การใช้ซัลเฟอร์เพื่อลดปริมาณไซยาไนด์ในวัตถุดิบอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

Use of sulfur to reduce cyanide contents in ruminants feedstuffs

เบญจมาศ คนแข็ง[1] และ อนุสรณ์ เชิดทอง[1*]

Benjamad Khonkhaeng[1] and Anusorn Cherdthong[1*]

บทคัดย่อ: การใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์สำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องนั้นมีความได้เปรียบมาก เนื่องจากภายในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้องนั้นมีจุลินทรีย์หลายชนิดอาศัยอยู่ ซึ่งสามารถใช้ประโยชน์ของอาหารหยาบหรือวัตถุดิบอาหารที่มีคุณภาพต่ำและราคาถูกได้ อย่างไรก็ตามการใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์บางชนิดมีข้อจำกัดในเรื่องของสารยับยั้งเช่น ไซยาไนด์ ซึ่งเป็นสารพิษชนิดหนึ่งที่อยู่ในวัตถุดิบอาหารสัตว์จำพวก มันสำปะหลัง ข้าวฟ่าง และอัลมอลด์เป็นต้น รูปแบบที่เป็นพิษก็แตกต่างกันออกไปส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปไซยาโนไกลโคไซด์ ลินามาลินโลทอสตราลิน และไฮโดรเจนไซยาไนด์ ซึ่งเป็นรูปแบบไซยาไนด์อิสระ ทั้งนี้ในร่างกายสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมสามารถกำจัดไฮโดรเจนไซยาไนด์ได้ในระดับหนึ่ง โดยเอนไซม์ rhodanase ซึ่งถือเป็น sulfur transferase ที่สามารถเร่งให้เกิดการสร้าง ไทโอไซยาเนตจากไซยาไนด์ จากนั้นไทโอไซยาเนตจะถูกขับออกทางปัสสาวะและถือเป็นการลดสารพิษของไซยาไนด์ได้ ระดับของไซยาไนด์ที่เป็นพิษต่อสัตว์คือ 0.5-3.5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม จากข้อมูลการวิจัยที่เสริมซัลเฟอร์ในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง พบว่านอกจากจะลดปริมาณไซยาไนด์แล้ว ยังพบว่าไม่มีผลกระทบทางลบต่อสภาพแวดล้อมภายในรูเมนมากไปกว่านั้นยังส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณไทโอไซยาเนตเมื่อส่งไปยังน้ำนม พบว่าจะสามารถลดปริมาณโซมาติกเซลล์ ซึ่งทำให้คุณภาพของน้ำนมสูงขึ้นได้

คำสำคัญ: ซัลเฟอร์, ไซยาไนด์, วัตถุดิบอาหารสัตว์, สัตว์เคี้ยวเอื้อง

ABSTRACT: Using animal feedstuffs for ruminants, it has an advantage because the rumen of ruminant animals contained many microbial species. Rumen microbes can be digested and utilization of roughages which was low quality and cheap. However, some of feedstuffs contained antinutrition namely cyanoglycosides, linamarin, lotaustralin and free hydrogen cyanide which were found in cassava, sorghum and almond. In animals, mammals, can be detoxified hydrogen cyanide when consumed low level by enzymes rhodanase. Rhodanase is a sulfur transferase that catalyses the formation of thiocyanate from cyanide and thiosulphate or other suitable sulfur donor, and then the less toxic thiocyanate is excreted in the urine. Toxic maximum of cyanide level is 0.5-3.5 mg/kg. Previous research found that sulfur supplementation in ruminant feed could reduce cyanide content and no adversary affect on rumen ecology. In addition, increasing of thiocyanate in milk might be eliminate somatic cell number led to improve milk quality.
Keywords: sulfur, cyanide, feedstuffs, ruminant

บทนำ

อาหารสัตว์ถือเป็นปัจจัยสำคัญในการผลิตสัตว์ กล่าวคือต้นทุนของการผลิตสัตว์ส่วนใหญ่นั้นมาจากอาหารซึ่งพบว่ามีราคาสูงในปัจจุบัน หากสามารถจัดการลดต้นทุนด้านอาหารสัตว์ได้นั้นแน่นอนว่าจะทำให้กำไรเพิ่มขึ้นด้วย ปัจจัยหนึ่งที่ทำให้อาหารสัตว์มีราคาสูงคือวัตถุดิบที่เป็นองค์ประกอบในสูตรอาหารสัตว์ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลที่ได้รับผลกระทบจากภาวะโลกร้อน พื้นที่การเพาะปลูกเนื่องจากปัจจุบันพื้นที่เกษตรกรรมลดลงมากเมื่อเปรียบเทียบในอดีต เกิดการแย่งชิงแหล่งอาหาร

[1] ศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรอาหารสัตว์เขตร้อน ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002

Tropical Feed Resources Research and Development Center (TROFREC), Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen40002

* Corresponding author: anusornc@kku.ac.th

ระหว่างมนุษย์ การเลี้ยงสัตว์ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความต้องการอาหารเพิ่มขึ้น (อนุสรณ์, 2556) วัตถุดิบแต่ละชนิดที่นำมาประกอบอาหารสัตว์นั้นก็มีคุณค่าทางโภชนะที่แตกต่างกัน เช่น พลังงาน โปรตีน วิตามิน แร่ธาตุ หรืออาจมีสารพิษต่างๆ ซึ่งอาจส่งผลกระทบด้านลบต่อตัวสัตว์ ไซยาไนด์ถือเป็นสารพิษชนิดหนึ่ง โดยมีรูปแบบที่เป็นพิษคือรูปอิสระหรือไฮโดรเจนไซยาไนด์ (hydrogen cyanide) ไซยาไนด์พบได้ทั่วไปในพืชหลากหลายชนิดที่เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ ได้แก่ มันสำปะหลัง ข้าวชนิดต่างๆ เช่น ข้าวเจ้า ข้าวสาลี ข้าวบาร์เล่ย์ ข้าวโอ๊ต ข้าวไรน์ ข้าวฟ่าง ข้าวโพด ถั่วชนิดต่างๆ และอ้อย (ธาตรี, 2550) เป็นต้น พืชต่างๆ เหล่านี้มีไซยาไนด์อยู่ในรูปไซยาโนไกลโคไซด์ ที่ต่างกัน เช่น ในมันสำปะหลังพบในรูปลินามาริน (linamarin,) และโลทอสตราลิน (lotaustralin) ร้อยละ 80-90 และที่เหลือพบในรูปของไซยาไนด์อิสระหรือไซยาไนด์ (อมรรัตน์และคณะ, 2550) ในพืชจะมีเอนไซม์ที่สามารถย่อยสลายไซยาโนไกลโคไซด์ต่างๆ ให้เป็นไซยาไนด์ซึ่งเป็นพิษต่อศัตรูผู้รุกรานได้ เช่น ในมันสำปะหลังจะมีเอนไซม์ลินามาริเนส (linamarinase) พบในส่วนต่างๆ ของพืชสามารถย่อยลินามารินไปเป็น ไซยาไนด์ซึ่งเป็นพิษ หากสัตว์กินไซยาไนด์ในปริมาณที่สูงจะเกิดพิษอย่างเฉียบพลันทำให้ตายได้ แต่ถ้ากินในปริมาณที่ไม่มากจะเป็นพิษอย่างเรื้อรังทำให้สมรรถนะการผลิตลดลงและเกิดอาการตามมาอื่นๆ อีกหลายอย่าง ดังนั้นเมื่อมีการนำวัตถุดิบเหล่านั้นมาใช้เพื่อเป็นอาหารสัตว์จึงควรที่จะมีแนวทางในการกำจัดหรือลดปริมาณไซยาไนด์ลงก่อน โดยปัจจุบันมีนักวิจัยได้รายงานถึงแนวทางในการลดไซยาไนด์ในวัตถุดิบอาหารสัตว์ไว้หลายแนวทาง เช่น การตากแดด อัดเม็ด การหมักซึ่งจะทำให้เอนไซม์ลินามาเรสสลายตัวไป การแปรรูปหรือการเสริมอาหารบางกลุ่ม อาทิ กรดอะมิโนเมทไธโอนีนและไวตามินบี12 จะช่วยลดพิษของไซยาไนด์ลงได้ (สาโรช, 2547) นอกจากนี้แล้วพบว่าซัลเฟอร์ยังมีความเกี่ยวข้องกับกลไกการลดปริมาณไซยาไนด์ลงได้โดยการทำลายไซยาไนด์นั้น เกิดขึ้นโดยอาศัยการทำงานของเอนไซม์ rhodanase และ β-mercaptopyruvate ที่มีอยู่ในเซลล์ของตัวสัตว์และจุลินทรีย์ในรูเมนสามารถสร้างขึ้นได้บางส่วน (Frankenberg, 1980) สำหรับเอนไซม์ rhodanase ถือเป็น sulfur transferase ที่สามารถเร่งให้เกิดการสร้างไทโอไซยาเนตจากไซยาไนด์ จากนั้นไทโอไซยาเนตจะถูกขับออกทางปัสสาวะและถือเป็นการลดสารพิษของไซยาไนด์ได้

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการทบทวนเอกสารครั้งนี้เพื่อศึกษาแนวทาง การใช้ซัลเฟอร์เพื่อลดพิษของไซยาไนด์ในวัตถุดิบอาหารสัตว์ ซึ่งจะใช้เป็นแนวทางการลดพิษและเพิ่มการใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบอาหารสัตว์ในท้องถิ่นต่อไป

วัตถุดิบอาหารสัตว์ในท้องถิ่น

ธาตรี (2550) ได้ให้ความหมายของวัตถุดิบอาหารสัตว์ไว้ว่า สารใดๆ ก็ตามที่ให้คุณค่าทางโภชนะหรือสารอาหารที่ทำให้เกิดประโยชน์แก่ร่างกายสัตว์ ซึ่งได้มาจากพืช สัตว์ หรือจากการสังเคราะห์ โดยทั่วไปวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีอยู่ในธรรมชาติมีสารอาหารเป็นองค์ประกอบหรือได้จากการสังเคราะห์ขึ้นด้วยกระบวนการต่างๆ ซึ่งสามารถจำแนกส่วนประกอบสารอาหารได้ด้วยการวิเคราะห์ทางเคมี วัตถุดิบเหล่านี้มีมากมายหลายชนิดซึ่งนำมาใช้ประโยชน์ได้แตกต่างกัน โดยแหล่งวัตถุดิบอาจจำแนกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ แหล่งพลังงาน โปรตีน และแหล่งวัตถุดิบอาหารหยาบ ซึ่งหลักในการเลือกใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์ในแต่ละแหล่งนั้นควรพิจารณาถึงประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ได้ของสัตว์เป็นด้านๆ ไป เช่น ความเหมาะสมของคุณค่าทางโภชนะ ความเหมาะสมของระดับที่ใช้หรือความจำเป็นในการเสริมโภชนะเพิ่มเติม หรืออาจพิจาณาถึงการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหารโดยการแปรรูปเป็นต้น (อนุสรณ์, 2559)

ในปัจจุบันนั้นปัญหาการขาดแคลนแหล่งวัตถุดิบอาหารสัตว์นั้นรุนแรงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับในอดีตที่ผ่านมา เนื่องจากการแข่งขันระหว่างมนุษย์พื้นที่เกษตรกรรมลดลง การเปลี่ยนแปลงของฤดูกาล เป็นต้น ล้วนส่งผลต่อราคาวัตถุดิบซึ่งมีผลกระทบทางลบต่อต้นทุนการผลิตด้วย ฉะนั้นการมองหาแหล่งวัตถุดิบโดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำใช้วัตถุดิบที่เป็นเศษเหลือหรือผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมเกษตรหรือภาคเกษตรกรรมเอง ก็อาจเป็นแนวทางในการบรรเทาวิกฤตการณ์นี้ลงได้ นอกจากนี้ยังอาจช่วยในการลด

มลภาวะในภาคอุตสาหกรรมอีกทางหนึ่ง อย่างไรก็ตาม วัตถุดิบบางประเภทอาจมีปริมาณสารพิษหรือสารยับยั้งการใช้ประโยชน์ของโภชนะเป็นองค์ประกอบ ซึ่งอาจส่งผลกระทบทางลบต่อสัตว์ได้ เช่น mimosin พบในพืชตระกูลกระถินเกือบทุกชนิด (เมธา, 2533) saponins พบได้ในเปลือกผลไม้บางชนิด เช่น เปลือกมังคุด เปลือกมะคำดีควาย (Poungchompu et al., 2009) gossypol พบได้ในวัตถุดิบอาหารสัตว์ เช่น เมล็ดฝ้าย และโดยเฉพาะอย่างยิ่งไซยาไนด์ ซึ่งพบได้ใน มันสำปะหลัง ข้าวชนิดต่างๆ เช่น ข้าวเจ้า ข้าวสาลี ข้าวบาร์เล่ย์ ข้าวโอ๊ต ข้าวไรน์ ข้าวฟ่าง ข้าวโพด ถั่วชนิดต่างๆ และอ้อย (ธาตรี, 2550) ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องหาแนวทางในการลดสารพิษเหล่านี้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบอาหารสัตว์

ไซยาไนด์และพิษของไซยาไนด์

ไซยาไนด์ (cyanide) เป็นสารเคมีที่สามารถเกิดขึ้นได้เองในธรรมชาติอาจเกิดจากการทำปฏิกิริยาของสารเคมีต่างๆ ในธรรมชาติหรือจากการขับถ่ายของเสีย หรือจากการสลายตัวของสารประกอบบางชนิดในธรรมชาติโดยจุลินทรีย์พืชและสัตว์ (Newmont, 2002) ไซยาไนด์สามารถพบได้ทั่วไปในพืชหลากหลายชนิด อุตสาหกรรมหลายชนิด รูปแบบที่เป็นพิษคือรูปอิสระหรือไฮโดรเจนไซยาไนด์ (hydrogen cyanide, ไซยาไนด์) พืชที่พบว่ามีไซยาไนด์เป็นองค์ประกอบได้แก่ มันสำปะหลัง ข้าวฟ่าง ต้นไผ่ ข้าวโพด ฝ้ายและอัลมอลด์ เป็นต้น (ธาตรี, 2550) ซึ่งพืชเหล่านี้ส่วนใหญ่ได้ถูกนำใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบอาหารสัตว์นอกจากนั้นแล้วพบว่า ประกอบด้วยสารตั้งต้นไซยาโนเจนิคไกลโคไซด์ (cyanogenicglycocide) กับเอนไซม์ลินามาเรส (linamarase) และไฮดรอกซี่ไนไตรไลเอส (hydroxynitrillelyase) ซึ่งเยื่อใยส่วนที่แยกกันเมื่อส่วนของเนื้อเยื่อถูกทำลายสารตั้งต้นและเอนไซม์จะมารวมกัน และเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายได้เป็นไซยาไนด์หรือกรดไฮโดรไซยานิค (hydrocyanic acid) และอะซิโตน (acetone) ซึ่งอยู่ในรูปสารละลายที่เป็นพิษหากสัตว์ได้รับไซยาไนด์ในปริมาณที่สูงจะเกิดพิษอย่างเฉียบพลันทำให้ตายได้ เนื่องจากเกิดกลไกการเกิดพิษของไซยาไนด์ Burrows (2012) ได้อธิบายว่าเกิดจากไซยาไนด์จะจับกับโมเลกุลที่มีประจุบวก ที่สำคัญคือโมเลกุลของเหล็ก (Fe) ซึ่งมีทั้ง Ferrous (Fe^{2+}) ซึ่งอยู่ใน hemoglobin ปกติและ Ferric ion (Fe^{3+}) ซึ่งอยู่ใน myoglobin ปกติ แต่ไซยาไนด์จะจับกับ Fe^{3+} ได้ดีกว่า Fe^{2+} ทำให้เมื่อ CN^- เข้าสู่ร่างกายแล้วจะไปจับกับ Fe^{3+} ใน myoglobin เนื่องจาก myoglobin ทำงานในระบบ electron transport ที่ mitochondria ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ คือ พลังงาน น้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเมื่อไซยาไนด์จับกับ myoglobin จะขัดขวางไม่ให้กระบวนการ electron transport ทำงานได้ตามปกติ เซลล์ของร่างกายจึงอยู่ในสภาพของ anoxia และเกิดภาวะ lactic acidosis ในที่สุด สมองซึ่งเป็นอวัยวะที่ทนต่อภาวะ anoxia ได้น้อยที่สุด ผู้ป่วยจึงมักมีอาการทางสมองเช่น ชัก หมดสติ มีการหายใจผิดปกติ เนื่องจากมีการกดศูนย์ควบคุมการหายใจ แต่ถ้าได้รับเข้าร่างกายในปริมาณที่ไม่มากจะเป็นพิษอย่างเรื้อรัง ทำให้สมรรถนะการผลิตลดลงและอาการอื่นๆ แทรกซ้อนตามมาได้ ระดับค่าที่เป็นพิษของไซยาไนด์ในคนและสัตว์คือประมาณ 0.5-3.5 มิลลิกรัม/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ถึงจะเสียชีวิตได้ มีการรายงานจาก Nguyen et al. (1997) พบว่าปริมาณไซยาไนด์ในหัวมันสดเท่ากับ 114 ppm ซึ่งค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตาม Coursey (1973) ได้รายงานว่า ปริมาณของไซยาไนด์ในหัวมันสดอาจอยู่ในช่วงตั้งแต่ 15-400 ppm นอกจากนี้ยังมีรายงานของการพบปริมาณไซยาไนด์จากพืชชนิดอื่นแสดงใน Table 1

กลไกการกำจัดไซยาไนด์โดยสารประกอบซัลเฟอร์

Cope (2016) รายงานว่า การเกิดไซยาไนด์ในพืชนั้นเกิดจากการตอบสนองของพืชในเมื่อเกิดความเครียด ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของสาเหตุและความเสี่ยงในการเป็นพิษเฉียบพลัน ของ cyanogen glycoside นอกจากนั้นกรดอะมิโนก็ไม่สามารถนำไปสังเคราะห์เป็นโปรตีนได้ แต่สามารถเผาผลาญให้อยู่ในรูปแอลฟาไฮดรอกซี่ไนไตร์ท จากนั้นจึงเปลี่ยนไปเป็น cyanogenic glycosides ซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของไซยาไนด์ที่เป็นพิษ กลไกการกำจัดไซยาไนด์ภายในเซลล์โดยการทำปฏิกิริยากับสารเคมีบางอย่างในร่างกายได้สารใหม่ที่มีพิษน้อยกว่าไซยาไนด์ เช่น การ

เกิดปฏิกิริยาโดยการกระตุ้นของเอนไซม์ rhodanese, mercaptopyruvate-sulfurtransferase, thiosulfate reductase, cystathionase และ albumin ทำหน้าที่เสมือนเอนไซม์กระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาการลดพิษด้วยสารประกอบซัลเฟอร์ เมื่อร่างกายได้รับไซยาไนด์เข้าไป ทั้งจากการเจือปนในอาหารหรือสารพิษจากอุตสาหกรรมในร่างกายจะมีกลไกการกำจัดสารพิษไซยาไนด์อยู่แล้ว แต่ถ้าหากได้รับในปริมาณที่เป็นพิษก็ต้องมีการเติมสารประกอบอื่นเช่น Sodium nitroprusside หรือ Sodium thiosulfate ซึ่งเป็นสารประกอบจากซัลเฟอร์ Hummer et al. (2013) ได้อธิบายเกี่ยวกับกลไกการกำจัดไซยาไนด์โดยสารประกอบซัลเฟอร์ไว้ว่าเกิดจากปฏิกิริยาจาก sodium thiosulfate เพื่อจับกับ CN^- ใน methemoglobin กลายเป็นไทโอไซยาเนตโดยการกระตุ้นของเอนไซม์ rhodanese ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่พบได้ในเนื้อเยื่อตับส่วนของไมโตคอนเดรีย (mitochondria) โดยพบทั่วไปในร่างกายของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม จากนั้นไทโอไซยาเนตถูกขับออกทางไตต่อไป ดังแสดงใน Figure 1

ไทโอไซยาเนตถูกขับออกทางไตในรูปแบบปัสสาวะซึ่งจะใช้เวลาหลายวัน เนื่องจากเอนไซม์ในร่างกายทำงานได้ค่อนข้างช้าเนื่องจากปริมาณไทโอไซยาเนตในร่างกายค่อนข้างต่ำ นอกจากนี้อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะแตกต่างกันออกไปในสัตว์แต่ละชนิด แม้ว่าไทโอไซยาเนตจะมีพิษน้อยกว่าไซยาไนด์ถึง 7 เท่า แต่ก็อาจเกิดการสะสมในเนื้อเยื่อส่งผลต่อการทำงานของต่อมไทรอยด์ (thyroid gland) และบางครั้งไทโอไซยาเนตก็จะถูกออกซิไดซ์กลับมาเป็นซัลเฟตและไซยาไนด์ในเลือด โดยการเร่งปฏิกิริยาของฮีโมโกลบินซึ่งทำหน้าที่เหมือน peroxidase ได้อีก ในภาวะปกติของเหลวในร่างกายมนุษย์จะมีอัตราส่วนของไซยาไนด์ต่อไทโอไซยาเนต เป็น 1:1,000 จึงจะอยู่ในภาวะสมดุล

ผลของการใช้ซัลเฟอร์ในการลดพิษไซยาไนด์และการเพิ่มขึ้นของไทโอไซยาเนต

Tatsapong (2013) รายงานว่าซัลเฟอร์ที่อยู่ในร่างกายส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของส่วนประกอบของโปรตีน กำมะถันหรือซัลเฟอร์ (sulfur) ในกล้ามเนื้อและในขนสัตว์โดยจะอยู่ในส่วนของกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ เช่น ซีสทีน ซีสเทอีน และเมทไธโอนีน เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบว่าเป็นส่วนประกอบของไวตามินบี1 และไบโอติน ที่ทำหน้าที่สำคัญในกระบวนการเมแทบอลิซึมคาร์โบไฮเดรตและไขมัน อีกทั้งเป็นส่วนประกอบของขน ผม และเล็บ มากไปกว่านั้นซัลเฟอร์ยังถือเป็นแร่ธาตุที่มีบทบาทสำคัญด้านอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยอาหารข้นทุกสูตรที่มียูเรียเป็นแหล่งโปรตีนจะต้องเติมซัลเฟอร์ผงลงไปด้วยประมาณ 0.1- 0.2 เปอร์เซ็นต์ หรืออัตราส่วนของยูเรียต่อซัลเฟอร์ คือ N:S=10:1 (สมคิดและคณะ, 2525) เพื่อให้จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนสามารถผลิตกรดอะมิโนที่จำเป็นชนิดที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยได้และช่วยให้การใช้ประโยชน์ของยูเรียดีขึ้น นอกจากนั้นรายงานของ NRC (1996) แนะนำว่าการเสริมระดับของซัลเฟอร์ที่เหมาะสมในอาหารสำหรับโคขุน โคที่ปล่อยแทะเล็มแปลงหญ้า รวมไปถึงโคนมที่กำลังให้น้ำนม อยู่ที่ 0.15 เปอร์เซ็นต์ซัลเฟอร์ ในสูตรอาหาร และกำหนดความเข้มข้นของซัลเฟอร์ในระดับสูงสุดไว้ที่ 0.4 เปอร์เซ็นต์ซัลเฟอร์ ในสูตรอาหาร จึงจะเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ภายในรูเมน อย่างไรก็ตามการผสมซัลเฟอร์ผงลงในอาหารข้นต้องผสมให้เข้ากันอย่างทั่วถึง เพื่อให้อาหารข้นมีคุณภาพดีและสัตว์ทุกตัวได้รับเท่าๆ กัน อาการขาดซัลเฟอร์ของสัตว์ที่สามารถเห็นได้คือ ขน ผม และเล็บ มีลักษณะการเจริญที่ผิดปกติในแกะที่กำลังเจริญเติบโตการขาดซัลเฟอร์จะทำให้ได้ขนแกะที่มีคุณภาพต่ำ

นอกจากนี้ยังพบว่าซัลเฟอร์มีความเกี่ยวข้องกับกลไกการลดปริมาณไซยาไนด์ลงได้ โดยการทำลายไซยาไนด์นั้นเกิดขึ้นโดยอาศัยการทำงานของเอนไซม์ rhodanase และ β-mercaptopyruvate ที่มีอยู่ในเซลล์ของตัวสัตว์และจุลินทรีย์ในรูเมนสามารถสร้างขึ้นได้บางส่วน (Frankenberg, 1980) สำหรับเอนไซม์ rhodanase ถือเป็น sulfur transferase ที่สามารถเร่งให้เกิดการสร้างไทโอไซยาเนตจากไซยาไนด์ จากนั้นไทโอไซยาเนตจะถูกขับออกทางปัสสาวะและถือเป็นการลดสารพิษของไซยาไนด์ได้ โดยผลของการใช้ซัลเฟอร์ในการลดพิษไซยาไนด์และการเพิ่มขึ้นของไทโอไซยาเนตแสดงใน Table 2 มากไปกว่านั้น มีรายงานของ NRC (2001) แสดงให้เห็นว่า สัตว์เคี้ยว

เอื้องที่ได้รับวัตถุดิบอาหารที่มีสารไซยาไนด์ เช่นมันสำปะหลัง หรือข้าวฟ่าง มีความจำเป็นที่จะต้องเสริมซัลเฟอร์ในระดับที่เพิ่มขึ้นเพื่อที่จะช่วยในการลดความเป็นพิษของไซยาไนด์ลง โดยปริมาณความต้องการซัลเฟอร์เพื่อใช้ในการลดไซยาไนด์ของเอนไซม์ rhodanaseในเซลล์ตับ ประมาณ 1.2 กรัมของซัลเฟอร์ต่อไซยาไนด์ที่ถูกย่อย (Wheeler et al., 1975) จากการศึกษาในโคเนื้อน้ำหนักตัว 400 กิโลกรัมที่ได้รับต้นข้าวฟ่าง 8 กิโลกรัมน้ำหนักแห้ง และมีปริมาณไซยาไนด์ 250 มิลลิกรัม โคเนื้อจะต้องได้รับการเสริมซัลเฟอร์ที่ระดับ 2.4 กรัม/วัน เพื่อให้สามารถกำจัดสารพิษลงได้ นอกจากนี้ในแกะที่ปล่อยเลี้ยงในแปลงข้าวฟ่างและมีการเสริมอาหารก้อนที่มีองค์ประกอบของกำมันถันที่ 18 เปอร์เซ็นต์พบว่า สามารถเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตและไซยาไนด์ไม่มีผลกระทบต่อการดำรงชีพของตัวสัตว์ (Wheeler et al., 1975) สอดคล้องกับรายงานของ Job (1975) ที่ว่าในกระบวนการกำจัดพิษโดย rhodanase จำเป็นต้องเสริมซัลเฟอร์เพื่อที่จะให้เป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโนผลของการใช้ซัลเฟอร์ต่อการลดลงของไซยาไนด์หรือการเพิ่มขึ้นของไทโอไซยาเนตมากไปกว่านั้น Promkot and Wanapat (2009) พบว่าการเสริมซัลเฟอร์ที่ระดับ 0.4 เปอร์เซ็นต์ในอาหารผสมสำเร็จที่มีใบมันสำปะหลังสดเป็นองค์ประกอบ 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีผลทำให้อัตราการสูญหายของไซยาไนด์และอัตราการผลิตสารไทโอไซยาเนตและอัตราการเปลี่ยนไซยาไนด์เป็นไทโอไซยาเนตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และจากการศึกษาแกะที่ปล่อยแทะเล็มแปลงข้าวฟ่างได้รับการเสริมซัลเฟอร์ระดับ 0.13 เปอร์เซ็นต์ พบว่าไซยาไนด์เปลี่ยนเป็นไทโอไซยาเนตได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Wheeler et al., 1983) สอดคล้องกับรายงานของ Khonkhaeng et al. (2016) พบว่าความเข้มข้นของไทโอไซยาเนตในเลือดมีค่าเพิ่มขึ้น 4 นาโนกรัม/มิลลิลิตร เมื่อเสริมซัลเฟอร์ 4 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารอัดก้อนซึ่งอาจเป็นผลมาจากการที่ซัลเฟอร์เข้าไปกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ rhodanase ที่ทำหน้าที่ในการทำลายสารพิษไซยาไนด์ให้กลายเป็นไทโอไซยาเนตได้ดียิ่งขึ้น ดังนั้นนอกจากความเป็นพิษของไซยาไนด์จะไม่เกิดขึ้นกับสัตว์ที่ได้รับวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบแล้ว สัตว์ยังสามารถได้รับประโยชน์จากไทโอไซยาเนตที่เปลี่ยนมาจากไซยาไนด์อีกทางหนึ่งด้วย

ผลของการใช้ซัลเฟอร์ต่อปริมาณการกินได้และกระบวนการหมัก

Table 3 แสดงผลของการใช้ซัลเฟอร์ต่อการกินได้และกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน จากรายงานของ Onwuka et al. (1992) แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มระดับของซัลเฟอร์ในอาหารแพะ สามารถปรับปรุงปริมาณการกินกับการทำให้ปริมาณการได้รับไซยาไนด์นั้นสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) เมื่อเสริมซัลเฟอร์ 0.5 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร มากไปกว่านั้นพบว่าการเสริมซัลเฟอร์ในแพะที่ได้รับมันสำปะหลังในอาหารสามารถเปลี่ยนน้ำหนักตัวให้สูงขึ้นสูงสุด 83.3 เปอร์เซ็นต์ (Tewe et al., 1984) อย่างไรก็ตาม Promkot and Wanapat (2009) พบว่าการกินได้ของโคนมที่เสริมซัลเฟอร์ในกลุ่มที่เสริมใบมันสำปะหลังสดและใบมันสำปะหลังแห้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในกลุ่มที่มีการเสริมซัลเฟอร์ ($P = 0.065$) และปริมาณของไซยาไนด์ที่ได้รับในกลุ่มที่เสริมใบมันสำปะหลังสดสูงกว่ากลุ่มที่เสริมใบมันสำปะหลังแห้งอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) (แต่ไม่พบอาการเป็นพิษแต่อย่างใด) ซึ่งจากรายงานของ Ravindran et al. (1978) อธิบายเพิ่มเติมว่า ความเข้มข้นของไซยาไนด์ได้หายไปหลังจากที่เสริมซัลเฟอร์ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ในใบมันสำปะหลังสดในห้องปฏิบัติการ อีกทั้งยังสามารถเพิ่มอัตราการผลิตแก๊สได้อีกด้วย (Promkot et al., 2007) เนื่องจากซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโนจำเป็นบางตัว (Tewe, 1992) ทำให้บางการศึกษาที่เพิ่มระดับของโปรตีนหรือพลังงานสามารถส่งผลกระทบทางลบกับปริมาณไซยาไนด์ได้ (Thang et al., 2010) ดังนั้นการเพิ่มปริมาณซัลเฟอร์จึงเป็นสาเหตุให้ความเข้มข้นของไซยาไนด์ลดลงขณะที่ความเข้มข้นของไทโอไซยาเนตนั้นสูงขึ้น

การเสริมซัลเฟอร์ที่ระดับ 0.15-0.40 เปอร์เซ็นต์ในอาหารข้นของโคนมที่เสริมใบมันสำปะหลังสดร่วมกับแห้ง (Promkot and Wanapat, 2009) และระดับ 0.15-

0.25 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารโคเนื้อ โดย Oliveira et al. (1996) พบว่า pH ในรูเมนมีค่าเท่ากับ 5.9-6.0 จากรายงานของ Khonkhaeng et al. (2016) พบว่าการเสริมซัลเฟอร์ระดับ 2-4 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารอัดก้อนคุณภาพสูงร่วมกับการใช้หัวมันสำปะหลังสดในโคเนื้อพื้นเมืองไทยพบว่า pH เท่ากับ 6.7-7.0 ซึ่งเป็นระดับ pH ที่ปกติตามรายงานของ Hoover (1989) ว่าเหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ภายในกระเพาะรูเมนซึ่งมีค่า pH อยู่ในช่วง 6-7 และอุณหภูมิเฉลี่ย 39 องศาเซลเซียส การศึกษาในห้องปฏิบัติการของ Promkot et al. (2007) ที่ทำการเสริมซัลเฟอร์ร่วมกับใบมันสำปะหลังสดในของเหลวรูเมน พบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนเพิ่มขึ้นเมื่อเสริมซัลเฟอร์ 0.2, 0.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์ หลังการบ่ม สภาวะเช่นนี้อาจเนื่องจากการเกิดรีไซเคิลไนโตรเจนจากแบคทีเรียภายในรูเมนซึ่งการที่แอมโมเนียและนอกจากนั้นการเสริมใบมันสำปะหลังสดร่วมกับซัลเฟอร์ในระดับสูงสามารถปรับปรุงการหมักในกระเพาะรูเมนได้สอดคล้องกับ Hegarty et al. (1994) รายงานว่าจำนวนแบคทีเรียในรูเมนของแกะดีขึ้นเมื่อให้อาหารที่มีซัลเฟอร์สูงเปรียบเทียบกับอาหารที่มีซัลเฟอร์ต่ำ ขณะที่ผลการศึกษาของ Patterson and Kung (1988) พบว่าเสริมซัลเฟอร์ระดับ 0.3 เปอร์เซ็นต์ จากเมทไทโอนีนหรือโซเดียมซัลเฟต สามารถปรับปรุงการย่อยเซลลูโลสในกระบวนการหมักในหลอดทดลองได้ถึงสามเท่า เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มที่ย่อยเยื่อใยใช้แอมโมเนียเป็นแหล่งของไนโตรเจนหลัก (NRC, 2001) นอกจากนั้น Cope (2016) รายงานว่า การใช้โซเดียม ไทโอซัลเฟตเพียงอย่างเดียวปริมาณมากกว่า 500 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว มีประสิทธิภาพในการรักษาอาการเป็นพิษจากไซยาไนด์และล้างพิษของไซยาไนด์ในรูปแบบต่างๆ ที่อยู่ในกระเพาะรูเมนได้

ผลของการใช้ซัลเฟอร์ต่อการให้ผลผลิตน้ำนมและโซมาติกเซลล์

การเสริมซัลเฟอร์ในอาหารต่อประสิทธิภาพการผลิตในด้านต่างๆ แสดงใน **Table 4** Promkot and Wanapat (2009) พบว่าโคนมที่ได้รับใบมันสำปะหลังสดหรือแห้ง 10 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารร่วมกับการเสริมซัลเฟอร์ที่ระดับ 0.4เปอร์เซ็นต์ ทำให้โปรตีนในน้ำนมสูงที่สุดอาจจะเกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์ไนโตรเจนและการย่อยได้ที่ดีขึ้น เนื่องจากว่ามีการย่อยได้ของ DM, ADF และ NDF เพิ่มขึ้นสอดคล้องกับรายงานของ Stobbs and Wheeler (1997) พบว่าองค์ประกอบโปรตีนน้ำนมของโคนมเพิ่มขึ้นเมื่อเสริมซัลเฟอร์ นอกจากนี้ไทโอไซยาเนตที่เพิ่มขึ้นเมื่อส่งออกไปยังน้ำนมจะส่งผลต่อเชื้อโซมาติกเซลล์ที่ก่อโรคเต้านมอักเสบลดลง ขณะที่การศึกษาของ Petlum et al. (2012) พบว่าเมื่อเสริมใบมันสำปะหลังหมักจะสามารถเพิ่มความเข้มข้นไทโอไซยาเนตได้ระดับหนึ่ง ซึ่งการที่ไทโอไซยาเนตเพิ่มขึ้นนี้ส่งผลให้จำนวนโซมาติกเซลล์ในน้ำนมลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) ผลการศึกษาสอดคล้องกับ Punthanara et al. (2009) ความเข้มข้นของไทโอไซยาเนตและจำนวนแบคทีเรียในน้ำนมเพิ่มขึ้นหลังจากการให้ใบมันสำปะหลังแห้งในโคนม มีสาเหตุจากการออกฤทธิ์ต่อต้านจุลินทรีย์ที่เป็นโทษโดยผ่านระบบ lactoperoxidase system ในน้ำนมดิบ โดยระบบนี้จะทำงานเมื่อมี lactoperoxidase enzyme (LP), ไทโอไซยาเนต และ hydrogen peroxidase (H_2O_2) ซึ่งจะทำงานเปรียบเสมือนสารยับยั้งธรรมชาติ ทำลายได้ทั้งจุลินทรีย์แกรมบวก และแกรมลบ (Zapico et al., 1995)

Table 1 Level of cyanide contents in plants

Plant	HCN (ppm)	References
Cassava		
Leave	377-500	Logsdon et al. (1999)
Root	138	
Dry cassava root	46-100	
Fresh cassava root	90	Khonkhaeng et al. (2016)
Cassava pulp meal (wet)	12-28	Petlum et al. (2012)
Sorghum	100-800	Wheeler et al. (1989)
Almond	280-2800	Logsdon et al. (1999)
Corn	25	Beconi et al. (1983)

Table 2 Effect of sulfur using to cyanide decrease or increase of thiocyanate

Level of S	Animal	Result	References
0.4 %	Dairy	Reduced cyanide in FCF	Promkot and Wanapat (2009)
0.4 %	Cattle	Blood thiocyanate concentration was increased when increasing levels of sulfur in feed block.	Khonkhaeng et al. (2016)
	Ruminants	They were received feed containing cyanide, such as cassava or sorghum are needed to add high sulfur to reduce the toxicity of cyanide.	NCR (2001)
18	Sheep	Sulfur supplementation of sheep grazing sorghum forage increased growth rate. Cyanide levels no adverse affect on The survival of the animals.	Wheeler et al. (1975)
0.13	Sheep	The detoxification of cyanide by the formation of thiocyanate uses a significant proportion of daily intake of sulfur, particularly in sorghum.	Wheeler et al. (1983)

Table 3 Effect of sulfur uses on dry matter intake and ruminal fermentation

Level of S (%)	pH	Temp (^{o}C)	NH_3-N (mg%)	Thiocy-anate (ppm)	Animal	Conclusion	References
0.5	-	-	-	-	Goats	Increasing dietary sulfur concentrations improved ($P < 0.01$) dry matter intake with a resultant increase in cyanide intake which was highest for the elemental sulfur diet where the least urinary thiocyanate	Onwuka et al. (1992)
0.5					Goat	Sulfur supplementation was increased live weight in goat.	Tewe et al. (1984)
0.5					Cattle	Sulfur supplementation increased microbial biomass especially with a substrate of fresh cassava foliage.	Promkot et al. (2007)

Table 3 Effect of sulfur uses on dry matter intake and ruminal fermentation

Level of S (%)	pH	Temp (°C)	NH_3-N (mg%)	Thiocy-anate (ppm)	Animal	Conclusion	References
0.5						It was decrease cyanide concentration in the blood. When supplementation of sulfur	Ravindran et al. (1987)
0.15-0.40	6.9-7.0	-	11.9-14.2	15.7-21.4	Dairy	Fresh cassava foliage or cassava hay resulted in similar rumen ecology parameters.	Promkotand Wanapat (2009)
0.4-0.6	5.9-6.0	-	-	-	Cattle	High percentages of sulfur in the diet generally had no effects on these parameters.	Oliveira et al. (1996)
2-4	6.7-7.0	38.5-38.9	11.5-13.3	15.7-19.8	Cattle	Feeding of fresh cassava root with feed block high sulfur were not adverse effect on ruminal pH and temperature which were optimal ranges for rumen microbial activity.	Khonkhaeng et al. (2016)
< 0.25						A greater number of bacteria in the rumen of sheep which were fed a high sulfur diet compared to a low sulfur diet.	Hegarty et al. (1994)
0.3						That added sulfur from methionine or sodium sulfate improved cellulose digestion threefold in *in vitro* fermentations that were void of sulfur.	Patterson and Kung (1988)

Table 4 Effect of sulfur uses on milk production and somatic cells

Level of S (%)	production	Animal	Conclusion	Reference
0.4	Milk protein and somatic cells	Diary	Supplementation of elemental sulfur to cassava foliage based diets was found high milk protein content. And also reduced the passage of thiocyanate from maternal serum to milk.	Promkot and Wanapat (2009)
	Milk protein	Diary	Sulfur supplementation of animals grazing sorghum forage increased milk production.	Stobbs and Wheeler (1997)
	Thiocyanate and somatic cell count in milk	Diary	Concentration of milk SCN was increased and effected in decreasing number of milk somatic cells.	Petlum et al. (2012)
	Bacterial counts in milk	Dairy	As a result, bacterial counts in the raw milk tended to decrease when the supplementation of cassava hay in feed increased. This is believed to be due to an improvement in the efficiency of the antibacterial activity of the lactoperoxidase system in raw milk.	Punthanara et al. (2009)

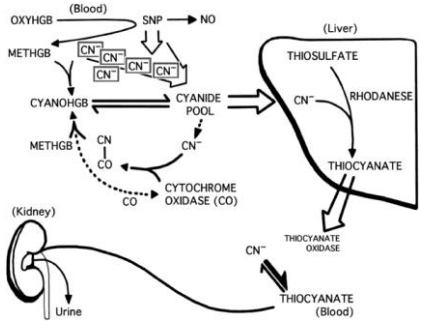

Figure 1 Mode of action of cyanide detoxification to thiocyanate (Hummer et al. (2013))

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการทบทวนเอกสารครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่าการใช้ซัลเฟอร์เพื่อลดปริมาณไซยาไนด์ในวัตถุดิบอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะได้มาซึ่งกลยุทธ์ในการลดพิษไซยาไนด์ และยังทำให้สามารถลดข้อจำกัดด้านการนำใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องลดต้นทุนอาหารซึ่งส่งผลทำให้กำไรจากการผลิตเพิ่มขึ้นด้วย อีกทั้งยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของจุลินทรีย์ภายในรูเมน แต่ทั้งนี้ก็ต้องคำนึงถึงปริมาณที่เหมาะสมต่อการลดพิษและความสามารถในการกำจัดพิษของร่างกายสัตว์ด้วย ซึ่งระดับของซัลเฟอร์ที่จะสามารถกำจัดปริมาณพิษไซยาไนด์ภายในรูเมนได้นั้นต้องมีปริมาณมากกว่า 500 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว

เอกสารอ้างอิง

ธาตรี จีราพันธุ์. 2550. อาหารและการให้อาหารสัตว์. ภาควิชาเทคโนโลยีเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม. มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์, นครสวรรค์.

เมธา วรรณพัฒน์. 2553. โภชนศาสตรสัตว์เคี้ยวเอื้อง. ฟันนี่พับลิชชิ่ง จำกัด, กรุงเทพฯ.

สมคิด พรหมมา, อภิชาต รัตนวณิช, สมเพชร ตุ้ยคำภีร์, นิพนธ์ วิทยากร และอรวรรณ สุวภาพ. 2525. การทดลองใช้ฟางข้าวซึ่งได้รับการปรุงแต่งคุณภาพแล้วเป็นอาหารหยาบหลักสำหรับเลี้ยงโคนมรุ่น. รายงานผลงานวิจัยสาขาสัตวศาสตร์การประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 20 1-5 กุมภาพันธ์ 2525 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สาโรช ค้าเจริญ. 2547. อาหารและการให้อาหารสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

อนุสรณ์ เชิดทอง. 2556. ชีวเคมีประยุกต์ด้านโภชนะศาตร์. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

อนุสรณ์ เชิดทอง. 2559. ทรัพยากรอาหารสัตว์เขตร้อนและเทคโนโลยีการให้อาหารสัตว์. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

อมรรัตน์ พรหมบุญ, สุนันทา รัตนาโภ และทิพย์มนต์ ภัทราคร. 2550. พิษไซยาไนด์อันตรายจริงหรือ. ใน: นิทรรศการงานวิจัยบนเส้นทางงานวิจัย มหาวิทยาเกษตรศาสตร์ ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Beconi, M.T., R.A. Sánchez, and A. Boveris. 1983. Alternative oxidase and cyanide-and antimycin-insensitive respiration in corn root mitochondria. Plant. Sci. Lett. 32: 125-132.

Burrows, G.E., and R.J. Tyrl. 2012. RosaceaeJuss. In Toxic Plants of North America, Second Edition, Wiley-Blackwell, Oxford, UK.

Cope, R.B. 2016. Overview of cyanide poisoning-Toxicology-Veterinary manual. Merck Sharp & Dohme Corp., a subsidiary of Merck & Co., Inc., Kenilworth, NJ, USA. Available: https://goo.gl/m3tAOU. Accessed Sep. 20, 2016.

Coursey, D.G. 1973. Cassava as food: Toxicity and Technology. pp. 89-96. In: Proceedings of an International

Workshop, Chronic cassava toxicity, Development and Research Center, Ottawa, London.

Frankenberg, L. 1980. Enzyme therapy in cyanide poisoning: Effect of rhodanese and sulfur compounds. Arch. Toxical. 45: 315-323.

Hammer, G.B., S.G. Connolly, S.R. Schulman, A. Lewandowski, C.Cohane, T.L. Reece, R. Anand, J. Mitchelland, and D.R. Drover. 2013. Sodium nitroprusside is not associated with metabolic acidosis during intraoperative infusion in children. BMC. Anesth. 13: 2253-2259.

Hegarty, R. S., J. V. Nolan, and R. A. Leng. 1994. The effects of protozoa and of supplementation with nitrogen and sulfur on digestion and microbial metabolism in the rumen of sheep. Aust. J. Agric. Res. 54: 1215-1227.

Hoover, W.H., T.K. Miller, S.R. Stokes, and W.V. Thayne. 1989. Effects of fish meals on rumen bacterial fermentation in continuous culture. J. Dairy. Sci. 72: 2991-2998.

Job, D., and J. Ricard. 1975. Kinetic and equilibrium studies of cyanide and fluoride binding to turnip peroxidases. Arch. Biochem. Biophys. 170: 427-437.

Khonkhaeng, B., A. Cherdthong, A. Senkomsorn, and C. Supapong. 2016. Nutrient utilization of Thai native cattle fed fresh cassava root with feed block containing high sulfur. 116th RGJ Seminar Series. August 9-10, 2016. College and Local Administration Khon Kaen University, Khon Kaen.

Logsdon, M.J., K. Hagelstein, and T. Mudder. 1999. The management of cyanide in gold extraction. International Council on Metals and the Environment, Ottawa.

National Research Council. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th Edition. National Academic Press, Washington DC.

Newmont. 2002. Cyanide. Available: https://goo.gl/zSVwTN. Accessed Sep. 20, 2016.

Nguyen, T.L., R.B. Ogle, and T.R. Preston. 1997. Cassava root silage for crossbred pigs under village conditions in Central Vietnam. Livestock. Res. Rural. Dev. 9: 2

Oliveira, D.L.A., C. Jean-Balin, V.D. Corso, V. Benard, A.Durix, and S. Komisarczuk-Bony. 1996. Effect of a sulfur diet on rumen microbial activity and rumen thiamine status in sheep receiving a semi-synthetic, thiamine-free diet. Reprod. Nutr. Dev. 36: 31-42.

Onwuka, C.F.I., A.O. Akinsoyinu, and O.O. Tewe. 1992. Role of sulphur in cyanide detoxification in ruminants. Small Rumin. Res. 8: 277-284.

Patterson, J.A., and L. Kung. 1988. Metabolism of DL-methionine and methionine analogs by rumenmicro-organisms. J. Dairy. Sci. 71: 3292-3301.

Petlum, A., S. Boonlue, T. Werachai, P. Kanawit, P. Wongchiangpheng , A. Phomphai, L. Phomsak, and M. Kongyen. 2012. Effect of ensiled cassava foliage supplementation on milk yield and milk quality of lactating dairy cows in smallholder farms. Khon Kaen AGR. J. 40. Supplement. 2: 114-117.

Poungchompu, O., M.Wanapat, C. Wachirapakorn, S. Wanapat, and A. Cherdthong. 2009. Manipulation of ruminal fermentation and methane production by dietary saponins and tannins from mangosteen peel and soapberry fruit. Arch. Anim. Nutr. 23: 389-400.

Promkot, C., M. Wanapat, C. Wachirapakorn, and C. Navanukraw. 2007. Influence of sulfur on fresh cassava foliage and cassava hay incubated in rumen fluid of beef cattle. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 20: 1424-1432.

Promkot, C., and M. Wanapat. 2009. Effect of Elemental sulfur supplementation on rumen environment parameters and utilization efficiency of fresh cassava foliage and cassava hay in dairy cattle. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 22: 1366–1376.

Punthanara, S., P. Chairatanayuth, P. Vijchulata, S. Surapat, U. Kuntho, and W. Narongwanichakarn. 2009. Effects of cassava hay supplementation on antibacterial activity of the lactoperoxidase system in raw milk of dairy cows. Kasetsart J. Nat. Sci. 43: 486-496.

Ravindran, V., E. T. Kornegay and A. S. B. Rajaguru. 1987. Influence of processing methods and storage time on the cyanide potential of cassava leaf meal. Anim. Feed. Sci. Thechnol. 17: 227-234.

Stobbs, T.H., and J.L. Wheeler. 1977. Response by lactating cows grazing sorghum to sulfur supplementation. Trop. Agric. 54: 229-234.

Tatsapong, P. 2013. Feed and feed requirement in ruminants. Department of Agricultural Science, NaresuanUniversity.

Tewe, O.O., A.O. Afolabi, F.E. Grisson, G.K. Littleton, and O.L. Oke.1984. Effect of varying dietary cyanide levels on serum thyroxine and protein metabolites in pigs. Nutrition Report International. 30: 1245.

Tewe, O.O. 1992. Detoxification of cassava products and effects of residual toxins on consuming animals. In: Machin, D., Nyvold, S. (Eds.), Roots, Tubers, Plantains and Bananas in Animal Feeding: FAO Anim. Prod. Health Paper. 95: 81–98.

Thang, C.M., I. Ledin, and J. Bertilsson. 2010. Effect of using cassava products to vary the level of energy and protein in the diet on growth and digestibility in cattle. Livest. Sci. 128: 166-172.

Wheeler, J.L., D.A. Hedges, and A.R. Till. 1975. A possible effect of cyanogenicglucoside in sorghum on animal requirement for sulfur. J. Agric. Sci. 84: 377-379.

Wheeler, J.L., and C. Mulcahy. 1989. Consequences for animal production of cyanogenesis in sorghum forage and hay–a review. Trop. Grassl. 23: 193-202.

Wheeler, J.L., A.B. Dale, and D.A. Hedges. 1983. The sulfur and sodium content of forage sorghum in New South Wales. Anim. Pro. Sci. 8: 34-44.

Zapico, P., P. Gaya, M. Nuñez, and M. Medina.1995. Activity of Goat's milk lactoperoxidase system on Pseudomonas fluorescence and Escherichia coli at refrigeration temperatures. J. Food Prot. 58: 1136-1138.