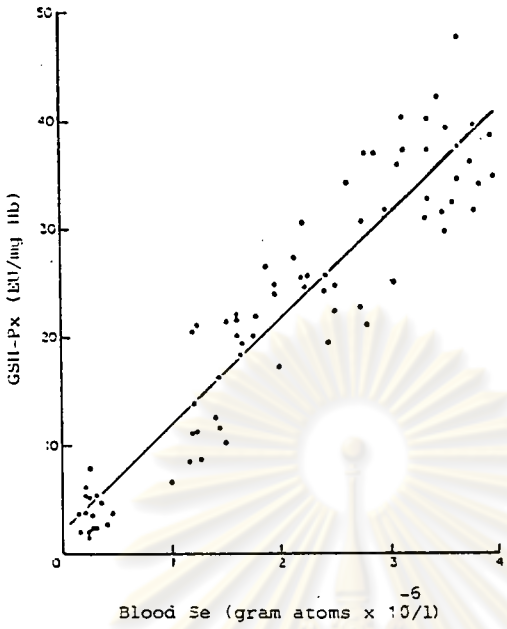
ซีลีเนียมที่สัตว์ได้รับ ตับและไตเป็นอวัยวะที่พบว่ามีการสะสมซีลีเนียมมากที่สุด สมองและกล้ามเนื้อน้อยที่สุด ไขมันไม่พบว่ามีการสะสมซีลีเนียมเลยไม่ว่าสัตว์จะได้รับซีลีเนียมมากเท่าใด หลังจากหยุดให้ซีลีเนียมนาน 50 วันปริมาณการขับทิ้งทางปัสสาวะของแกะจะลดน้อยลงมากจนกระทั่งไม่พบเลย และถ้าหยุดให้นานถึง 61-64 วัน ปริมาณซีลีเนียมในเนื้อเยื่อจะมีเพียงเล็กน้อยซึ่งอยู่ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสัตว์ (Rosenfeld และ Beath, 1945)

ความสัมพันธ์ของกลูทาไธโอน เปอร์ออกซิเดสกับระดับของซีลีเนียม

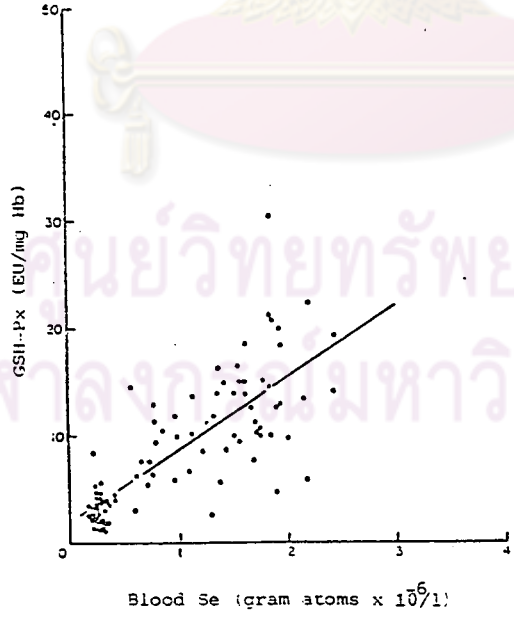
ระดับซีลีเนียมในเลือดมีความสัมพันธ์กับระดับกิจกรรมของกลูทาไธโอน เปอร์ออก-ซิเดสอย่างมาก เนื่องจากซีลีเนียมเป็นองค์ประกอบสำคัญของเอ็นไซม์นี้ และถูกนำเข้าสู่กลูทาไธโอน เปอร์ออกซิเดสในเม็ดเลือดแดงระหว่างที่มีการสร้างเม็ดเลือดแดง การวัดระดับกิจกรรมของกลูทาไธโอน เปอร์ออกซิเดสจึงสามารถบอกถึงสถานภาพของซีลีเนียมในสัตว์ได้ ประมาณ 98% ของเอ็นไซม์นี้ในเลือดเกี่ยวข้องกับเม็ดเลือดแดง ดังนั้นการวัดระดับกลูทาไธโอน เปอร์ออกซิเดสในเม็ดเลือดแดงจึงเป็นเครื่องบอกถึงสถานภาพของซีลีเนียมได้ดีกว่าการวัดเอ็นไซม์นี้ในเลือดว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณซีลีเนียมในอาหารที่กินทุกวัน (Godwin และคณะ, 1975; Koller, 1981)

ความสัมพันธ์ของระดับกิจกรรมของกลูทาไธโอน เปอร์ออกซิเดสในเม็ดเลือดแดงกับระดับซีลีเนียมในเลือดของแกะและโคเหมือนกัน กล่าวคือเป็นความสัมพันธ์ในทางบวก (positive correlation) (ภาพที่ 3,4) แต่สัมประสิทธิของสหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) ของแกะสูงกว่าโค แสดงว่าในแกะระดับกลูทาไธโอน เปอร์ออกซิเดสเกี่ยวข้องกับระดับซีลีเนียมอย่างเห็นได้ชัดกว่าในโค (Wilson และ Judson, 1976) ถ้าอาหารมีปริมาณของแร่ธาตุซีลีเนียมเพียงพอ การเพิ่มปริมาณซีลีเนียมในอาหารจะทำให้ระดับเอ็นไซม์ในเม็ดเลือดแดงและระดับซีลีเนียมในเลือดเพิ่มขึ้นตามกันถ้าให้อาหารที่มีปริมาณซีลีเนียมต่ำ (0.01 ไมโครกรัมต่อกรัมของอาหารทั้งหมด) เป็นเวลานาน 10 สัปดาห์ พบว่าระดับกลูทาไธโอน เปอร์ออกซิเดสในเม็ดเลือดแดงและกล้ามเนื้อลดลงอย่างมาก ระดับซีลีเนียมในเลือดต่ำแต่จะคงที่ (ภาพที่ 5) การฉีดซีลีเนียม 2.5 มก.ในรูปโซเดียมซีลีไนท์เข้าใต้ผิวหนัง

013256



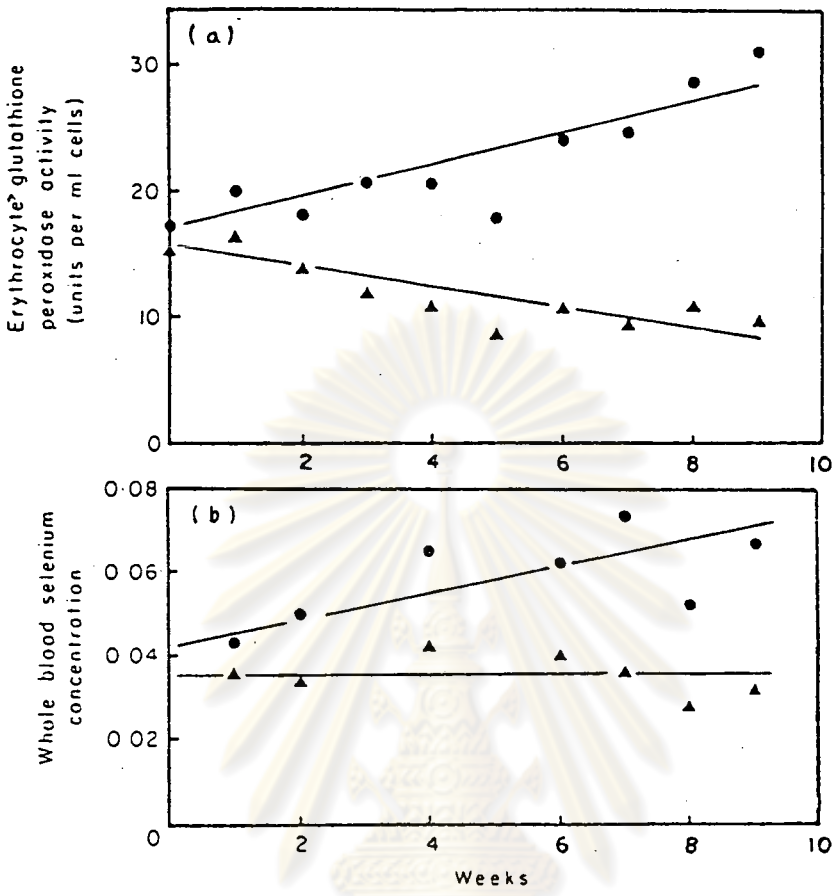
ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับกลูทาไธโอน เปอร์ออกซิเดส ในเม็ดเลือดแดง กับความเข้มข้นของซีลีเนียมในเลือดของแกะ



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างกลูทาไธโอน เปอร์ออกซิเดส ในเม็ดเลือดแดง กับความเข้มข้นของซีลีเนียมในเลือดของโค

จาก Wilson และ Judson, 1976

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 5 ค่าเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลง กลูทาไธโอน เปอร์ออกซิเดส ในเม็ดเลือดแดง และ ความเข้มข้นของซีลีเนียมในเลือดของโคที่ได้รับซีลีเนียมระดับต่ำ (ประมาณ 0.01 ไมโครกรัม/กรัมของอาหาร)

▲ โค 10 ตัวที่ไม่ได้รับการฉีดซีลีเนียม

● โค 5 ตัวที่ได้รับการฉีดซีลีเนียม

จาก Anderson และคณะ, 1978

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทุก 2 สัปดาห์ สามารถเพิ่มระดับเอ็นไซม์กลูทาไธโอน เปอร์ออกซิเดสในเม็ดเลือดแดง และระดับซีลีเนียมในเลือดขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ส่วนเอ็นไซม์ในกล้ามเนื้อจะเพิ่มขึ้นมากกว่าพวกที่ไม่ได้รับการฉีดถึง 85 เท่า การที่ระดับซีลีเนียมในเลือดยังคงรักษาระดับต่ำให้คงที่ได้นั้น แสดงว่าร่างกายสามารถรักษาซีลีเนียมที่มีจำนวนน้อยไว้ในเลือดโดยไม่นำเข้าสู่กลูทาไธโอน เปอร์ออกซิเดสในเม็ดเลือดแดง (Anderson และคณะ, 1978)

เมื่อตรวจเนื้อเยื่อของหนูแรทและแกะที่ปกติ พบว่าส่วนใหญ่จะพบการกระจายของกลูทาไธโอน เปอร์ออกซิเดสภายในเซลล์ และมีระดับสูงโดยเฉพาะกล้ามเนื้อร่างกายสูงกว่ากล้ามเนื้อหัวใจ และกล้ามเนื้อของหนูแรทสูงกว่าในแกะ ระดับกิจกรรมของกลูทาไธโอน เปอร์ออกซิเดสในกล้ามเนื้อและเม็ดเลือดแดงของแม่แกะที่เสริมและไม่เสริมซีลีเนียมนั้นแตกต่างกัน ($P < 0.05$ และ $P < 0.001$) ตามลำดับ ส่วนในพลาสมาไม่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าการวัดระดับกิจกรรมของกลูทาไธโอน เปอร์ออกซิเดสในเม็ดเลือดแดง เป็นวิธีที่ดีที่สุดในการบอกสถานภาพของซีลีเนียมในแกะ (Godwin, 1975) หนู, squirrel monkey แต่ในไพรเมทที่สูงขึ้น เช่น คนและ rhesus monkey ไม่อาจใช้บอกได้ เนื่องจากพบว่าซีลีเนียมส่วนใหญ่ของสัตว์ที่ต่ำกว่าไพรเมท พบในกลูทาไธโอน เปอร์ออกซิเดสในพลาสมาและเม็ดเลือดแดง แต่ในคนและ rhesus monkey พบในโปรตีน 2 ชนิดที่ไม่ใช่กลูทาไธโอน เปอร์ออกซิเดส (Beilstein และ Whanger, 1983)

สิ่งที่บ่งบอกถึงสถานภาพของซีลีเนียมในร่างกายแกะ โค กระบือ อีกอย่างหนึ่งคือการทดสอบระดับการรับแรธาตุซีลีเนียมโดยเม็ดเลือดแดง แกะที่ได้รับซีลีเนียมในอาหารต่ำ ระดับกลูทาไธโอน เปอร์ออกซิเดส ในเลือดจะต่ำแต่การรับซีลีเนียมโดยเม็ดเลือดแดงจะสูง การเสริมวิตามินอีให้ไม่มีผลต่อการรับซีลีเนียมโดยเม็ดเลือดแดง และระดับกลูทาไธโอน เปอร์-ออกซิเดส แกะที่ได้รับการเสริมซีลีเนียม สามารถเพิ่มระดับกลูทาไธโอน เปอร์ออกซิเดสได้ และลดระดับการรับซีลีเนียมโดยเม็ดเลือดแดงลงอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นสัตว์ที่มีสภาวะการขาดซีลีเนียม การรับซีลีเนียมโดยเม็ดเลือดแดงจะสูงขึ้น (Figueiras และคณะ, 1984; ณรงค์ศักดิ์ ชัยบุตร และคณะ, 2526; ณรงค์ศักดิ์ ชัยบุตร และคณะ, 2527; McDowell, 1986) การทดลองเลี้ยงหนูแรทด้วยอาหารที่มี Torula yeast เป็นแหล่งโปรตีนซึ่งมีระดับวิตามินต่ำ และเสริมด้วยซีลีเนียมและวิตามินอีระดับต่าง ๆ กันพบว่า ระดับซีลีเนียมในเนื้อเยื่อ

ต่าง ๆ จะลดลงเมื่อให้อาหารที่มีซีลีเนียมต่ำ การสะสมซีลีเนียมในเนื้อเยื่อพบว่า ไตมีระดับซีลีเนียมสูงที่สุด รองลงมาคือตับและเลือดมีระดับต่ำสุด การเสริมวิตามินอีสามารถป้องกันการเกิดโรคลิเวอร์นิโครซีสในสัตว์ที่ไม่ได้รับการเสริมด้วยซีลีเนียมได้ แต่ไม่มีผลต่อระดับซีลีเนียมในร่างกาย ส่วนใหญ่ระดับซีลีเนียมในเลือดและตับจะคงที่ไม่ว่าจะให้อาหารที่มีระดับซีลีเนียม 0.5 หรือ 0.25 พีพีเอ็มก็ตาม แต่ในไตระดับซีลีเนียมจะเพิ่มขึ้นได้เมื่อซีลีเนียมในอาหารสัตว์เพิ่มขึ้น (Burk และคณะ, 1968) ดังนั้นระดับซีลีเนียมในไตจึงเป็นเครื่องบอกถึงสถานภาพของซีลีเนียมในร่างกายได้ สัตว์ที่เป็นโรคกล้ามเนื้อขาว และ ill-thrifty ระดับซีลีเนียมในเนื้อเยื่อต่าง ๆ จะต่ำลงกว่าปกติ (Cousins และ Cairney, 1961)

ระดับซีลีเนียมในเลือดที่บอกถึงสภาวะการขาดซีลีเนียมในสัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่น แกะ โค ม้า คือ 0.05 พีพีเอ็ม ระดับที่เพียงพอแก่สัตว์คือ 0.10 พีพีเอ็ม และระดับที่ก่อให้เกิดพิษ คือ 3 พีพีเอ็ม นอกจากนี้วิธีที่ยอมรับอีกวิธีหนึ่งคือ การวัดระดับกลูทาไธโอนในเม็ดเลือดแดง ระดับที่บอกถึงสภาวะการขาดซีลีเนียมคือ < 15 มิลลิยูนิตต่อ มก.ของฮีโมโกลบิน (mu/mg of hemoglobin) ซึ่งระดับปกติในวัวและแกะ ควร > 25 มิลลิยูนิตต่อ มก.ฮีโมโกลบิน (Koller, 1981)

พันธุกรรมมีบทบาทเกี่ยวข้องกับการควบคุมเมตาบอลิสมของซีลีเนียมด้วย Wiener และ Woolliams (1983) ได้ศึกษาระดับกิจกรรมของเอ็นไซม์กลูทาไธโอน เปอร์ออกซิเดสในเลือด ระดับความเข้มข้นของซีลีเนียมในเลือดและขนสัตว์จากแกะ 3 พันธุ์ ได้แก่ Scottish Blackface, Welsh Mountain และ Finnish Landrace พบว่าระดับซีลีเนียมในเลือดอยู่ในช่วง 25 - 109 ไมโครกรัมต่อลิตร พันธุ์ Finnish Landrace มีระดับกิจกรรมของกลูทาไธโอน เปอร์ออกซิเดส และซีลีเนียมในเลือดสูงกว่าพันธุ์อื่นถึง 2 เท่า แต่ระดับซีลีเนียมในขนสัตว์ทั้ง 3 พันธุ์ ไม่มีความแตกต่างกัน และระดับเอ็นไซม์กับระดับซีลีเนียมในเลือด มีความสัมพันธ์กันอย่างสูง ($r = 0.8$, $P < 0.01$) เช่นเดียวกับผลรายงานของ Koller (1981); Allen และคณะ (1975) และ Anderson และคณะ (1978) แต่ระดับเอ็นไซม์ในเลือดไม่มีความสัมพันธ์กับระดับซีลีเนียมในขนสัตว์เลย

ผลของการขาดธาตุซีลีเนียมในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ซีลีเนียมเป็นธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต และอาจมีผลต่อระบบสืบพันธุ์ของสัตว์ และยังสามารถป้องกันการเกิดโรคหลายชนิด ที่ตอบสนองต่อวิตามินอี ซึ่งมีการศึกษากันอย่างกว้างขวางทั่วไปทั้งในคนและสัตว์ (Underwood, 1977) ในปศุสัตว์โดยเฉพาะพวกสัตว์เคี้ยวเอื้อง ถ้าร่างกายขาดซีลีเนียมจะมีผลทำให้เกิดความผิดปกติเกี่ยวกับระบบกล้ามเนื้อ เช่น โรคกล้ามเนื้อขาว หรือโรคกล้ามเนื้อเสื่อมโทรม ซึ่งเป็นโรคที่ก่อให้เกิดอาการเสื่อมโทรมของกล้ามเนื้อ โดยไม่เกี่ยวข้องกับระบบประสาท เกิดขึ้นได้กับสัตว์หลายชนิด เช่น ลูกแกะ ลูกโค กระบือ ลูกม้า กระต่าย และจิงโจ้ โรคกล้ามเนื้อขาวไม่ค่อยเกิดกับสัตว์ที่โตเต็มที่ ลูกแกะอาจเกิดโรคนี้ได้ตั้งแต่แรกเกิดจนถึงอายุ 12 เดือน ส่วนใหญ่พบว่าสัตว์ที่เป็นโรคมีอายุอยู่ในช่วง 3-6 สัปดาห์ ลูกแกะที่เป็นโรคนี้มาตั้งแต่เกิดมักจะตายภายใน 2-3 วัน กล้ามเนื้อที่อยู่ข้างบนของกระดูกคอเป็นบริเวณที่แสดงอาการของโรคโดยเฉพาะ กล่าวคือ ลักษณะกล้ามเนื้อเป็นลายสีขาว ลูกแกะที่เกิดโรค จะแสดงอาการขาแข็ง เดินไม่สะดวก หลังโค้งงอไม่ค่อยยอมเคลื่อนไหวร่างกาย หมดกำลังและตายในที่สุด สัตว์ที่มีอาการเกี่ยวกับหัวใจอย่างรุนแรงอาจตายได้ทันทีโดยไม่ทันแสดงอาการของโรค อาการของโรคกล้ามเนื้อขาวอาจจะไม่ปรากฏจนกว่าจะเห็นลักษณะท่าทางการเดินของมัน สัตว์ที่มีอาการไม่รุนแรงนักก็อาจจะหายได้เอง

ความพิการเหล่านี้เกี่ยวข้องกับการตายของเซลล์และเนื้อเยื่อของกล้ามเนื้อร่างกายหรือหัวใจหรือทั้ง 2 อย่าง โดยมีความรุนแรงของโรคต่าง ๆ กัน ลักษณะการกระจายของโรคจะเกิดทั้ง 2 ด้านของกล้ามเนื้อร่างกาย โดยปกติแล้วส่วนใหญ่จะเห็นบริเวณที่เกิดโรคได้ที่กล้ามเนื้อต้นขาและไหล่ ส่วนกล้ามเนื้อหัวใจปกติจะเกิดที่หัวใจห้องล่างขวา แต่ก็อาจพบในส่วนอื่นได้ด้วย ลักษณะที่เห็นคือจุดขาวออกเทาใต้เยื่อหุ้มหัวใจหรือมีรอยของกล้ามเนื้อหัวใจถูกทำลายมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มม. และพบว่าคลื่นไฟฟ้าหัวใจเห็นได้ชัดขึ้นเมื่อสัตว์กำลังจะตาย รูปแบบของการเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้าหัวใจนี้จะพบได้ในหนูแรทหรือลูกแกะที่ถูกเลี้ยงด้วยอาหารที่ประกอบด้วย Torula yeast และมีระดับซีลีเนียมต่ำเช่นกัน

ซีลีเนียมมีผลต่อการเจริญเติบโตของลูกแกะ ลูกแกะที่มีอัตราการเจริญเติบโตต่ำเมื่อเสริมซีลีเนียมโดยการฉีดโซเดียมซิลิไนท์ ที่มีซีลีเนียม 1.0 มก.ทุก 7-10 วันเข้าใต้ผิวหนัง พบว่า น้ำหนักของลูกแกะจะเพิ่มขึ้นกว่าพวกที่ไม่ได้รับการเสริมอย่างเห็นได้ชัด

(McLean และคณะ, 1959) ลูกแกะที่ไม่ได้รับซีลีเนียมและวิตามินอีอย่างเพียงพอ จะเกิดอาการของการเสื่อมโทรมของกล้ามเนื้อหัวใจและกล้ามเนื้อร่างกาย (Muth, 1970) อาการโดยทั่วไปแก่ ขาแข็ง อ่อนแด ยืนไม่ได้ กล้ามเนื้อแข็งและบวม ตัวสั่น หายใจผิดปกติ (dyspnea) เนื่องจากความผิดปกติของกระบังลมและกล้ามเนื้อทรวงอก ลูกสัตว์ที่เป็นโรคอาจตายทันทีเนื่องจากกล้ามเนื้อหัวใจเสื่อมสมรรถภาพ ลูกแรกเกิดออนแอ ท้องร่วง ปอดบวม อาจตายตั้งแต่อยู่ในท้อง แม่ที่เป็นโรคมักแท้ง รกค้าง อัตราการผสมติดลดลง จำนวนลูกน้อยลง การผลิตขนลดลง unthriftiness ลักษณะทางจุลกายวิภาคของกล้ามเนื้อที่เกิดโรคได้แก่ ซีด มี lesion เกิดขึ้นเนื่องจากการเสื่อมเสียของ hyaline (Koller, 1981) และเกิดโรคฟัน จากการทดลองของ Shearer และ Hadjimarkes (1973) พบว่า ซีลีเนียมที่เสริมให้แก่แม่หนูแรทขณะตั้งท้อง จะถูกนำไปใช้ในการสร้างและเจริญของพันธุกรรมของลูกและถูกนำเข้าสู่ฟันของแม่ ซีลีเนียมที่ถูกนำเข้าสู่เคลือบฟันและเนื้อฟันทั้งลูกและแม่นั้นส่วนใหญ่พบในส่วนประกอบที่เป็นโปรตีนของฟัน

แม่แกะที่ได้รับการฉีดซีลีเนียมแล้วจะมีระดับซีลีเนียมในเลือดเพิ่มขึ้นมากกว่าพวกที่ไม่ฉีด แต่ไม่มีผลต่อจำนวนแกะที่คลอดลูก จำนวนลูกที่เกิดต่อแม่ หรืออัตราส่วนของเพศผู้และเมียของลูก แต่พบว่าอัตราการอยู่รอดและความสมบูรณ์ของลูกที่คลอดมีมากขึ้น (Kott และคณะ, 1983) ซึ่งขัดกับรายงานของ (Godwin และคณะ, 1970) ว่าซีลีเนียมและวิตามินอีมีผลต่อระบบสืบพันธุ์เพิ่มอัตราการผสมติดและจำนวนลูกต่อครอกได้ และผลของ Kott ก็ยังคงสนับสนุนรายงานของ Mitchell และคณะ (1975) และ Ruttle (1979)

มีหลักฐานว่าซีลีเนียมถูกนำเข้าสู่น้ำอสุจิ (semen) และอวัยวะของระบบสืบพันธุ์ในวัวและแกะเพศผู้ที่ได้รับการฉีด 500 µci ^{75}Se ให้ซีลีเนียม นอกจากจะเป็นส่วนประกอบของกลูทาไธโอน เปอร์ออกซิเดส แล้วพบว่าซีลีเนียมยังเข้าไปเป็นส่วนประกอบของโปรตีนอื่นในอวัยวะของระบบสืบพันธุ์ด้วย เช่น ถุงน้ำอสุจิ อัณฑะและน้ำอสุจิ ซึ่งแสดงว่าซีลีเนียมอาจมีบทบาทในการป้องกันตัวอสุจิจากการทำลายของ poroxide radicals โดยผ่านทางกลูทาไธโอน เปอร์ออกซิเดสใน seminal plasma นั่นเอง ในถุงน้ำอสุจิมีกลูทาไธโอน เปอร์ออกซิเดสระดับสูง ขณะเดียวกันก็พบว่ามีการสังเคราะห์ prostaglandin สูงด้วยซึ่งการสังเคราะห์นี้เกี่ยวข้องกับเอ็นไซม์กลูทาไธโอน เปอร์ออกซิเดสด้วย จึงเป็นข้อเสนอแนะว่า

กลูทาไธโอน เปอร์ออกซิเดสอาจมีหน้าที่ในต่อมลูกหมากนี้ และโดยทั่วไปการสังเคราะห์ prostaglardin E (PGE) จะสูงกว่า prostaglandin F ดังนั้นจึงอาจใช้ระดับPGE บ่งบอกถึงสถานภาพของซีลีเนียมได้ด้วย ซีลีเนียมที่ถูกสะสมในอัณฑะจะถูกนำเข้าสู่ขบวนการสร้างและเจริญของตัวอสุจิ แต่อย่างไรก็ตามไม่พบซีลีเนียมจะถูกนำเข้าสู่ตัวอสุจิที่โตเต็มที่ของแกะ วัว หรือหนูแรทเลย (Pond และคณะ, 1983)

Allen และคณะ (1975) รายงานผลการศึกษาโรคกล้ามเนื้อเสื่อมโทรมในวัวอายุ 13-20 เดือน โดยเลี้ยงด้วยอาหารที่ขาดวิตามินอี และซีลีเนียม พบว่าโรคการเสื่อมโทรมของกล้ามเนื้อมีสิ่งที่ส่งเสริมการเกิดโรค ได้แก่ สภาพอากาศ ความร้อน ออกซิเจนความชื้น (Roche,n.d.) และการเพิ่ม propionic acid ในอาหารเป็นการทำลายวิตามินอี ทำให้จำนวนสัตว์ที่เกิดโรคเพิ่มขึ้น นอกจากจะได้รับการเสริมซีลีเนียมและวิตามินอีอย่างเพียงพอ

นอกจากนี้ยังมีโรคที่เกิดจากการขาดซีลีเนียมในสัตว์อื่น ๆ เช่น เฮพาโตซีสไดเอทีทิคาในสุกร แพนครีเอทิค ไฟโบรซีสในลูกไก่ เป็นต้น (Underwood, 1977)

<u>การป้องกันและรักษาโรค</u>

ลูกวัวและลูกแกะที่เกิดใหม่ ควรได้รับการเสริมด้วยซีลีเนียมร่วมกับวิตามินอีเป็นระยะ ๆ ทุก ๆ 40 วัน เนื่องจากกิจกรรมทางสรีรวิทยาของซีลีเนียมที่ให้ในสัตว์มีเพียง 40 วันเท่านั้น จึงต้องฉีดซีลีเนียมให้สัตว์บริเวณพื้นที่ที่ขาดแร่ธาตุนี้บ่อย ๆ การเสริมให้ในอาหาร วัว แกะ และสุกร ควรให้ระดับ 0.1 พีพีเอ็มในอาหารทั้งหมดไม่ควรเกินกว่า 3 พีพีเอ็มเพราะจะเกิดพิษได้ และควรให้ในรูปเกลือและแร่ธาตุผสมระดับ 10 พีพีเอ็มในรูปโซเดียมซิลิไนท์ (Koller, 1981) การเสริมซีลีเนียมในรูปของเกลือของซีลีเนียมเป็นเม็ด เช่น calcium selenate, barium selenate หรือให้เป็นแร่ธาตุซีลีเนียมเพียงครั้งเดียวจะมีผลเพิ่มระดับซีลีเนียมในเลือดและเนื้อเยื่อได้นานถึง 12 เดือน ซึ่งเม็ดยาเหล่านี้จะมีผลทางสรีรวิทยาของสัตว์ โดยจะค่อย ๆ ปล่อยซีลีเนียมออกมาอย่างช้า ๆ และเป็นเวลานาน นอกจากนี้การให้แร่ธาตุซีลีเนียมอาจมีผลโดยผ่านทางแบคทีเรียที่มีอยู่ในกระเพาะรูเมน ซึ่งสามารถเปลี่ยนสารประกอบอนินทรีย์ของซีลีเนียม เพื่อนำเข้าสู่โปรตีนของแบคทีเรียได้

(Kuchel และ Buckley, 1969)

Maas และคณะ (1984) ได้ศึกษาลูกแกะอายุ 2-4 สัปดาห์ ซึ่งพบว่ามีอาการของ nutritional muscular dystrophy จากแม่แกะที่ได้รับอาหารและแร่ธาตุสมบูรณ์ วัดสถานภาพของซีลีเนียมของลูกแกะพบว่าปกติ (0.081 พีพีเอ็ม) แต่ระดับของวิตามินอีในเลือดต่ำ (0.065 ± 0.024 มก./ดล.)ซึ่งปกติควร > 0.2 มก./ดล. ลูกแกะเหล่านี้ไม่ได้รับการเสริมด้วยซีลีเนียมหรือวิตามินอีเลย หลังจากที่เสริมวิตามินอี 50 มก. ให้ทุกวันภายใน 1 สัปดาห์ ไม่พบสัตว์ที่เกิดอาการรายใหม่อีก แสดงว่าลูกแกะที่อายุไม่ถึง 1 ปี แม้จะมีสถานภาพของซีลีเนียมปกติ ถ้าหากขาดวิตามินอีและไม่ได้รับการเสริมให้สัตว์ก็จะเกิดโรคได้เช่นกัน อย่างไรก็ตามทั้งซีลีเนียมและวิตามินอี เป็นสารอาหารจำเป็นในการป้องกันโรคกล้ามเนื้อเสื่อมโทรม จะเอาอย่างใดอย่างหนึ่งมาทดแทนกันไม่ได้ การให้อาหารที่มี polyunsaturated fatty acid (PUFA) สูง จึงควรเพิ่มระดับวิตามินอีในอาหารให้สูงขึ้นด้วย เพราะ PUFA เป็นตัวการที่ทำให้เกิดการสลายของผนังเซลล์เนื่องจากปฏิกิริยาของออกซิเดชัน

ลูกไก่ที่เลี้ยงด้วยอาหาร Torula yeast ซึ่งไม่มี "Factor 3" จะก่อให้เกิดโรคเอ็กซูเดทิฟ ไดอะธีซีส ซึ่งป้องกันได้โดยการเสริมด้วยวิตามินอี หรือ "Factor 3" ซึ่งพบว่าเป็นสารที่ไม่ละลายในไขมันพบได้ในเคซีน (casein) และเนื้อสุกร การเสริมด้วยซีลีไนท์ ควรใช้ระดับ 0.3 พีพีเอ็ม จึงจะให้ผลป้องกันโรคได้ (Patterson และคณะ, 1957)

ซีลีเนียมได้รับการพิสูจน์ว่าเป็นส่วนประกอบของ "Factor 3" ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต และการป้องกันโรคต่าง ๆ เนื่องจากขาดซีลีเนียม สารประกอบของซีลีเนียมต่าง ๆ มีประสิทธิภาพในการรักษาและป้องกันโรคได้แตกต่างกัน เช่น ซีลิโนซีสทาไธโอนีน (selenocystathionine), โซเดียมซิลิไนท์ และแร่ธาตุซีลีเนียม มีผลในการป้องกันและรักษาโรคลิเวอร์นิโครซีสในหนูแรทที่ระดับซีลีเนียม 4 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัมของอาหาร และมีผลกระตุ้นการเจริญเติบโต ป้องกันโรคเอ็กซูเดทิฟ ไดอะธีซีส และการเสื่อมสลายของอวัยวะต่าง ๆ เนื่องจากขาดซีลีเนียมในลูกไก่ที่เลี้ยงด้วยอาหาร Torula yeast ซึ่งขาดวิตามินอีได้ดี ในระดับที่มีซีลีเนียมในสารประกอบนั้น 10 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัมของอาหาร ถ้าให้เป็นแร่ธาตุซีลีเนียมควรให้ 200 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัมของอาหาร (Schwarz และคณะ, 1957)

การเสริมซีลีเนียมเพียงอย่างเดียวในอาหารที่ขาดวิตามินอี ไม่สามารถป้องกันโรคกล้ามเนื้อเสื่อมโทรมในลูกไก่ กระต่าย ลูกแกะได้อย่างเต็มที่ การให้ซีลีเนียมเพียงอย่างเดียวแก่ลูกแกะที่เป็นโรคอาจตอบสนองต่อยาในช่วงแรกแต่ไม่สามารถรักษาสภาพต่อไปได้นอกจากจะเสริมวิตามินอีร่วมด้วย นอกจากนี้ซีลีเนียมอย่างเดียวไม่สามารถรักษาและป้องกันโรคที่เกิดจากการขาดวิตามินอีได้

<u>พิษของซีลีเนียมต่อสัตว์เคี้ยวเอื้อง</u>

มีการทดลองมากมายเกี่ยวกับผลของพืชที่เจริญในพื้นที่ที่มีระดับของซีลีนิเฟอรัสสูง (seleniferous plants) และสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ของซีลีเนียมต่อสัตว์ทดลอง โดยการเลี้ยงสัตว์ด้วยอาหารเหล่านี้แก่สัตว์ในปศุสัตว์และสัตว์ทดลอง

พืชที่มีซีลีเนียมสูงสามารถก่อให้เกิดพิษทั้งแบบเฉียบพลันและแบบเรื้อรังต่อสัตว์ในปศุสัตว์ได้พิษแบบเรื้อรังได้แก่ ไบลด์ สแตกเกอร์ (blind stagger) โรคอัลคาไล (alkali disease) ผลของพิษขึ้นอยู่กับชนิดของสารประกอบซีลีเนียม สารประกอบซีลีเนียมที่เป็นสาเหตุของโรคอัลคาไล พบได้ในโปรตีนของพืชที่เจริญในพื้นที่ที่มีระดับของซีลีเนียมเฟอรัสสูง และไม่ละลายน้ำ ส่วนสารประกอบซีลีเนียมซึ่งก่อให้เกิดโรคไบลด์ สแตกเกอร์ สามารถละลายน้ำได้

การสะสมซีลีเนียมทีละเล็กละน้อยในสัตว์ก่อให้เกิดพิษได้ สารประกอบอินทรีย์ซีลีเนียมสามารถสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อได้นานกว่าสารประกอบอนินทรีย์ พิสูจน์ได้โดยทำการทดลองการก่อให้เกิดโรคอัลคาไล ในโคอายุ 1 ปี จำนวน 2 ตัว โดยการเลี้ยงด้วยฟางข้าวบาร์เลย์ที่เจริญในพื้นที่ที่มีพืช *Astragalus bisulcatus* ซึ่งมีระดับของซีลีเนียมที่ละลายน้ำได้สูงนาน 46 วัน ฟางข้าวบาร์เลย์นี้มีปริมาณซีลีเนียม 25 พีพีเอ็ม เมื่อเลี้ยงโคได้นาน 4 สัปดาห์ โคแสดงอาการข้อต่อแข็ง กีบเท้าแตกเมื่อเลี้ยงได้นาน 4 เดือน กีบเท้าของโคทั้ง 2 ตัว เริ่มหลุดออก อาการทั่วไปได้แก่ ซึม ผอม ขาเสีย เลือดจาง ขนหยาบ ขนร่วง กีบเท้าเป็นแผลและมีความผิดปกติเกิดขึ้น พิษจากการเลี้ยงด้วยสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ของซีลีเนียมนั้นแตกต่างกัน การทดลองเลี้ยงโคด้วยโซเดียมซีลีไนท์เป็นเวลานาน 28 สัปดาห์ ไม่ได้ก่อให้เกิดความผิดปกติของกีบเท้า ขนหยาบ ขนร่วงหรืออาการอื่น ๆ ของโรคอัลคาไลเลย

การทดลองในแม่แกะ 3 กลุ่ม กลุ่มควบคุม 10 ตัว ไม่ให้โซเดียมซีลีไนท์ กลุ่มที่ 2 20 ตัว ให้โซเดียมซีลีไนท์เป็น 3 ระยะ ระยะแรกให้ 16.7 มก.ทุกวันนาน 49 วัน ระยะที่ 2 เพิ่มเป็น 25.0 มก.ทุกวันนาน 29 วัน ระยะที่ 3 เพิ่มเป็น 37.5 มก.ทุกวันนาน 93 วัน กลุ่มที่ 3 10 ตัว ระยะแรกให้ 25.0 มก. ระยะที่ 2 ให้ 37.5 มก. ระยะที่ 3 ให้ 50.0 มก. ปรากฏว่าระยะแรกกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่ 2 ไม่มีแกะตายเลย แต่กลุ่มที่ 3 ตาย 1 ตัวจากแกะ 10 ตัว ระยะที่ 2 ไม่มีแกะกลุ่มใดตายเลย ระยะที่ 3 อัตราการตายของแกะทั้งกลุ่มที่ 2 และ 3 เพิ่มขึ้น ขณะที่กลุ่มควบคุมไม่ตายเลย จากผลที่ปรากฏนี้แสดงว่าซีลีเนียมถูกสะสมในเนื้อเยื่อเมื่อถึงระดับสูงเพียงพอจึงก่อให้เกิดอาการพิษ สัตว์ตายทั้งหมด 17 ตัว และแสดงการเปลี่ยนแปลงอย่างเฉียบพลันและรุนแรงของปอดและเยื่อหุ้มหัวใจ ซีลีเนียมที่สัตว์ได้รับเข้าไปในปริมาณที่เพียงพอเป็นระยะเวลานานจะถูกสะสมในเนื้อเยื่อจนถึงระดับที่ทำให้เกิดพิษ และพบว่าเยื่อหุ้มหัวใจเป็นส่วนที่แสดงอาการได้มากกว่าเนื้อเยื่ออื่น มีการสลายอย่างรวดเร็วและการตายของเยื่อหุ้มหัวใจเกิดขึ้น และถ้าการเปลี่ยนแปลงนี้ไม่เร็วจนเกินไปสัตว์จะแสดงอาการของ cardiac insufficiency ซึ่งมักจะเกิดทางด้านซ้ายของหัวใจมากกว่า เนื่องจากเยื่อหุ้มหัวใจด้านนี้ทำงานหนักกว่า เพราะฉะนั้นความดันในหลอดเลือดฝอยในปอดจะเพิ่มขึ้นขณะที่ความดันเลือดลดลง การซึมผ่านของผนังหลอดเลือดจะถูกกระทบกระเทือนเนื่องจากเนื้อเยื่อขาดออกซิเจนมีผลให้เกิดปอดบวมและเลือดออกที่ปอด มีการคั่งของเลือดในอวัยวะต่าง ๆ ซึ่งตับและไตมักจะมีอาการมากกว่าเนื่องจากเป็นอวัยวะที่ต้องการเลือดและออกซิเจนสูง ทำให้เกิดการสลายของอวัยวะ ถ้าอาการไม่เฉียบพลันนักจะมีอาการอย่างอื่นเกิดขึ้น เช่น อ่อนแอ เบื่ออาหาร อาการบวมและเลือดออกในปอด ทำให้การรับออกซิเจนลดลง ร่างกายพยายามที่จะชดเชยโดยเร่งอัตราการหายใจ ถ้ากลไกการชดเชยเพียงพอที่จะทำให้สัตว์มีชีวิตได้อีก 2-3 วัน กล้ามเนื้อหัวใจที่ตายจะสลายไป เกิดไฟโบรบลาสท์ (fibroblast) ขึ้นแทน และเมื่อกลไกการชดเชยมากเกินไปสัตว์ก็จะตายไปในที่สุด (Maag และ Glenn, 1967)

นอกจากพืชที่มีซีลีเนียมในระดับสูงซึ่งนำมาใช้เป็นอาหารของสัตว์แล้วก่อให้เกิดพิษแล้ว การใช้ยาบางชนิดในทางที่ผิด ๆ เช่น ยาถ่ายพยาธิที่มีซีลีเนียมเป็นองค์ประกอบ การให้ยาถ่ายพยาธิและการเสริมแร่ธาตุให้สัตว์จึงควรต้องระมัดระวัง และถ้าสัตว์ไม่เคยมีภาวะการขาดซีลีเนียมมาก่อน การเสริมแร่ธาตุจึงไม่จำเป็น หรือจำเป็นต้องลดปริมาณลง การรักษาโรค

ด้วยยาที่มีซีลีเนียมเป็นองค์ประกอบเป็นระยะเวลานาน เช่น แบเรียมซีลีเนต (barium selenate) ควรลดปริมาณการเสริมซีลีเนียมลงด้วยเช่นกัน เพราะจะทำให้สัตว์เกิดพิษจากซีลีเนียมที่ได้มากเกินพอได้ (Anderson และคณะ, 1985)

ผักตบชวา

ผักตบชวา (*Eichhornia* spp.)มีถิ่นกำเนิดที่ประเทศบราซิล เนื่องจากเป็นพืชที่มีดอกสวย ขยายพันธุ์ง่ายจึงถูกนำมาปลูกไว้ที่เขตร้อนและบริเวณใกล้เคียง เช่น ประเทศออสเตรเลีย อินเดีย ศรีลังกา มาเลเซีย เป็นต้น ประเทศไทยเราได้นำพืชชนิดนี้เข้ามาจากประเทศอินโดนีเซีย ลักษณะใบของผักตบชวาพองออกเป็นกระเปาะจึงช่วยพยุงให้ลอยเหนือผิวน้ำได้ ดอกของผักตบชวามีสีม่วงอ่อน มีจุดประสีน้ำเงินตรงกลางมีสีเหลือง ดอกของผักตบชวามีอายุสั้นเพียง 1 วันก็จะโรย ชอบเจริญในบ่อหรือแหล่งน้ำที่มีน้ำไหลผ่านช้า ๆ ขยายพันธุ์โดยแตกต้นใหม่จากฐานของต้นเดิม สามารถแยกตัวแล้วลอยไปตามน้ำสู่แหล่งต่าง ๆ ต่อไป ด้วยวิธีนี้จึงแพร่ขยายไปอย่างกว้างขวางและรวดเร็ว ทำให้เป็นอุปสรรคต่อการสัญจรทางน้ำ สูญเสียค่าใช้จ่ายสูงในการกำจัดวัชพืชชนิดนี้ วิธีกำจัดมีหลายวิธี เช่น การใช้ปลาปราบ การใช้ยากำจัด การลากขึ้นมาตากแห้ง (เพื่อนเกษตร, 2518 และ Bancroft, 1913; South, 1926) มีผู้นำผักตบชวามาประยุกต์ใช้ประโยชน์ต่าง ๆ แล ในทางปศุสัตว์ได้นำผักตบชวามาใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ ทั้งสดและนำไปหมักเสียก่อน ซึ่งเป็นวิธีการกำจัดวัชพืชที่ให้ประโยชน์ได้อย่างดี

คุณค่าทางอาหารของผักตบชวา

ผักตบชวาเป็นพืชที่มีองค์ประกอบทางคุณค่าอาหารต่าง ๆ สูง เมื่อคิดจากน้ำหนักสดมีส่วนประกอบต่าง ๆ ดังนี้ วัตถุแห้ง 20.7% โปรตีนหยาบ 1.3% ไขมัน 0.3% เยื่อใย 4.8% ไนโตรเจนฟรีเอกสแตรก (Nitrogen free extract) 11.1% และเถ้า 3.2% (ชวนิศนดากร วรวรรณ, 2500) และถ้าคิดจากวัตถุแห้งจะมีส่วนประกอบของโปรตีน 10-26% แต่ในใบมีระดับสูงถึง 38% มีเยื่อใยมากกว่า 20% ไนโตรเจนฟรีเอกสแตรกประมาณ 50% ไขมัน 2% และเถ้า 10-20% นอกจากนี้ยังมีปริมาณแร่ธาตุต่าง ๆ เช่น แคลเซียม ฟอสฟอรัส โซเดียม และโปตัสเซียม เฉลี่ยประมาณ 17-26% ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามแหล่งน้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ที่พืชเจริญอยู่และส่วนต่าง ๆ ของผักตบชวาซึ่งมีปริมาณคุณค่าทางอาหารแตกต่างกันด้วย (ตารางที่ 5)(Wahid, 1960; Reza และ Khan, 1981) นอกจากนี้ผักตบชวาต่างชนิดกันมีองค์ประกอบของคุณค่าทางอาหารแตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น องค์ประกอบของผักตบชวา 2 ชนิด ได้แก่ *Eichhornia crassipes* และ *E. asurea* ในระยะก่อนออกดอก และระยะหลังออกดอก ได้ค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบของคุณค่าทางอาหารจาก *E. crassipes* โดยคิดจากวัตถุแห้งดังนี้ ความชื้น 5.27% ไขมัน 2.09% โปรตีนรวม 14.50% เยื่อใย 23.99% ไนโตรเจนฟรีเอกสแตรก 44.92% เถ้า 16.27% แคลเซียม 1.02% และฟอสฟอรัส 0.55% ส่วนชนิด *E. asurea* มีความชื้น 8.04% โปรตีนรวม 11.99% เยื่อใย 17.4% ไขมัน 2.96% ไนโตรเจนฟรีเอกสแตรก 44.99% เถ้า 14.53% แคลเซียม 0.93% และฟอสฟอรัส 0.41% (จารึก พงศ์อำไพ, 2508) ผักตบชวาในระยะก่อนออกดอกมีคุณค่าทางอาหารสูง และส่วนใบมีคุณค่าทางอาหารมากกว่าส่วนลำต้น เมธา วรรณพัฒน์ และคณะ (2527) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางอาหารของผักตบชวาที่สุ่มระหว่างเดือนต่าง ๆ เป็นเวลา 12 เดือน พบว่าผักตบชวามีคุณค่าทางอาหารค่อนข้างสูงโดยเฉพาะส่วนใบ ปริมาณโปรตีนรวมของใบคิดเฉลี่ยเป็น 14.9% ของวัตถุแห้ง และในก้านใบ ใบ เป็น 9.2% และที่สำคัญผักตบชวาประกอบด้วยกรดอะมิโนต่าง ๆ โดยคิดจากโปรตีน 100 กรัมประกอบด้วยเมทไธโอนีน 0.72 กรัม ฟีนิลอะลานีน 4.72 กรัม ธรีโอนีน 4.32 กรัม ไลซีน 5.34 กรัม ไอโซลูซีน 4.32 กรัม วาลีน 0.27 กรัม และลูซีน 7.2 กรัม (ณรงค์ โฉมเฉลา, 2518) จะเห็นได้ว่าโปรตีนจากผักตบชวามีปริมาณกรดอะมิโนค่อนข้างสูง โดยเฉพาะไลซีน ดังนั้นการนำใบของผักตบชวามาเสริมกับอาหารหยาบที่มีคุณค่าต่ำ เช่น ฟางข้าว เพื่อเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้อง นอกจากจะเป็นการเสริมโปรตีนแล้วยังเป็นแหล่งของแร่ธาตุและวิตามินด้วย พบว่าในใบของผักตบชวามีวิตามินบีปริมาณสูงมาก การใช้ผักตบชวาให้ได้ผลดีนั้นจำเป็นต้องใช้เลี้ยงสัตว์ร่วมกับอาหารหยาบชนิดอื่น เช่น หญ้า ฟางข้าว เป็นต้น ผักตบชวาสามารถใช้ทดแทนอาหารหยาบได้ถึง 75 และ 50% ของวัตถุแห้ง (El-Serafy และคณะ, 1981, Wanapat และคณะ, 1983) คุณค่าทางอาหารในแต่ละช่วงของรอบปีมีความแปรปรวนน้อยมาก ในช่วงฤดูฝนคุณค่าทางอาหารจะสูงกว่าช่วงฤดูแล้ง (เมธา วรรณพัฒน์ และคณะ, 2527)

ข้อมูลจากโครงการศึกษาวิจัยสมุนไพร รายงานว่าผักตบชวาสดทั้งต้นมีความชื้น 95.5% อินทรียสาร 3.5% ไนโตรเจน 0.04% เถ้า 1.0% ฟอสฟอรัส (วิเคราะห์ใน

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบทางเคมีในส่วนต่าง ๆ ของผักตบชวา 3 ชนิด

Parts of the plant	% of DM on fresh basis	Percentage on dry-matter basis							ppm	
		Crude protein (Nx6.25)	Crude fibre	Ether extract	Nitrogen-free extract	Ash	Calcium	Phospho-rus	Sodium	Potassium
Whole water-hyacinth	6.48	11.20	18.29	1.77	49.40	19.33	1.74	0.35	49.93	610.00
Water-hyacinth without roots	6.99	14.49	17.16	2.22	49.08	16.98	2.14	0.50	55.03	711.30
Water-hyacinth without roots and rhizomes	7.17	14.77	16.54	2.52	49.57	16.63	2.18	0.49	45.17	705.67
Stems only	5.57	9.19	22.40	1.97	49.81	20.30	2.19	0.47	55.57	900.67
Leaves only	10.83	20.33	15.27	3.22	49.23	12.95	1.95	0.45	25.53	561.33

จาก Reza และ Khan (1981)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูป P_2O_5) 0.06% โปตัสเซียม (วิเคราะห์ในรูป K_2O) 0.02% พืชแห้งมีอินทรียสาร 75.8% ไนโตรเจน 1.5% และเถ้า 24.2% (ประกอบด้วย K_2O 28.7%, Na_2O 1.8% CaO 12.8% คลอรีน 21.0% และ P_2O_5 7.7%) ผักตบชวาทั้งต้นมีแร่ธาตุและสารอื่น ๆ ได้แก่ SiO_2, K, Na, Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, คลอไรด์ และซัลเฟต (ชัยโย ชัยชาญทิพยุทธ และคณะ, 2525)

เนื่องจากผักตบชวามีปริมาณโปรตีนและสารอาหารอื่น ๆ ในปริมาณที่สูงนั้น นอกจากจะใช้เป็นแหล่งอาหารสำหรับสัตว์แล้ว จึงอาจเป็นไปได้ที่จะนำผักตบชวาโดยเฉพาะส่วนใบมาสกัดเป็นแหล่งโปรตีนสำหรับคนในประเทศที่ขาดแคลนแหล่งอาหาร เพราะคุณค่าทางอาหารใกล้เคียงกับที่ FAO ได้รายงานไว้ดังตารางที่ 6 (Lareo และ Bressani, 1982)

การใช้ผักตบชวาเป็นอาหารสัตว์

ผักตบชวาสามารถใช้เป็นอาหารปศุสัตว์ได้ และนิยมมากเพราะหาง่ายและสัตว์ชอบ ปศุสัตว์ที่กินผักตบชวาได้แก่ โค กระบือ แพะ แกะ และเป็ด นอกจากนี้ยังมีผู้พยายามที่จะนำผักตบชวามาเตรียมอาหารของมนุษย์ แต่เนื่องจากในเซลล์ของผักตบชวามีผลึกรูปเข็มอยู่ ทำให้เกิดความรู้สึกระคายคอ จึงต้องหาทางเอาออกไปเสียก่อน ชาวอินเดียได้เตรียมอาหารหลายอย่างจากผักตบชวา เช่น ขนมปังกรอบ ขนมเค็ก แกง และ "ชูจิ" ซึ่งเป็นอาหารอินเดียชนิดหนึ่ง และไม่มีผลเสียจากการรับประทานอาหารเหล่านี้เลย (ณรงค์ โฉมเฉลา, 2518) ผักตบชวาที่นำไปเลี้ยงปศุสัตว์สามารถใช้ในลักษณะสด ตากแห้งแล้วป่นละเอียด หรือหมักเสียก่อนก็ได้ จารึก องศ์อำไพ (2502) ได้ทดลองใช้ผักตบชวาตากแห้งแล้วป่นละเอียดนำไปเลี้ยงหนูโดยผสมลงในอาหาร เพื่อดูว่าสามารถใช้เป็นอาหารเพื่อการเจริญเติบโตอย่างปกติเพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับสัตว์อื่นต่อไปได้ ผลการทดลองพบว่าผักตบชวาแห้งผสมในอาหารระดับ 5% ของอาหาร จะทำให้หนูเติบโตได้อย่างปกติ เมื่อเปรียบเทียบกับการให้อาหารมาตรฐาน แต่ถ้าใช้ผักตบชวาในระดับที่สูงกว่านี้ จะทำให้หนูเติบโตช้าลง จำนวนลูกต่อครอกลดลง และจำนวนลูกตายเพิ่มขึ้น ผักตบชวาที่นำไปเลี้ยงสัตว์จะให้ผลดีควรให้ร่วมกับอาหารเสริมอื่น ๆ เช่น รำข้าว Reddy และ Reddy (1979) ได้นำผักตบชวาแห้งป่นผสมในอาหารข้นในระดับ 10 และ 20% แทนรำข้าวสาลีเลี้ยงโคอายุ 6-12 เดือนเป็นเวลา

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบปริมาณกรดอะมิโนในโปรตีนจากใบของผักตบชวาที่เจริญในของเสียจากมนุษย์ กับมาตรฐานกรดอะมิโนที่ FAO เสนอไว้ (1973)

Amino Acid	FAO Reference Pattern*	Water Hyacinth Leaves Grown in Human Waste
Lysine	5.4	5.7
Methionine + cystine	3.5	2.7
Threonine	4.0	4.3
Isoleucine	4.0	4.7
Leucine	7.0	8.3
Valine	5.0	5.6
Phenylalanine + tyrosine	6.1	8.8
Tryptophan	0.96	1.0
Histidine	-	2.2
Arginine	-	5.2

จาก Lareo และ Bressani (1982)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นาน 105 วันเพื่อดูสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้ง สารอินทรีย์ โปรตีน เยื่อใย และไนโตรเจนฟรีเอกสแตรก พบว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างสัตว์กลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมผักตบชวา 10 และ 20% และกลุ่มควบคุมที่ไม่ให้ผักตบชวา แต่การย่อยได้ของอีเทอร์เอกสแตรก (ether extract) ในกลุ่มที่เสริมด้วยผักตบชวาจะเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม การเสริมผักตบชวาในอาหารเลี้ยงโคที่กำลังเจริญเติบโตแทนรำข้าวสาลีนั้นไม่มีผลต่อการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจน แคลเซียม และฟอสฟอรัสของสัตว์ น้ำหนักของโคที่เสริมด้วยผักตบชวาและที่ไม่เสริมนั้นไม่แตกต่างกัน

ผักตบชวาแห้งป่นสามารถใช้เป็นอาหารเสริมโดยให้รวมกับอาหารหยาบอื่น ๆ เช่น ฟางหมักยูเรียหรือใช้เสริมร่วมกับพืชชนิดอื่น เช่น ใบกระถินป่น จะเพิ่มปริมาณการกินอาหารของสัตว์มากขึ้นกว่าการกินฟางหมักยูเรียอย่างเดียว ($P < 0.05$) และสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะเพิ่มขึ้นด้วย ($P < 0.01$) ดังนั้นการเสริมฟางหมักยูเรียด้วยใบกระถินป่นและ/หรือใบผักตบชวาป่น ทำให้สัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถใช้ประโยชน์จากอาหารได้ดีขึ้น (พนอม ศรีวัฒนาสมบัติ และ เมธา วรรณพัฒน์, 2527) นอกจากสัตว์เคี้ยวเอื้องแล้วยังมีผู้นำผักตบชวาไปใช้เลี้ยงสัตว์ชนิดอื่น เช่น สุกร เป็ด ไก่ และห่าน โอสถ นาคสกุล และคณะ (2528) ใช้ผักตบชวาแห้งผสมในอาหารเลี้ยงห่านทั้งเพศผู้และเพศเมียในระดับ 10, 20 และ 30% เป็นเวลานาน 12 สัปดาห์ พบว่าห่านเพศผู้สามารถกินอาหารได้มากกว่า มีประสิทธิภาพการใช้อาหารดีกว่า และมีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าห่านเพศเมียในทุกสูตรอาหาร ในเพศเดียวกันที่ได้รับอาหารต่างมีอัตราการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกัน ปริมาณอาหารที่กินและประสิทธิภาพการใช้อาหารของห่านแต่ละเพศที่เลี้ยงด้วยอาหารไม่ผสมผักตบชวาและอาหารที่ผสมผักตบชวา 10% นั้นไม่แตกต่างกัน แต่อาหารที่ผสมผักตบชวา 20 และ 30% มีแนวโน้มว่าห่านจะกินอาหารเพิ่มขึ้นในขณะที่ประสิทธิภาพการใช้อาหารเลวลงตามระดับของผักตบชวาที่เพิ่มขึ้น

ผักตบชวาสดสามารถนำมาใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ต่าง ๆ ได้เช่นกันและสะดวกกว่าโดยการตัดรากออกแล้วหั่นเป็นท่อน ๆ ต้มรวมกับอาหารสัตว์อื่น ๆ ใช้เลี้ยงสุกร หรือใช้ผักตบชวาทดแทนอาหารสัตว์ 20% โดยไม่ก่อให้เกิดปัญหาของการเจริญเติบโตต่อสัตว์เลย (Mahendranathan, 1971; Lareo และ Ressano, 1982) ส่วนประกอบของเยื่อใย

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในผักตบชวามีมากจึงเหมาะที่จะนำไปใช้เลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ดีกว่าสัตว์กระเพาะเดี่ยวและสัตว์ปีก ทั้งนี้เพราะสัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถย่อยและใช้ประโยชน์จากเยื่อใยในกระเพาะรูเมนได้มากกว่า (ชวนิศนดากร วรวรรณ, 2500) สุกรตัวหนึ่งสามารถกินผักตบชวาสดได้ 1.5-2 กก.ต่อวัน ปิยะ โอทกานนท์ (2522) รายงานการนำผักตบชวาสดเลี้ยงกระบือไทย เพื่อดูปริมาณผักตบชวาสดที่สัตว์สามารถกินได้ต่อวัน พบว่ากระบือไทยสามารถกินผักตบชวาสดได้มากที่สุดร้อยละ 73-78 ของผักตบชวาที่ให้ร่วมกับหญ้าสดในอัตราส่วนร้อยละ 25 : 75, 35 : 65 และ 50 : 50 หรือคิดเป็นน้ำหนักของผักตบชวาสดที่ให้ต่อน้ำหนักหญ้าสดที่ให้เท่ากับ 7.5 : 22.5, 10.5 : 19.5 และ 15 : 15 กก.ต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ พบว่าการให้ผักตบชวาสดร้อยละ 50 ของอาหารหยาบสดทั้งหมด ทำให้สัตว์ถ่ายมูลเหลว และลักษณะการเหลวมากน้อยตามปริมาณผักตบชวาที่ให้ คือกลุ่มที่ให้ร้อยละ 50 จะเหลวมากกว่ากลุ่มที่ให้ร้อยละ 35 กระบือที่กินผักตบชวาสดผสมหญ้าสดมีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างจากกระบือที่กินหญ้าสด ($P > 0.05$) การนำผักตบชวาสดผสมกับฟางข้าวเลี้ยงโคสามารถให้สมดุลของไนโตรเจนและประสิทธิภาพการย่อยได้ดีกว่าการให้ผักตบชวาสดอย่างเดียว (Reza และ Khan, 1981) การนำผักตบชวาสดไปเลี้ยงโคโดยให้ร่วมกับฟางในสัดส่วนที่ค่อนข้างสูง (ผักตบชวา : ฟางข้าว 10 : 1) จะทำให้น้ำหนักสัตว์ลดลงสามารถแก้ไขได้โดยการเสริมอาหารข้นร่วมด้วย การเลี้ยงโคด้วยผักตบชวาสดเพียงอย่างเดียวประมาณ 27 กก.ต่อวัน จะทำให้สัตว์ท้องเสียและน้ำหนักลดลง ทั้งนี้เนื่องจากผักตบชวาสดมีความชื้นสูงมากกว่าร้อยละ 90 การนำผักตบชวาสดตากแดดเพื่อลดความชื้นลงบ้างจากน้ำหนักสด 18 กก. เหลือ 10 กก. โคสามารถกินผักตบชวาได้มากที่สุด 13.5 กก. (น้ำหนักสด) โดยให้ร่วมกับฟางข้าว 1.4 กก. และอาหารข้น 0.7 กก. จะทำให้น้ำหนักสัตว์เพิ่มขึ้นได้

อาหารหยาบหมักจะให้สี กลิ่น และรสดีกว่าอาหารหยาบสด สัตว์จึงชอบและกินได้มากกว่า Agrupis (1953) ได้ทำการหมักผักตบชวาเพื่อดูคุณค่าของผักตบชวาหมักเปรียบเทียบกับหญ้าขนหมักและผักตบชวาผสมหญ้าหมัก พบว่าหญ้าหมักมีส่วนประกอบของฟอสฟอรัสสูงที่สุด มีปริมาณเฉลี่ยของแคลเซียม 0.23% ส่วนผักตบชวาหมักมีปริมาณเฉลี่ยแคลเซียม 0.28% ฟอสฟอรัส 0.09% ผักตบชวาผสมหญ้าหมักมีปริมาณแคลเซียมสูงที่สุดและปริมาณฟอสฟอรัสต่ำกว่าจึงให้อัตราส่วนของแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสดีที่สุด และให้ปริมาณผลผลิตสูงที่สุดด้วย ค่าเฉลี่ยที่โคพันธุ์ Red Sindhi กินต่อน้ำหนักโค 100 กก.ต่อวัน ปรากฏ

ว่าโคสามารถกินผักตบชวาหมักได้ปริมาณสูงที่สุดคือ 7.35 กก. ผักตบชวาผสมหญ้าหมัก 6.37 กก. และหญ้าหมักต่ำสุดคือ 5.51 กก. ผักตบชวาผสมฟางข้าวด้วยอัตราส่วน 1 : 4 หมักด้วยกากน้ำตาล 70 กก.ต่อพืช 1 ตันนาน 4 เดือน จะให้คุณค่าทางอาหารครบตามที่สัตว์ต้องการ สามารถนำไปเลี้ยงโคโดยให้ประสิทธิภาพการย่อยได้ของโปรตีนรวม 2.39% และค่า TDN (total digestible nutrients) เท่ากับ 41.80% ซึ่งจะเพิ่มขึ้นได้โดยการเสริมอาหารข้นร่วมด้วย อาหารหมักนี้สัตว์ชอบกินเพราะมีกลิ่นหอม น้ำหนักของสัตว์ทดลองไม่ลดลง แสดงว่าผักตบชวาผสมฟางข้าวหมักมีคุณค่าทางอาหารสัตว์ตามที่สัตว์ต้องการ

El-Serafy และคณะ (1981) ใช้ผักตบชวาแห้งและผักตบชวาหมักเลี้ยงกระบือและแกะเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการย่อยได้ของโภชนะ พบว่าปริมาณการกินอาหารทั้งสองชนิดในกระบือสูงกว่าแกะ ($P < 0.05$) ปริมาณวัตถุแห้งของผักตบชวาแห้งที่สัตว์ทั้งสองชนิดกินนั้นมากกว่าปริมาณวัตถุแห้งของผักตบชวาหมัก แต่ประสิทธิภาพการย่อยได้ของวัตถุแห้งในผักตบชวาหมักสูงกว่า รวมทั้งสารอาหารอื่น ๆ ด้วย ค่าต่าง ๆ เหล่านี้ในกระบือสูงกว่าแกะ ผักตบชวาหมักจึงสามารถใช้เป็นอาหารสัตว์ที่มีประสิทธิภาพดีกว่าผักตบชวาแห้ง และกระบือสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากกว่าแกะ การหมักผักตบชวานอกจากจะผสมกับหญ้าสดแล้วฟางข้าวก็เป็นที่นิยมนำมาหมักร่วมกับผักตบชวาด้วย ฟางข้าวผสมผักตบชวาหมักด้วยยูเรียหรือแอมโมเนียจะให้ปริมาณโปรตีนในอาหารสูงกว่าฟางหมักอย่างเดียว และสัตว์ชอบกินมากกว่า สัมประสิทธิการย่อยได้ของวัตถุแห้ง โปรตีนรวม และเยื่อใยในสัตว์ที่เลี้ยงด้วยฟางข้าวผสมผักตบชวาหมักจะเพิ่มขึ้นตามระดับผักตบชวาที่เพิ่มขึ้น (ฟางข้าว : ผักตบชวา = 1 : 1) ในโคและกระบือเปอร์เซนต์การย่อยได้ไม่แตกต่างกัน แต่มีแนวโน้มว่ากระบือปลักมีประสิทธิภาพในการย่อยโปรตีนได้ดีกว่า ดังนั้นผักตบชวาจึงสามารถใช้เป็นแหล่งอาหารที่มีประสิทธิภาพของสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ (Lareo และ Bressani, 1982; Wanapat และคณะ, 1983) ในการหมักนอกจากใช้ยูเรียหรือ แอมโมเนียแล้วที่นิยมอีกอย่างหนึ่งคือกากน้ำตาล จะให้คุณค่าทางอาหารแก่สัตว์เคี้ยวเอื้องได้อย่างดี ผักตบชวาหมักกากน้ำตาลจะให้เปอร์เซนต์การย่อยได้ของโปรตีนรวมในกระบือใกล้เคียงกับการให้ผักตบชวาแห้ง ประสิทธิภาพการย่อยได้ของวัตถุแห้งจากผักตบชวาแห้งและผักตบชวาหมักไม่แตกต่างกัน สมดุลของไนโตรเจนในสัตว์ที่กินผักตบชวาหมักสูงกว่าสัตว์ที่กินผักตบชวาแห้ง แต่ทั้งผักตบชวาแห้งและหมักให้สมดุลของไนโตรเจนเป็นบวกทั้งคู่ ดังนั้นผักตบชวาจึงสามารถนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์เพื่อการเจริญเติบโตได้อย่างแน่นอน (El-Serafy และคณะ, 1981)