

บทที่ 5

แร่ธาตุและวิตามินในสัตว์เคี้ยวเอื้อง Minerals and Vitamins in Ruminant

ในธรรมชาติปกติแล้วทุกเนื้อเยื่อของสัตว์ และอาหารสัตว์จะประกอบด้วยสารอนินทรีย์หรือแร่ธาตุต่างๆ ในปริมาณที่แตกต่างกันไป แร่ธาตุจะเป็นสิ่งที่พบในส่วนของเถ้าในรูปสารประกอบของออกไซด์ คาร์บอเนต และซัลเฟต เป็นต้น แร่ธาตุที่พบในเนื้อเยื่อทุกชนิดไม่ใช่แร่ธาตุที่จำเป็นต่อสัตว์ทั้งหมดมีแร่ธาตุอย่างน้อย 16 ชนิดเท่านั้นที่พบว่ามีมีความสำคัญและสัตว์มีความต้องการในการดำรงชีพ เมื่อแบ่งกลุ่มของแร่ธาตุออกตามความจำเป็นที่เกี่ยวข้องกับขบวนการเมตาโบลิซึมของร่างกายสามารถแบ่งกลุ่มของแร่ธาตุออกได้เป็น 3 กลุ่มคือ

1. กลุ่มแร่ธาตุที่มีความจำเป็นเกี่ยวกับการสร้างโครงสร้างของร่างกาย (structural elements) ได้แก่ แคลเซียม (Ca) และฟอสฟอรัส (P) แมกนีเซียม (Mg) ฟลูออไรด์ (F) และซิลิคอน (Si) ที่เป็นส่วนประกอบของกระดูก และฟัน สำหรับฟอสฟอรัสและกำมะถันจัดเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการสร้างโปรตีนในกล้ามเนื้อ เป็นต้น

2. กลุ่มแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของของเหลวในร่างกายและเนื้อเยื่อต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมความสมดุลของกรดและด่างในร่างกาย รักษาความดันออสโมติก (Osmotic pressure) ของส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย เช่น โซเดียม (Na) โพแทสเซียม (K) และคลอไรด์ (Cl) เป็นต้น

3. กลุ่มแร่ธาตุที่ทำหน้าที่เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์และฮอร์โมน เช่น ธาตุเหล็ก (Fe) ทองแดง (Cu) แมงกานีส (Mn) แมกนีเซียม (Mg) สังกะสี (Zn) โมลิบดีนัม (Mo) ซีลีเนียม (Se) และไอโอดีน (I) เป็นต้น

นอกจากนี้ อาจแบ่งกลุ่มของแร่ธาตุตามปริมาณความต้องการของร่างกายออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. แร่ธาตุที่สัตว์เคี้ยวเอื้องมีความต้องการมาก (macro - elements) หมายถึง กลุ่มของแร่ธาตุที่ร่างกายนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น ด้านโครงสร้างเกี่ยวกับกระดูกและกล้ามเนื้อ ได้แก่ แคลเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม กำมะถัน เป็นต้น ด้านการรักษาสมดุลของของเหลวในร่างกาย ได้แก่ โซเดียม โพแทสเซียม และคลอไรด์ ด้านการกระตุ้นการทำงานของระบบประสาท เอนไซม์ และฮอร์โมน คือ แมงกานีส แคลเซียม และโพแทสเซียม เป็นต้น

2. แร่ธาตุที่สัตว์เคี้ยวเอื้องต้องการในปริมาณน้อย (micro - elements) หรือ (trace elements) หมายถึง กลุ่มของแร่ธาตุที่ทำหน้าที่เป็นส่วนหนึ่งในโครงสร้างของฮอร์โมน วิตามิน และเอนไซม์ เช่น ไอโอดีนเป็นโครงสร้างกลุ่มหนึ่งของฮอร์โมนไทรอกซิน และโคบอลเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างวิตามิน B₁₂ เป็นต้น แร่ธาตุต่างๆ เมื่อเข้าสู่กระเพาะรูเมนจะแตกตัวอยู่ในรูปไอออนซึ่งร่างกายสัตว์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ความต้องการแร่ธาตุในสัตว์เคี้ยวเอื้องแสดงอยู่ในรูปของปริมาณความต้องการต่อวัน หรือปริมาณความต้องการต่อหน่วยผลผลิต เช่น ในรูปของเปอร์เซ็นต์ในวัตถุดิบหรือ mg/kg ของวัตถุดิบแห้ง

ปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการแร่ธาตุของสัตว์

ความต้องการแร่ธาตุของสัตว์จะผันแปรไปขึ้นกับชนิด พันธุ์ อายุ และสภาพของการให้ผลผลิต เป็นต้น ลักษณะทางธรรมชาติของสัตว์ ระดับการให้ผลผลิต ความสัมพันธ์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุ ระดับ

และองค์ประกอบทางเคมีของแร่ธาตุ พันธุกรรมและความสามารถในการปรับตัวของสัตว์ โดยปกติความต้องการแร่ธาตุมีส่วนโดยตรงกับการให้ผลผลิตของสัตว์ เช่น ความต้องการแร่ธาตุสังกะสีและแมงกานีสสำหรับการเจริญเติบโตจะต่ำกว่าสำหรับความต้องการเพื่อความสมบูรณ์พันธุ์ในแกะ เป็นต้น

การให้แร่ธาตุแก่สัตว์เคี้ยวเอื้อง

การให้สัตว์ได้รับอาหารเสริมแร่ธาตุในสูตรรวม และให้กินอย่างอิสระนั้น สิ้นเปลืองน้อยและสะดวก โดยสูตรแร่ธาตุนั้นควรประกอบด้วย เหล็กแกง ฟอสฟอรัส แคลเซียม โคบอลท์ ทองแดง ไอโอดีน แมงกานีส และสังกะสี เป็นต้นส่วนแร่ธาตุอื่นๆ ที่จำเป็นบางตัวให้ในกรณีเกิดอาการขาดจำเพาะเท่านั้น การเสริมแร่ธาตุให้กินแบบอิสระมีข้อเสียเพราะว่า ความแปรปรวนของแร่ธาตุแต่ละตัวที่สัตว์กินเข้าไป และโคชอบไม่ค่อยชอบแร่ธาตุ ยกเว้นเหล็กแกง ดังนั้นควรมีการปรับปรุงเพื่อความน่ากิน เพื่อเพิ่มรสชาติให้ดีขึ้น เช่น การเติมกากเมล็ดฝ้าย กากน้ำตาลแห้ง และ ไขมัน

การผสมแร่ธาตุสำหรับสัตว์นั้นต้องคำนึงถึง ความต้องการของสัตว์ของแร่ธาตุที่จำเป็นแต่ละตัว ระดับความเป็นประโยชน์ของแร่ธาตุในแหล่งแร่ธาตุที่นำมาใช้ ระดับการกินต่อตัวต่อวัน และความเข้มข้นของระดับแร่ธาตุที่จำเป็นในสูตรอาหารเกลือแร่ นั้น

หลักในการผสมสูตรเกลือแร่ที่ผสมสำหรับเป็นอาหารเสริมในสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ดีนั้นต้องมีลักษณะดังนี้

1. สัดส่วนของ Ca: P ไม่ควรเกิน 2:1
2. ควรมีแร่ธาตุที่ละลายง่ายประกอบด้วยอย่างน้อย 50% ของระดับความต้องการ เช่น Co, Cu, I, Mn และ Zn เป็นต้น
3. ควรใช้แหล่งของแร่ธาตุที่ให้ความเป็นประโยชน์สูงสุด และหลีกเลี่ยงการใช้สารประกอบเกลือที่ธาตุเป็นพิษเป็นองค์ประกอบ เช่น ฟอสเฟต ที่มีระดับของ ฟลูออรีนสูง
4. ควรผสมเกลือแร่ให้มีรสชาติดี
5. ตรวจสอบระดับความเข้มข้นของแร่ธาตุแต่ละตัวที่นำมาผสมให้ถูกต้อง
6. แร่ธาตุที่ใช้ควรมีอนุภาคเล็ก เพื่อนำมาผสมแล้วสามารถคลุกเคล้ากันได้ดี ไม่แยกตัวออกจากกัน

แคลเซียม (Calcium, Ca)

แคลเซียมเป็นแร่ธาตุที่มีอยู่มากที่สุดในร่างกายโดย 99% ของแคลเซียมทั้งหมดจะพบได้ในส่วนของกระดูกและฟัน แคลเซียมที่เหลือจะกระจายอยู่ในส่วนของของเหลวในร่างกาย โดยอยู่ในรูปของแคลเซียมไอออน (Ca^{++}) ซึ่งมีความสำคัญต่อขบวนการทางสรีรวิทยาของร่างกาย นอกจากนี้ยังพบแคลเซียมในส่วนของเนื้อเยื่อต่าง ๆ ของร่างกายด้วย

หน้าที่สำคัญของแคลเซียม เกี่ยวข้องกับการสร้างกระดูกโดยเฉพาะในสัตว์ที่อยู่ในระยะเจริญเติบโต แคลเซียมในกระดูกจะอยู่ในรูปแคลเซียมฟอสเฟตเป็นส่วนใหญ่อาจพบในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนตด้วย แคลเซียมเป็นธาตุที่มีความสำคัญเกี่ยวข้องกับการแข็งตัวของเลือด ทำให้สารโปรทรอมบิน (prothrombin) เปลี่ยนเป็นสารทรอมบิน (thrombin) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการแข็งตัวและทำให้เลือดหยุดไหล แคลเซียมทำงานร่วมกับโซเดียมและโพแทสเซียม เพื่อให้การเต้นของหัวใจและการทำงานของกล้ามเนื้อเป็นไปตามปกติ นอกจากนี้ยังมีความจำเป็นต่อการทำงานของระบบประสาทในร่างกายด้วย

แหล่งของแคลเซียมในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง ได้แก่ ในน้ำนม พืชใบเขียวและวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นเศษเหลือจากสัตว์เช่น ปลาป่น กระดูกป่น เนื้อและกระดูกป่น เป็นต้น พืชตระกูลถั่วเป็นแหล่งที่ดีของแคลเซียมในสัตว์เคี้ยวเอื้องเนื่องจากมีแคลเซียมสูง สำหรับแหล่งของแคลเซียมที่เสริมในอาหารสัตว์ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของแร่ธาตุเสริมเป็นแร่ธาตุผง หรือแร่ธาตุก้อน นอกจากนี้อาจใช้พวกเปลือกหอยป่นและไคแคลเซียมฟอสเฟตเป็นต้น กลุ่มอาหารสัตว์ที่มีแคลเซียมต่ำคือ พวกธัญพืชและพืชหัวต่าง ๆ เป็นต้น การดูดซึมแคลเซียมจากอาหารจะเกิดขึ้นที่บริเวณส่วนต้นของลำไส้เล็ก(auodenum) การดูดซึมแคลเซียมจะเกี่ยวข้องกับปริมาณของฟอสฟอรัสและวิตามินดี เนื่องจากวิตามินดีเป็นวิตามินที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสร้างโปรตีนที่ช่วยในการดูดซึมแคลเซียมที่เซลล์เยื่อบุของผนังลำไส้เล็ก (calcium transporting protein) ทำให้แคลเซียมดูดซึมผ่านผนังลำไส้ไปสู่กระแสเลือดได้และถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้ ระดับของแคลเซียมในเลือดถูกควบคุมโดยฮอร์โมนที่สำคัญ 2 ชนิด คือ ฮอร์โมนจากต่อมพาราไทรอยด์และต่อมไทรอยด์บริเวณซีเซลล์ (C-cell) ที่ผลิตพาราไทรอยด์ฮอร์โมน และแคลซิโทนินควบคุมระดับของแคลเซียมในเลือดให้อยู่ในระดับสมดุล สำหรับวิตามินดีจะเกี่ยวข้องกับการดูดซึมแคลเซียมที่ลำไส้เล็ก แคลเซียมในร่างกายสัตว์เคี้ยวเอื้องส่วนใหญ่ถูกขับถ่ายออกทางมูลมากกว่าปัสสาวะ ยกเว้นในสัตว์ที่อยู่ในระยะให้นมหรือระยะเลี้ยงลูก แคลเซียมในน้ำมนับเป็นแหล่งสำคัญของการขับถ่าย แคลเซียมจากร่างกายแหล่งหนึ่ง

อาการของสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ขาดแคลเซียม

ในระยะเวลาที่ร่างกายมีความต้องการแคลเซียมสูง เช่น ในระยะเจริญเติบโต ระยะตั้งท้องและระยะให้น้ำนม การได้รับแหล่งแคลเซียมจากอาหารน้อยจะทำให้ร่างกายต้องนำแคลเซียมที่สะสมในกระดูกมาชดเชยความต้องการของแคลเซียม เพื่อรักษาความสมดุลของแคลเซียมในเลือดในระยะนี้ระดับของพาราไทรอยด์ฮอร์โมนจะสูงขึ้น ถ้าหากสัตว์ได้รับอาหารที่มีแคลเซียมต่ำเป็นระยะเวลานาน ๆ ในระยะที่เป็นลูกสัตว์หรืออายุน้อยจะทำให้เกิดโรคกระดูกอ่อน (rickets) ลักษณะที่สำคัญคือ กระดูกจะบางกระดูกอ่อน ข้อต่อและเข่าจะบวมใหญ่ผิดปกติ สัตว์จะเดินได้ลำบากในสัตว์ที่โตเต็มที่แล้ว การขาดแคลเซียมจะทำให้มีการดึงแคลเซียมที่สะสมในกระดูกมาใช้มาก กระดูกจะขาดแคลเซียม ความแข็งแรงของกระดูกจะลดลง ฟันจะผุและหลุดไปได้ อาจเรียกว่าโรคกระดูกผุ (osteomalacia) ในโคนมหลังคลอดอาจมีปัญหาการขาดแคลเซียมที่แสดงออกให้เห็น คือ โรคไข้นม (milk fever) ลักษณะอาการคือ มีระดับแคลเซียมในเลือดต่ำ สัตว์มีอาการกล้ามเนื้อกระตุก และเกิดอัมพาตเคลื่อนไหวไม่ได้อาจถึงตายได้หากไม่ได้รับการรักษาทันเวลา นอกจากนี้การขาดแคลเซียมเป็นเวลานาน ๆ จะมีผลทำให้สัตว์มีการเจริญเติบโตลดลง น้ำหนักลด กินอาหารได้น้อยลง และน้ำนมลดลงด้วย การแก้ไขปัญหการขาดแคลเซียมอาจทำได้โดยการให้สัตว์ได้รับแคลเซียมจากอาหารหรือการเสริมในรูปแร่ธาตุก้อนหรือแร่ธาตุผงเสริมให้สัตว์กินให้เพียงพอต่อความต้องการในทุกระยะการเจริญเติบโตและระยะให้ผลผลิต กรณีเป็นโรคไข้นมแก้ไขโดยการฉีดแคลเซียมบอโรกลูโคเนต (calcium borogluconate) ฉีดเข้าที่เส้นเลือดดำที่คอโดยตรงได้

อาการของสัตว์ที่ได้รับแคลเซียมสูงเกินไป

ในโคนมที่โตเต็มที่แล้วการได้รับแคลเซียมสูงเกินความต้องการเป็นระยะเวลานานจะทำให้บริเวณข้อต่อและเข่าขยายตัวใหญ่ขึ้น (osteoperosis) นอกจากนี้การได้รับแคลเซียมสูงเกินไปจะมีผลทำให้สมดุลของแร่ธาตุอื่นเสียไป และเกิดเป็นนิ่วในทางเดินปัสสาวะได้ ระดับแคลเซียมสูงจะมีผลไปยังการดูดซึมและการใช้ประโยชน์แร่ธาตุต่างๆ เช่น แมกนีเซียม ทองแดง เหล็ก และแมงกานีส ทำให้สัตว์เกิดอาการขาดธาตุต่างๆ ดังกล่าวได้

ฟอสฟอรัส (Phosphorus, P)

ฟอสฟอรัสเป็นแร่ธาตุที่พบมากเป็นอันดับที่สองในร่างกายรองจากแคลเซียม 80% ของฟอสฟอรัสทั้งหมดในร่างกายจะพบในส่วนของกระดูกและฟัน นอกจากนี้จะพบฟอสฟอรัสในส่วนของกล้ามเนื้อ เนื้อเยื่อสมอง ตับ และในซีรัม (serum) หรือในพลาสมา เป็นต้น แหล่งของฟอสฟอรัส คือ เมล็ดธัญพืช เนื้อกระดูกป่น ปลาป่นและน้ำนม เป็นต้น โดยเฉพาะแหล่งฟอสฟอรัสจากพืชส่วนใหญ่ประมาณ 75% จะอยู่ในรูปของไฟเตท (phytate) หรือไฟตินฟอสเฟต (phytin phosphate) ซึ่งเป็นเกลือของกรดไฟติก (phytic acid) และกรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) เมื่อเข้าสู่กระเพาะรูเมนของสัตว์ จะถูกจุลินทรีย์ย่อย โดยเอนไซม์ไฟเตส (phytase) ย่อยไฟเตทและนำฟอสฟอรัสไปใช้ประโยชน์ได้ การดูดซึมฟอสฟอรัสเพื่อใช้ประโยชน์โดยตรงในสัตว์เกิดขึ้นที่บริเวณส่วนของลำไส้เล็ก มีส่วนน้อยเท่านั้นที่ถูกดูดซึมในส่วนของโอม่าซั่ม การใช้ประโยชน์ของฟอสฟอรัสจะขึ้นกับปริมาณแร่ธาตุชนิดอื่นด้วย เช่น แคลเซียม สังกะสี โมลิบดีนัม และทองแดง เป็นต้น ถ้าสัดส่วนของแคลเซียมและฟอสฟอรัสในอาหารมีค่าเท่ากับ 2:1 การใช้ประโยชน์ของฟอสฟอรัสจะมีประสิทธิภาพสูง

หน้าที่ของฟอสฟอรัส ฟอสฟอรัสนอกจากจะมีหน้าที่สำคัญเกี่ยวข้องกับการสร้างกระดูกและฟันเช่นเดียวกับแคลเซียมแล้ว ยังทำหน้าที่สำคัญในร่างกายอีกมากมาย เช่น เป็นส่วนประกอบของกรดนิวคลีอิกทั้ง DNA และ RNA ที่มีหน้าที่ในการสังเคราะห์โปรตีนเป็นส่วนประกอบของสารอินทรีย์ต่างๆ ในร่างกายซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการเมตาบอลิซึมของพลังงาน เช่น ATP AMP และครีเอทีนฟอสเฟต (creatine phosphate) เป็นต้น นอกจากนี้เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์บางชนิด เช่น ฟลาโวโปรตีน (flavoprotein) และคาร์บอกซิเลส (carboxylase) เป็นต้น การขับถ่ายฟอสฟอรัสจากร่างกายส่วนใหญ่ขับถ่ายออกมาพร้อมกับมูล

อาการของสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ขาดฟอสฟอรัส

การขาดฟอสฟอรัสมีผลให้สัตว์มีอายุน้อยเกิดโรคกระดูกอ่อน และในสัตว์ที่โตเต็มที่แล้วจะทำให้เกิดโรคกระดูกผุเช่นเดียวกับอาการขาดธาตุแคลเซียม สำหรับในโค-กระบือการขาดฟอสฟอรัสจะทำให้สัตว์แสดงอาการเบื่ออาหารพร้อมแสดงพฤติกรรมผิดปกติ (Pica) เช่น กินหรือแทะไม้บริเวณคอกแทะกระดูก และเปลือกหอย เป็นต้น การขาดฟอสฟอรัสในสัตว์เป็นเวลานานๆ จะทำให้กล้ามเนื้ออ่อนแอและในโคนมจะมีผลให้ประสิทธิภาพในการสืบพันธุ์ลดลง การผสมติดต่ำ และปริมาณน้ำนมลดลงด้วย

แมกนีเซียม (Magnesium, Mg)

แมกนีเซียมเป็นธาตุที่มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับแคลเซียมและฟอสฟอรัส ประมาณร้อยละ 70 ของแมกนีเซียมที่มีอยู่ในร่างกายมีอยู่ในกระดูก แมกนีเซียมที่เหลือมีกระจายอยู่ในเนื้อเยื่อต่างๆ ของร่างกายในเลือดและกล้ามเนื้อ แหล่งของแมกนีเซียมที่สำคัญทางอาหารสัตว์คือ รำข้าว ใบพืชสีเขียว เช่น พืชอาหารสัตว์ต่างๆ และเมล็ดธัญพืชที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้ว ปริมาณแมกนีเซียมในพืชอาหารสัตว์จะแตกต่างกันไปตามชนิดพันธุ์ อายุ และพื้นที่ปลูก เป็นต้น การเสริมแมกนีเซียมในอาหารในรูปของแร่ธาตุมักนิยมใช้แมกนีเซียมออกไซด์หรือแมกนีเซียมซัลเฟต แมกนีเซียมในอาหารจะถูกดูดซึมในส่วนของกระเพาะรูเมน แต่สัตว์กระเพาะเดี่ยวการดูดซึมเกิดในส่วนของลำไส้เล็กและลำไส้ใหญ่ ระดับ pH ในกระเพาะมีผลต่อการดูดซึมแมกนีเซียม ถ้า pH สูงมากอัตราการดูดซึมแมกนีเซียมจะลดลง

หน้าที่ของแมกนีเซียม เป็นส่วนประกอบของกระดูกและฟัน ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการทำงานของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ และเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ

ในร่างกาย เช่น เอนไซม์ฟอสเฟททรานส์เฟอริส (phosphate transferase) เอนไซม์ดีคาร์บอกซิเลส (decarboxylase) และเอนไซม์เอซิลทรานส์เฟอริส (acyl transferase) เป็นต้น

อาการของสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ขาดแมกนีเซียม

ในสัตว์เคี้ยวเอื้องที่มีอายุน้อยเช่น ลูกโค การขาดแมกนีเซียมในระยะก่อนหย่านมจะมีผลให้การสะสมแมกนีเซียมในกระดูกลดลง สัตว์จะเบื่ออาหาร ระบบประสาทไวต่อความรู้สึก สัตว์จะตกใจง่ายหรือมีอาการตื่นตัวเสมอ มีอาการชักกระตุกตามกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ของร่างกาย การหดตัวของกล้ามเนื้อในส่วนคอทำให้มีอาการเกร็งคอ หรือคอแข็ง ในรายที่ขาดแมกนีเซียมมากอาจถึงตายได้ การขาดแมกนีเซียมในระยะลูกโค มีผลจากสัตว์ได้รับแมกนีเซียมจากน้ำนมไม่เพียงพอต่อความต้องการของสัตว์ ในสัตว์เคี้ยวเอื้องที่โตเต็มที่แล้ว จะทำให้สัตว์มีอาการเบื่ออาหารมีอาการกระตุกของกล้ามเนื้อ การเคลื่อนไหวของร่างกายผิดปกติ ขาแข็ง เดินลำบาก อาจถึงตายได้ ถ้าทำการรักษาไม่ทัน ในรายที่แสดงอาการอย่างเฉียบพลันสามารถแก้ไขได้โดยฉีดสารละลายแคลเซียมแมกนีเซียมโบโรกลูโคเนท (Ca-Mg borogluconate) เข้าเส้นเลือดดำที่คอ (jugular vein) การป้องกันสามารถทำได้โดยเสริมอาหารพวกธัญพืช หรือเสริมแร่ธาตุพวกแมกนีเซียมออกไซด์

โพแทสเซียม (Potassium, K)

โพแทสเซียมเป็นธาตุที่พบอยู่ทั่วไปในพืช โดยเฉพาะในหญ้าสดมีโพแทสเซียมอยู่ประมาณ 2-4% ในวัตถุแห้ง

หน้าที่ของโพแทสเซียม โพแทสเซียมในร่างกายสัตว์ส่วนใหญ่จะอยู่ในเซลล์มีหน้าที่ในการควบคุมความสมดุลของของเหลวในร่างกาย และควบคุมความเป็นกรดเป็นด่างในร่างกายโดยทำงานร่วมกับโซเดียม และคลอไรด์ไอออน นอกจากนี้ยังมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับระบบประสาทและการหดตัวของกล้ามเนื้อและเกี่ยวข้องกับเมตาโบลิซึมของคาร์โบไฮเดรต

อาการของสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ขาดโพแทสเซียม

การขาดโพแทสเซียมสามารถเกิดขึ้นได้กับลูกสัตว์ที่ยังไม่หย่านม เนื่องจากในน้ำนมมีปริมาณโพแทสเซียมต่ำ แต่ในสัตว์ที่โตเต็มที่แล้วหรือสัตว์ที่อยู่ในระยะที่กำลังเจริญเติบโตที่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วนของอาหารชั้นสูง มีโอกาสขาดธาตุโพแทสเซียมสูงกว่าพวกที่ได้รับอาหารหยาบเต็มที่ เนื่องจากในเมล็ดธัญพืชมีโพแทสเซียมเป็นส่วนประกอบอยู่น้อยประมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ในวัตถุแห้ง ผลของการขาดโพแทสเซียมในระยะแรกจะทำให้สัตว์กินอาหารลดลงจนทำให้มีการสูญเสียน้ำหนักตัว สัตว์มีอาการซึมมีขนหยาบกล้ามเนื้ออ่อนแอเคลื่อนไหวตัวช้าในสัตว์อายุน้อยอาจเป็นอัมพาตและตายได้

โซเดียม (Sodium, Na)

ส่วนใหญ่ของโซเดียมที่อยู่ภายในร่างกาย จะอยู่ในส่วนของของเหลวในร่างกาย โซเดียมเป็นธาตุที่มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับคลอรีน นอกจากนี้ยังพบโซเดียมอยู่ในเนื้อเยื่อต่างๆ แหล่งของโซเดียมส่วนใหญ่มีมากในเนื้อสัตว์และอาหารที่ได้จากทะเลในพืชอาหารสัตว์และธัญพืชมีปริมาณโซเดียมต่ำ การเสริมโซเดียมในทางอาหารสัตว์มักนิยมเสริมในรูปของเกลือ (NaCl) โซเดียมเป็นธาตุที่สามารถดูดซึมผ่านผนังลำไส้ได้ดี การดูดซึมส่วนใหญ่จึงเกิดที่บริเวณลำไส้เล็กและลำไส้ใหญ่ การได้รับโซเดียมในรูปเกลือมากเกินไป ร่างกายจะทำการขับออกในรูปของเกลือเช่นเดียวกับสภาพที่ได้รับ การขับเกลือออกจากร่างกายจะทำให้สัตว์มีความต้องการน้ำมาก การกินน้ำมากอาจทำให้เกิดอาการท้องร่วงแต่ถ้าไม่ได้รับน้ำ

ตามต้องการร่างกายจะสูญเสียน้ำออกจากร่างกายมาก ผลที่ตามมาคือสัตว์เกิดอาการอ่อนเพลีย เป็นอัมพาต ชักกระตุกอย่างรุนแรงและตายได้ในที่สุด

หน้าที่ของโซเดียม ได้แก่ การรักษาแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) ของของเหลวภายในร่างกายให้สมดุล เกี่ยวข้องกับการทำงานของกล้ามเนื้อ และระบบประสาท เนื่องจากโซเดียมมีออนเป็นแหล่งใหญ่ของประจุบวกในส่วนของซีรัม (serum) และในของเหลวภายนอกเซลล์ (extracellular fluid)

อาการของสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ขาดโซเดียม

ในลูกสัตว์การขาดโซเดียมจะมีผลให้เกิดท้องร่วง ชะงักการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารลดลง ในสัตว์ที่โตเต็มที่แล้วการขาดโซเดียมส่วนใหญ่เกิดขึ้นเนื่องจากได้รับโซเดียมจากอาหารน้อย สัตว์จะแสดงอาการเบื่ออาหาร มีน้ำหนักตัวลดลง การขาดโซเดียมจะทำให้ระดับของโซเดียมมีออนในของเหลวภายนอกเซลล์ เช่น ในพลาสมา ซีรัม และน้ำลายลดลง แต่โพแทสเซียมมีออนจะเพิ่มขึ้นในของเหลวดังกล่าวด้วย

คลอรีน (Chlorine, Cl)

แหล่งของคลอรีนในธรรมชาติได้แก่ ปลาและเนื้อรวมถึงผลผลิตจากทะเล แหล่งคลอรีนส่วนใหญ่ที่สัตว์ได้รับมาจากการเสริมเกลือลงในอาหาร การเสริมเกลือจะทำให้สัตว์ได้ทั้งโซเดียมและคลอไรด์ไปพร้อมๆ กัน เนื่องจากโซเดียมและคลอไรด์เป็นธาตุที่มีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิด การดูดซึมของคลอรีนในรูปคลอไรด์มีออนจะเกิดขึ้นที่ลำไส้เช่นเดียวกับโซเดียม คลอรีนส่วนที่เกินกว่าความต้องการจะถูกขับออกจากร่างกายทางปัสสาวะเป็นส่วนใหญ่ มีส่วนน้อยเท่านั้นที่ถูกขับออกทางเหงื่อและมูลโดยขับออกจากร่างกายพร้อมกับโซเดียมและโพแทสเซียม

หน้าที่ของคลอรีน คือ การควบคุมแรงดันออสโมติกของของเหลวภายนอกเซลล์ (Extracellular fluid) ควบคุมสภาพความเป็นกรดเป็นด่างของของเหลวในร่างกาย และเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในน้ำย่อยของกระเพาะอาหารโดยเป็นส่วนประกอบของกรดเกลือ (HCl) ในน้ำย่อย เพื่อให้สภาพอาหารในกระเพาะมีสภาพเป็นกรดและกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีนภายในกระเพาะอาหาร

อาการของสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ขาดคลอรีน

โดยทั่วไปสัตว์เคี้ยวเอื้องมักจะไม่แสดงอาการขาดคลอรีนเพียงอย่างเดียว แต่จะแสดงอาการขาดทั้งคลอรีนและโซเดียมพร้อมๆ กัน เนื่องจากแหล่งคลอรีนที่สำคัญคือ เกลือที่เสริมในอาหาร อาการขาดคลอรีนและโซเดียมจะแสดงออกโดยการไม่ยอมกินอาหาร การเจริญเติบโต และน้ำหนักตัวลดลง

ซัลเฟอร์ (Sulphur, S)

ซัลเฟอร์ที่อยู่ในร่างกาย ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของส่วนประกอบของโปรตีน กำมะถันหรือซัลเฟอร์ (sulphur) ในกล้ามเนื้อและในขนสัตว์โดยจะอยู่ในส่วนของกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ เช่น ซีสทีน ซีสเทอีน และเมทไธโอนีน เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถพบได้ในฮอร์โมนอินซูลิน และไนโวมิน B₁ แหล่งของซัลเฟอร์ที่สำคัญคือในขนไก่ป่นในสัตว์กระเพาะเดี่ยวการเสริมซัลเฟอร์มักนิยมใช้ในรูปของเกลือโซเดียมซัลเฟต แต่ในสัตว์เคี้ยวเอื้องเนื่องจากจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนสามารถสังเคราะห์กรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบได้ หากมีแหล่งของซัลเฟอร์ในกระเพาะรูเมน การเลี้ยงโคด้วยการให้อุเรียเป็นแหล่งโปรตีนควรเสริมซัลเฟอร์หรือกำมะถันในรูปกำมะถันผงให้สัตว์กินด้วยเพื่อให้เป็นแหล่งกำมะถันหรือซัลเฟอร์สำหรับจุลินทรีย์

หน้าที่ของซัลเฟอร์ ได้แก่ เป็นส่วนประกอบของกรดอะมิโนที่จำเป็นพวกซีสทีน ซีสเทอีน และเมทไธโอนีน นอกจากนี้เป็นส่วนประกอบของวิตามิน B₁ และไบโอติน ที่ทำหน้าที่สำคัญในขบวนการเมตาโบลิซึมของคาร์โบไฮเดรตและเมตาโบลิซึมของไขมันและเป็นส่วนประกอบของขน ผม และเล็บ

อาการของสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ขาดซัลเฟอร์

อาการขาดซัลเฟอร์ของสัตว์ที่สามารถเห็นได้คือ ขน ผม และเล็บ มีลักษณะการเจริญที่ผิดปกติในแกะที่กำลังเจริญเติบโตการขาดซัลเฟอร์จะทำให้ได้ขนแกะที่มีคุณภาพต่ำ

แมงกานีส (Manganese, Mn)

แมงกานีสเป็นแร่ธาตุที่มีสะสมในร่างกายน้อย บริเวณที่มีการสะสมธาตุแมงกานีสคือ ส่วนกระดูก ตับ ไต ตับอ่อน อวัยวะสืบพันธุ์และต่อมไธสมอง แหล่งของแมงกานีสในอาหารคือ รำข้าวและในลำเล้าแต่ยังมีปริมาณไม่เพียงพอต่อความต้องการของสัตว์ การเสริมแมงกานีสในอาหารมักนิยมใช้ในรูปของเกลือ แมงกานีสซัลเฟต (MnSO₄) และแมงกานีสออกไซด์ (MnO) แมงกานีสเป็นธาตุที่มีความสามารถในการดูดซึมต่ำ และแมงกานีสที่ไม่ถูกดูดซึ่มมักถูกขับออกจากร่างกายทางมูล การดูดซึมแมงกานีสมีความผันแปรไปขึ้นกับธาตุอื่นด้วย เช่น แคลเซียมและเหล็ก ถ้าในอาหารมีระดับของแคลเซียมและเหล็กสูงการดูดซึมแมงกานีสจะลดต่ำลงด้วย

หน้าที่ของแมงกานีส แมงกานีสมีบทบาทที่สำคัญในการทำหน้าที่เป็น co-factor ของเอนไซม์หลายตัว และยังเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ที่สำคัญในกระบวนการทางชีวเคมีหลายกระบวนการ โดยเฉพาะ redox processes คือ

1. การสังเคราะห์ mucopolysaccharide ที่เป็นส่วนของอินทรีย์สาร (organic matrix) ในการสร้าง กระดูกและฟัน พบว่าแมงกานีสมีความสำคัญในการพัฒนาของกระดูกทำให้กระดูกมีการเจริญปกติ

2 การสังเคราะห์โคเลสเตอรอล ที่ใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ฮอร์โมนหลายๆ ตัว และเกี่ยวข้องกับการทำหน้าที่ของระบบสืบพันธุ์ทั้งในสัตว์เพศผู้และเพศเมีย

3. เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์กลูโคส (gluconeogenesis) โดยเฉพาะการสังเคราะห์กลูโคสที่ใช้สารตั้งต้นที่เป็นกรดอะมิโน การใช้ประโยชน์ของกลูโคส เป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายทอดพลังงานในวัฏจักรเครบส์ เช่น เอนไซม์ฟอสเฟททรานสเฟอร์เรส (phosphate transferase) และเอนไซม์คาร์บอกซิเลส (decarboxylase) เป็นต้น นอกจากนี้ แมงกานีส ยังมีบทบาทที่สำคัญใน tissue respiratory และ bone formation และมีผลกระทบต่ออาการเจริญเติบโต การสืบพันธุ์ การสร้างเลือด และหน้าที่ของต่อมไธมัส

อาการของสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ขาดแมงกานีส

การขาดแมงกานีส จะมีผลทำให้สัตว์ที่มีอายุน้อยมีการเจริญเติบโตของกระดูกผิดปกติ สัตว์จะเจริญเติบโตช้า ระบบสืบพันธุ์พัฒนาไม่สมบูรณ์ ในสัตว์ที่โตเต็มที่แล้วจะมีผลให้สัตว์มีความสมบูรณ์พันธุ์ต่ำ อัตราการผสมติดต่ำ การพัฒนาของเซลล์สืบพันธุ์ไม่สมบูรณ์ และมีผลให้สัตว์เป็นหมันสืบพันธุ์ไม่ได้

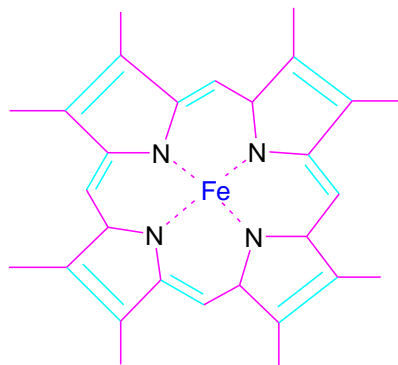
เหล็ก (Iron, Fe)

สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมมีเหล็กอยู่ประมาณ 0.9 ถึง 1.3 mmol/kg BW (50 ถึง 70mg/kg) โดยประมาณ 65% ของเหล็กอยู่ในรูปฮีโมโกลบิน (hemoglobin) และอีก 3 % อยู่ในรูปไมโอโกลบิน (myoglobin) ซึ่งเป็นสารให้สีแดงในเลือดและในกล้ามเนื้อ และอีก 30% ของเหล็กเก็บสะสมในรูป

ของสารประกอบและบางส่วนเกี่ยวข้องกับการส่งผ่านโปรตีนและเอนไซม์หลายตัว ฮีโมโกลบินและไมโอโกลบิน สามารถที่จะจับกับออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ช่วยในการส่งผ่านออกซิเจนและนำคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากเนื้อเยื่อ นอกจากนี้ เหล็กยังเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่มี ฮีม (heme) ประกอบอยู่ (heme-containing complexes) เช่น cytochromes ที่มีความสำคัญในกระบวนการหายใจของเซลล์ และเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์หลายตัว

การสะสมเหล็กในร่างกายอยู่ในรูปเฟอร์ริทิน (ferritin) ที่พบมากในตับ ม้าม และไขกระดูก (bone marrow) ซึ่งความเข้มข้นของ ferritin ในพลาสมาสามารถใช้เป็นตัวชี้บ่งชี้ถึงสถานะของเหล็กในร่างกายได้ โดยปกติเหล็กในพลาสมาอยู่ระหว่าง 20 ถึง 40 $\mu\text{mol/L}$ (1.1 ถึง 2.2 mg/L) ส่วนในน้ำนมมีเหล็กประมาณ 6 ถึง 11 $\mu\text{mol/L}$ (0.3 ถึง 0.6 mg/L) ส่วนในนมแม่เหล็กมีเหล็กมากกว่า 3 ถึง 5 เท่า เฟอร์ริทินจึงจัดว่าเป็นแหล่งสำรองของธาตุเหล็กที่สำคัญของร่างกาย นอกจากนี้ยังพบว่ามีโปรตีนและเอนไซม์บางชนิดที่มีธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบสำคัญ เช่น โปรตีน ทรานส์เฟอร์ริน (transferrin) ในซีรัมของเลือด เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (peroxidase) และฟลาวอโปรตีน (flavoprotein) เป็นต้น ในส่วนของฮีโมโกลบินจะมีธาตุเหล็กในรูปของเฟอร์รัสไอออน (ferrous ion : Fe^{++}) อยู่ประมาณ 0.34% ของธาตุเหล็กทั้งหมดในร่างกาย

แหล่งของธาตุเหล็กในอาหารมีอยู่ทั่วไปพืชตระกูลถั่วมีธาตุเหล็กเป็นส่วนประกอบอยู่สูง แต่พืชตระกูลหญ้ามีธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบอยู่ต่ำกว่า และในเมล็ดธัญพืชจะมีธาตุเหล็กอยู่น้อยกว่าพืชตระกูลหญ้า น้ำนมจัดเป็นแหล่งอาหารสัตว์ที่มีธาตุเหล็กอยู่น้อยเช่นกัน ในลูกสัตว์ที่ยังไม่หย่านมจึงมีโอกาสนี้จะขาดธาตุเหล็กมากกว่าในสัตว์ที่โตเต็มที่แล้ว การเสริมธาตุเหล็กในอาหารสัตว์ส่วนใหญ่จะเสริมในรูปของเหล็กซัลเฟต (ferrous sulfate, FeSO_4)



ภาพที่ 5.1 โครงสร้างของฮีม A ที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบ

ที่มา : Pond และคณะ. (1998)

การดูดซึมธาตุเหล็กในร่างกายมักใช้ทฤษฎีป้องกันไม่ให้สัตว์ดูดซึมธาตุเหล็กเกินความต้องการมากเกินไป คือ การดูดซึมธาตุเหล็กที่ผนังลำไส้จะดูดซึมในรูปของเฟอร์รัสไอออน (ferrous ion, Fe^{++}) ที่จะรวมตัวกับโปรตีนอโปเฟอร์ริทินแล้วเปลี่ยนรูปเป็นโปรตีนเฟอร์ริทิน (ferritin) ที่จะเก็บสำรองสำหรับสะสมธาตุเหล็กไว้ในร่างกาย โดยเฟอร์ริทินจะถูกสะสมไว้ที่เซลล์เยื่อบุผิวของผนังลำไส้ ตับ ม้าม และไขกระดูก เมื่อร่างกายมีความต้องการธาตุเหล็กเฟอร์ริทินจะให้ธาตุเหล็กแก่ทรานส์เฟอร์ริน (transferrin) ที่เป็นโปรตีนในซีรัมของเลือด และทรานส์เฟอร์รินจะเป็นตัวพาธาตุเหล็กไปตามส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย เพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป ทฤษฎีนี้เรียกว่า mucosal block theory ธาตุเหล็กที่ไม่ถูกดูดซึมใน

ระบบทางเดินอาหารจะถูกขับออกจากร่างกายทางมูล ส่วนธาตุเหล็กที่ถูกดูดซึมแล้วสัตว์นำไปใช้ประโยชน์ไม่หมดจะถูกขับออกจากร่างกายทางปัสสาวะ

หน้าที่ของเหล็ก ธาตุเหล็กมีหน้าที่เป็นตัวพาออกซิเจนไปพร้อมกับเม็ดเลือดแดงเพื่อส่งออกซิเจนให้แก่เซลล์ต่างๆ ในร่างกาย เนื่องจากธาตุเหล็กเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของฮีโมโกลบิน ธาตุเหล็กที่เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์จะทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการเมตาโบลิซึมของพลังงาน

อาการของสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ขาดธาตุเหล็ก

การขาดธาตุเหล็กจะทำให้เกิดโรคโลหิตจาง (anaemia) ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง ปัญหาการขาดธาตุเหล็กมีโอกาสเกิดได้น้อยกว่าสัตว์ชนิดอื่น โดยเฉพาะในลูกสัตว์เคี้ยวเอื้องเนื่องจากในการเลี้ยงเลี้ยงโค จะมีการเสริมอาหารข้นและหญ้าสดร่วมกับการให้นมสดหรืออาหารแทนนม เพื่อกระตุ้นการพัฒนาของระบบทางเดินอาหาร กรณีการเกิดโรคโลหิตจางในสัตว์เคี้ยวเอื้องส่วนใหญ่เกิดขึ้นเนื่องจากการติดเชื้อโดยการดูดกินเลือดของแมลงหรือพยาธิภายในซึ่งมีผลกระทบต่อเมตาโบลิซึมของธาตุเหล็ก

ทองแดง (Copper, Cu)

ทองแดงเป็นธาตุที่ร่างกายสะสมไว้ที่ตับ ไต หัวใจ สมอง ฝมและขน เป็นต้น ธาตุทองแดงในร่างกายมีความสัมพันธ์กับธาตุโมลิบดีนัม และกำมะถัน ในอาหารสัตว์โดยทั่วไปมีธาตุทองแดงเพียงพอสำหรับความต้องการของสัตว์ เมล็ดพืชและผลพลอยได้จากพืชเป็นแหล่งของธาตุทองแดงที่สำคัญในทางอาหารสัตว์ พืชอาหารสัตว์เป็นแหล่งของธาตุทองแดงเช่นกัน ปริมาณทองแดงในพืชอาหารสัตว์จะผันแปรไปขึ้นกับพื้นที่ปลูกและสภาพของการให้น้ำ เป็นต้น การเสริมทองแดงในทางอาหารสัตว์อาจเสริมในรูปของคอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO_4) หรือคอปเปอร์ออกไซด์ (CuO)

หน้าที่ของทองแดง หน้าที่สำคัญของธาตุทองแดง คือ มีความสำคัญในการสร้างฮีโมโกลบินเกี่ยวกับการเจริญเติบโตเต็มวัยของเม็ดเลือดแดง ทำให้การหมุนเวียนของเลือดเป็นปกติ เกี่ยวข้องกับการสร้างสี (pigment) pigmentation และ keratinization ในขนและผม และทำหน้าที่ในการกระตุ้นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับขบวนการเมตาโบลิซึมของธาตุเหล็ก เมลานิน (melanin) เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน การทำงานของระบบประสาทส่วนกลาง (central nervous system) และการสร้างโปรตีนที่มีทองแดงเป็นองค์ประกอบ คือ เอนไซม์ต่างๆ ได้แก่ cytochrom oxidase, tyrosinase, ceruloplasmin, galactose oxidase, uricase, dihydroxyphenylalanine-amine-B-hydrolase, diamine oxidase, monoamine oxidase, benzylamine oxidase, xanthine oxidase และอื่นๆที่ทำหน้าที่ในระบบเอนไซม์ โดยเอนไซม์เหล่านี้เกี่ยวข้องกับกระบวนการรีดอกซ์ในช่วงต้นของกระบวนการหายใจของเนื้อเยื่อ และในหลายกรณี ทองแดงทำหน้าที่ในการส่งผ่านอิเล็กตรอนและในบางกรณีทำหน้าที่อำนวยความสะดวกในการสร้าง enzyme-substrate complexes และทำให้เกิดความไม่คงตัวของโครงสร้างของ tertiary enzyme

อาการของสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ขาดธาตุทองแดง

การขาดธาตุทองแดงมีผลให้เกิดโรคโลหิตจางแบบ hypochromic macrocytic anemia ในโค และแกะ เนื่องจากการขาดธาตุทองแดงจะมีผลต่อ เมตาโบลิซึมของธาตุเหล็กทำให้การดูดซึมธาตุเหล็กลดลง ยังผลให้เม็ดเลือดแดงมีฮีโมโกลบินน้อยเกินไป ในลูกโคอาจมีอาการเป็นอัมพาตที่ขาหลังเนื่องจากระบบประสาททำงานผิดปกติ เรียกว่า swayback ในสัตว์ให้ขน เช่น แกะ การขาดธาตุทองแดงทำให้ขนมีคุณภาพต่ำ และมีสีที่ผิดปกติไป

สังกะสี (Zinc, Zn)

สังกะสีเป็นธาตุที่พบได้ทั่วไปในเนื้อเยื่อทุกส่วนของร่างกายบริเวณที่พบมาก คือ ตับ ไต กระดูก กล้ามเนื้อ ตา ตับอ่อน ต่อมน้ำกาม ผิวหนัง และขน ในทางอาหารสัตว์จะพบสังกะสีมากในรำข้าว เมล็ดธัญพืช และในยีสต์ การเสริมธาตุสังกะสีในทางอาหารสัตว์ส่วนใหญ่จะเสริมในรูปของสังกะสีออกไซด์ (ZnO) และ สังกะสีซัลเฟต (ZnSO₄)

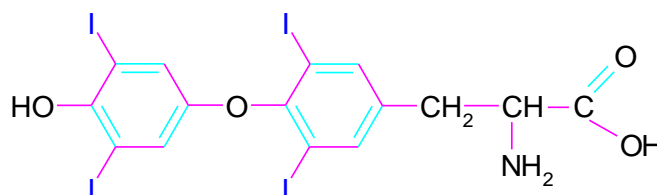
หน้าที่ของสังกะสี สังกะสีมีบทบาทสำคัญในการทำงานต่างๆ ของร่างกาย ที่มีผลต่อการเจริญเติบโต การเจริญพัฒนาหน้าที่ทางระบบพันธุกรรม การสร้างกระดูกและเลือด รวมทั้งกระบวนการเมแทบอลิซึมของ กรดนิวคลีอิก โปรตีน ไขมันและคาร์โบไฮเดรต โดยสังกะสีทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบของ เอนไซม์และตัวกระตุ้นของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น เนื่องจากสังกะสีเป็นแร่ธาตุประจวบที่จำเป็นจึงสามารถทำหน้าที่ในการกระตุ้นเอนไซม์ uricase, dipeptidase of intestinal juice และเอนไซม์ตัวอื่นๆ นอกจากนี้ สังกะสีมีการจับกับ nucleotide เป็นสารประกอบเชิงซ้อน แต่ไม่คงตัวเท่ากับจับกับกรดอะมิโน ซึ่งสังกะสีก็จะเกี่ยวข้องกับการรักษาสภาพของRNA ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีนและส่งถ่ายรหัสพันธุกรรม นอกจากนี้เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์หลายชนิดที่เกี่ยวข้องกับการเมตาบอลิซึมของ คาร์โบไฮเดรตและโปรตีน เช่น เอนไซม์คาร์บอนิกแอนไฮเดรส (carbonic anhydrase) เอนไซม์คาร์บอกซิเปปติเดสเอ และ บี (carboxypeptidase A, B) เอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเทส (alkaline phosphatase) และเอนไซม์กลูตามิกแอนไฮเดรส (glutamic anhydrase) นอกจากนี้ยังมีความสำคัญเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของขน และผิวหนัง เป็นต้น

อาการของสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ขาดธาตุสังกะสี

อาการขาดธาตุสังกะสีในสัตว์เคี้ยวเอื้อง จะมีผลให้สัตว์เกิดอาการเบื่ออาหาร กินอาหารได้น้อย อัตราการเจริญเติบโตลดลง นอกจากนี้อาการที่สังเกตเห็นได้ชัด คือ อาการผิดปกติของขนและผิวหนัง ตามส่วนต่างๆ ของร่างกายเช่น โคนหาง หู ข่า จมูก ลำคอ และขาหลัง จะมีขนร่วงเป็นหย่อม ๆ คล้ายกับอาการโรคซีเรื้อนที่ผิวหนัง เรียกว่า parakeratosis ในกรณีที่ไม่อาหารขาดธาตุสังกะสีการเสริมสังกะสีในรูปสังกะสีออกไซด์ หรือสังกะสีซัลเฟตสามารถทำได้แต่ต้องคำนึงถึงปริมาณแคลเซียมในอาหารด้วย ถ้าปริมาณแคลเซียมในอาหารสูงปริมาณธาตุสังกะสีต้องสูงตามไปด้วย อาจพบอาการเป็นพิษเนื่องจากสัตว์ได้รับธาตุสังกะสีมากเกินไป ทำให้สัตว์แสดงอาการของโรคโลหิตจาง เนื่องจากขาดธาตุทองแดงและเหล็กไปด้วย

ไอโอดีน (Iodine, I)

ไอโอดีนเป็นธาตุที่ร่างกายเก็บสะสมไว้ที่ต่อมไทรอยด์ (thyroid gland) เป็นส่วนใหญ่ โดยจะอยู่ในรูปของ diiodotyrosine ที่เปลี่ยนมาจากกรดอะมิโนไทโรซีนและเป็นสารตั้งต้นของฮอร์โมนไทรอกซิน (thyroxine)



ภาพที่ 5.2 โครงสร้างของฮอร์โมนไทรอกซิน
ที่มา : Pond และคณะ. (1998)

หน้าที่ของไอโอดีนในร่างกายสัตว์ที่สำคัญ คือ เป็นองค์ประกอบของไทรอยด์ฮอร์โมน (thyroid hormone) คือ thyroxin และ tri-iodothyronine ซึ่งไทรอยด์ฮอร์โมนมีบทบาทที่สำคัญในกระบวนการเมแทบอลิซึมของพลังงานและการสังเคราะห์โปรตีนในเซลล์ โดย tri-iodothyronine ไปกระตุ้นให้เกิดการสังเคราะห์เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับเมแทบอลิซึมของพลังงาน ด้วยเหตุนี้ tri-iodothyronine จึงมีความเกี่ยวข้องที่ใกล้ชิดกับการผลิตความร้อนและออกซิเจน ไทรอยด์ฮอร์โมนมีความสำคัญต่อการเจริญและพัฒนาของฟัตัส (foetus) เช่นการเจริญพัฒนาของสมอง ปอดและหัวใจ นอกจากนี้ไทรอยด์ฮอร์โมนยังทำหน้าที่ร่วมกับ cortisol ในการกระตุ้นให้เซลล์ใน alveoli ในปอดและสามารถกระตุ้นให้เกิดการสร้าง surfactant ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเกิดการพัฒนาที่เต็มที่ของปอด ที่มีผลต่อความอยู่รอดของลูกสัตว์ที่เกิดใหม่

แหล่งของไอโอดีนที่สำคัญทางอาหารสัตว์ คือ ปลาปน และผลพลอยได้จากทะเล เช่น สาหร่ายทะเลในพืชอาหารสัตว์จะมีปริมาณไอโอดีนอยู่มากหรือน้อยขึ้นกับสภาพพื้นที่ว่าในดินมีไอโอดีนมากหรือน้อยเพียงใด การเสริมธาตุไอโอดีนในอาหารสัตว์สามารถทำได้โดยเสริมไอโอดีนในรูปของโซเดียมหรือโพแตสเซียมไอโอไดด์ เป็นต้น

อาการของสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ขาดธาตุไอโอดีน

อาการขาดธาตุไอโอดีนจะมีผลให้ปริมาณฮอร์โมนไทรอกซินลดลง และอัตราการเมตาโบลิซึมของโภชนะในอาหารลดลง ขนาดของต่อมไทรอยด์จะเพิ่มขึ้น ในโคสาวจะมีผลให้การเป็นสัดผิดปกติและมีอัตราการผสมติดต่ำ ในแม่โคที่ตั้งท้องขาดไอโอดีนทำให้อายุครรภ์อ่อนแอ มีผิวหนังหนา บวมทั้งตัวและไม่มีขน ส่วนใหญ่ลูกสัตว์มักจะตายขณะคลอด

โมลิบดีนัม (Molybdenum, Mo)

โมลิบดีนัมเป็นธาตุที่มีความจำเป็นสำหรับพืช แต่ในทางอาหารสัตว์มักจะกล่าวถึงการเป็นพิษของธาตุโมลิบดีนัมมากกว่า เนื่องจากการเป็นพิษของโมลิบดีนัมถ้ามีมากเกินไปจะทำให้สัตว์เกิดอาการท้องร่วงหรือท้องเสียอย่างรุนแรง อาการเป็นพิษของโมลิบดีนัมจะแสดงออกมากขึ้น ถ้าในอาหารมีระดับของธาตุทองแดงต่ำ โดยทั่วไปแหล่งของโมลิบดีนัมมีอยู่อย่างเพียงพอในทางอาหารสัตว์ อาการผิดปกติเนื่องจากขาดธาตุโมลิบดีนัมจึงมักไม่ปรากฏให้เห็น แต่มีรายงานการทดลองพบว่าการเสริมธาตุโมลิบดีนัมจะทำให้การย่อยได้ของเซลลูโลสในกระเพาะรูเมนสูงขึ้น

หน้าที่ของโมลิบดีนัม ได้แก่ การเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ที่มีความสำคัญในการเมตาโบลิซึมของพิวรีน (purine) คือ เอนไซม์แอกซิดอกซีเดส (xanthine oxidase) นอกจากนี้ยังเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ไนเตรดรีดักเตส (nitrate reductase) และเอนไซม์ดีไฮโดรจีเนสของแบคทีเรีย (bacterial dehydrogenase) นอกจากนี้ยังเกี่ยวกับการเกิดกระบวนการรีดักชันของ ferric ion (Fe^{3+}) เป็น ferrous ion (Fe^{2+}) เพื่อให้เกิดการสะสมเหล็กในเนื้อเยื่อในรูปของ ferritin และ hemosiderin

โคบอลท์ (Cobalt, Co)

โคบอลท์เป็นธาตุที่เป็นส่วนประกอบของวิตามิน B₁₂ ซึ่งสังเคราะห์ได้โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนซึ่งวิตามิน B₁₂ มีความสำคัญต่อการเมตาโบลิซึมของสัตว์เคี้ยวเอื้องด้วย โดยเฉพาะที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในสัตว์เคี้ยวเอื้องที่เกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์ของกรดโพธิโอนิก ดังนั้นการขาดธาตุ โคบอลท์ก็จะมีผลให้สัตว์ขาดวิตามิน B₁₂ ด้วย แหล่งของ โคบอลท์ที่ในอาหารสัตว์มีอยู่อย่างเพียงพอในธรรมชาติไม่จำเป็นต้องเสริมในอาหาร แต่หากต้องการเสริม โคบอลท์ในอาหารเพื่อป้องกันการขาดวิตามิน B₁₂ ในสัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถทำได้โดยการเสริมเกลือของธาตุโคบอลท์ในรูป โคบอลท์ซัลเฟต (cobalt sulfate)

หน้าที่ของโคบอลท์ หน้าที่ของธาตุโคบอลท์ คือ เป็นส่วนประกอบของวิตามิน B₁₂ และช่วยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์บางชนิด เช่น arginase, glycine-glycyl-dipeptidase, carboanhydrase aldlase, oxalylsuccinic acid decarboxylase, deoxyribonuclease เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตาม เอนไซม์เหล่านี้อาจมีแร่ธาตุตัวอื่นๆ มากกระตุ้นการทำงานได้เช่นเดียวกัน

อาการของสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ขาดธาตุโคบอลท์

สัตว์เคี้ยวเอื้องที่มีอาการขาดธาตุ โคบอลท์เนื่องจากได้รับจากอาหารไม่เพียงพอจะทำให้กินอาหารลดลง น้ำหนักตัวลดลง ผอมแห้ง และเป็นโรคโลหิตจางร่วมด้วย อาจตายได้ในที่สุด

ซีลีเนียม (Selenium, Se)

ซีลีเนียมเป็นธาตุที่มีความสัมพันธ์กับวิตามินอี เนื่องจากสามารถทำหน้าที่แทนวิตามินอีได้ ซีลีเนียม เป็นแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต และความสมบูรณ์พันธุ์ในสัตว์ มีผลต่อการป้องกันโรคหลายชนิดที่มีความเกี่ยวข้องกับความชองกับวิตามิน อี

หน้าที่ของซีลีเนียม เกี่ยวข้องการเป็นสารป้องกันการเหม็นหืนของไขมัน (rancidity) ที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติ ซีลีเนียม ที่มีบทบาทในการป้องกันโรคส่วนมากอยู่ในรูป glutathione peroxidase (GSH-PX) ซึ่งมีซีลีเนียมประกอบอยู่ 4 atom Se/mole โดย GSH-PX จะไปมีผลต่อการลด H₂O₂ และ hydroperoxides ที่เกิดขึ้น ดังนั้นบทบาทของซีลีเนียมมีผลต่อการป้องกันเซลล์ถูกทำลายซึ่งหน้าที่ของซีลีเนียมที่มีส่วนสัมพันธ์กับวิตามินอี คือ ทำหน้าที่เป็นสาร antioxidant แต่วิตามิน อี มีหน้าที่ในผนังเซลล์ โดยเป็น specific lipid- soluble antioxidant ส่วนซีลีเนียมเป็นองค์ประกอบของ cytosolic GSH-PX ในการกำจัด peroxides ด้วย เหตุนี้ GSH-PX จึงเป็นตัวแรกที่มีบทบาทป้องกันการทำลายเซลล์ของ peroxides ขณะที่วิตามินอี มีบทบาทในผนังเซลล์ที่ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ของไขมัน

ในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้องซีลีเนียมสามารถถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ประโยชน์ในการสังเคราะห์สารประกอบที่มีคุณสมบัติคล้ายกับกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบได้นอกจากนี้ยังมีหน้าที่ในการช่วยการดูดซึมของไขมันในลำไส้อีกด้วย

อาการของสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ขาดธาตุซีลีเนียม

อาการขาดซีลีเนียมในสัตว์เคี้ยวเอื้อง ส่วนใหญ่การขาดซีลีเนียมจะทำให้เกิดโรค nutritional muscular dystrophy หรือโรคที่ทำให้กล้ามเนื้อลายมีสีซีดและแห้งเหี่ยว ข้อขาของสัตว์เดินไม่สะดวก โรคนี้เกิดขึ้นกับลูกโคอายุระหว่าง 4-6 สัปดาห์ และลูกแกะอายุระหว่าง 3-4 สัปดาห์

กรณีของสัตว์ที่ได้รับซิลิเนียมมากเกินไปจะทำให้สัตว์เกิดอาการ ขนร่วง ผอมแห้ง เชื่องช้า ตาลืมไม่ขึ้น เดินโซเซเป็นวงกลม ไม่อยากกินอาหาร เป็นอัมพาตและตายในที่สุดเรียกว่า เกิดอาการ blind stagger ซึ่งมักเกิดกับสัตว์ที่กินซิลิเนียมในรูปของสารอินทรีย์มากเกินไป

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุ

1) แร่ธาตุที่มีการส่งเสริมซึ่งกันและกัน

ในทางเดินอาหาร

1.1 ปฏิสัมพันธ์โดยตรงระหว่างแร่ธาตุ ได้แก่ Ca และ P, Zn กับ Mo โดยมีผลต่อระดับการดูดซึม

1.2 กิจกรรมของเอนไซม์สำหรับย่อยอาหาร ได้แก่ ผลของ P, Zn และ Co ทำให้เกิดการละลายอาหารการดูดซึมของแร่ธาตุ

1.3 ปฏิสัมพันธ์อ้อมระหว่างแร่ธาตุในการกระตุ้นกิจกรรม และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ได้แก่ กระตุ้นกิจกรรมของจุลินทรีย์

ในระดับเนื้อเยื่อและเซลล์

1.4 ปฏิสัมพันธ์โดยตรงระหว่างแร่ธาตุในโครงสร้างในร่างกาย ได้แก่ Ca กับ P ในการสร้างกระดูก, Fe และ Cu ร่วมในการสร้าง Haemoglobin, Mn กับ Zn ในการสร้างโมเลกุลของ RNA ในตับ

1.5 กระตุ้นให้เกิดการทำงานของแร่ธาตุที่อยู่ในศูนย์การทำงาน ได้แก่ Cu กับ Fe ใน cytochrome oxidase

1.6 กระตุ้นของระบบเอนไซม์ ได้แก่ P และ S ในการสังเคราะห์ในลำดับต่อไป

2) แร่ธาตุที่มีการขัดขวางกัน

ในทางเดินอาหาร

2.1 เกิดปฏิกิริยาอย่างง่ายระหว่างแร่ธาตุ ได้แก่ เกิดการจับกันเป็นเกลือของ Ca-P-Ca ในกรณีที่มี Ca สูงในอาหาร

2.2 เกิดการดูดซับบนผิวของสารแขวนลอย ได้แก่ เกิดการยึดของแมงกานีสกับเหล็กกับเกลือ

2.3 เกิดการแย่งจับสารประกอบที่เป็นตัวพาในทางเดินอาหารระหว่าง Co กับ Fe

ในระดับเนื้อเยื่อ

2.4 เกิดปฏิสัมพันธ์ในรูปของอออนอนินทรีย์ ได้แก่ ทองแดงกับโมลิบดีนัม

2.5 กระตุ้นโดยอออนจากระบบเอนไซม์ทำให้มีหน้าที่ต่างกัน ได้แก่ ทองแดง, สังกะสี

2.6 ลดความเป็นพิษของแร่ธาตุโลหะหนักที่มีอยู่ในอาหาร ได้แก่ ทองแดง ลดความเข้มข้นของตะกั่วในร่างกายและรวมถึงสังกะสีและแมงกานีส

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุกับโภชนาการอื่น ๆ

1) Vitamin D มีผลต่อการดูดซึม Ca, P, Mg, Zn

2) ไขมัน มีผลต่อการดูดซึมของ Mg และ Ca

3) ระดับโปรตีน และแหล่งพลังงานของโปรตีน มีผลต่อการใช้ประโยชน์ของ P, Mg, Zn และ Cu ในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง, สุกร และสัตว์ปีก

4) สารประกอบเชิงซ้อนคือ สารคีเลต บางครั้งช่วยเพิ่มการดูดซึมของแร่ธาตุในทางเดินอาหาร แต่บางครั้งจะยับยั้งการดูดซึมแร่ธาตุในทางเดินอาหาร

วิตามิน (Vitamins)

วิตามินเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีอยู่ในปริมาณที่น้อยมากในอาหาร แต่มีความสำคัญต่อการเจริญของเนื้อเยื่อ การเจริญเติบโต การสืบพันธุ์ สุขภาพ และการอยู่รอดของสัตว์ ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง วิตามินบางชนิดสามารถถูกสังเคราะห์ได้โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนและในบริเวณลำไส้ใหญ่ วิตามินที่จุลินทรีย์สังเคราะห์ขึ้นมาได้ส่วนใหญ่เป็นกลุ่มของวิตามินที่ละลายได้ในน้ำ (water soluble vitamin) ได้แก่ วิตามินบีชนิดต่างๆ วิตามินที่ละลายได้ในไขมัน (fat soluble vitamin) ที่สามารถสังเคราะห์ได้ในกระเพาะรูเมน คือ วิตามินเค วิตามินที่จุลินทรีย์ภายในกระเพาะรูเมนไม่สามารถสังเคราะห์ได้ และจำเป็นต้องมีการเสริมในอาหาร เพื่อสัตว์จะได้นำไปใช้ประโยชน์ต่อร่างกาย คือ วิตามินในกลุ่มที่ละลายได้ในไขมัน คือ วิตามินเอ วิตามินดี และวิตามินอี เป็นต้น สำหรับการเลี้ยงโค ปัญหาการขาดวิตามินไม่ใช่ปัญหาใหญ่เนื่องจากโคมักจะไม่ได้แสดงอาการขาดวิตามินในสภาพการให้อาหารปกติ แต่อาจพบการขาดวิตามินในช่วงฤดูแล้งได้เนื่องจากขาดอาหารหยาดสด เป็นต้น

การจำแนกประเภทของวิตามินสามารถใช้คุณสมบัติในการละลายเป็นหลักในการแบ่งประเภทวิตามินเป็น 2 ประเภท คือ

1. วิตามินที่ละลายได้ในไขมัน คือ วิตามินเอ ดี อี และ เค ซึ่งในธรรมชาติมักจะพบอยู่ร่วมกับไขมันในวัตถุดิบอาหารสัตว์ การดูดซึมวิตามินดังกล่าวจึงมีลักษณะคล้ายกับการดูดซึมไขมันคือ ต้องอาศัยน้ำดีช่วยในการดูดซึม วิตามินในกลุ่มนี้สามารถสะสมในเนื้อเยื่อต่างๆ ได้และไม่ถูกขับออกจากร่างกาย แต่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้เมื่อมีการขาดวิตามินในร่างกาย

2. วิตามินที่ละลายได้ในน้ำ ได้แก่ วิตามินซี (ascorbic acid, C) วิตามินบีรวม (vitamin B complex) ได้แก่ วิตามิน B1 (thiamin) B2 (riboflavin) B6 (pyridoxine) B12 (cobalamin), biotin, choline, folic acid, niacin, pantothenic acid เป็นต้น ในสัตว์เคี้ยวเอื้องโดยทั่วไปจะได้รับวิตามินเพียงพอจากการสังเคราะห์ของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนและลำไส้ใหญ่ จึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องเสริมในสูตรอาหาร

การที่จะเสริมวิตามินลงในอาหารปริมาณเท่าใด ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ คือ

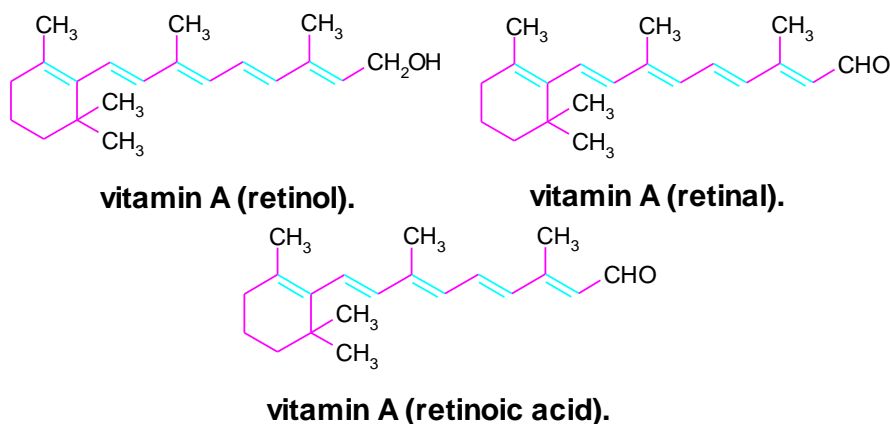
1. ขนาดและอายุของสัตว์ ในสัตว์ที่มีขนาดและอายุมากขึ้นจะต้องการวิตามินในระดับที่มากขึ้นด้วย
2. อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม สัตว์เลี้ยงในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงเกินกว่าความต้องการของร่างกาย ทำให้สัตว์กินอาหารได้น้อยลง หายใจหอบ อุณหภูมิร่างกายสูงขึ้น และในสภาพที่มีอุณหภูมิต่ำเกินไป สัตว์อยู่ในสภาพเครียด ต่อมหมวกไต (adrenal gland) ขยายขนาด มี Metabolic rate สูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงในร่างกายสัตว์เมื่อได้รับอุณหภูมิสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมนี้ อาจทำให้สัตว์มีความต้องการโภชนาบางอย่างในอาหารเปลี่ยนแปลงไปเพื่อใช้ในการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมนั้นได้ วิตามินในอาหารสัตว์อาจจะเปลี่ยนแปลงไปเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ฉะนั้น เราต้องพิจารณาเพิ่มหรือลดวิตามินในอาหารด้วย

3. ระดับโรคของฝูงสัตว์ที่เราเลี้ยง การเพิ่มวิตามินในขณะที่มีอาการของโรคจะช่วยให้สร้างภูมิคุ้มกันของเนื้อเยื่อ เช่น พวก mucous membrane หรือ mucous epithelium cell ทำให้ป้องกันการติดเชื้อจากพวกแบคทีเรียได้

4. ระดับโปรตีนและพลังงานในอาหาร การเพิ่มระดับโปรตีนหรือพลังงานในอาหาร ควรที่จะพิจารณาความต้องการวิตามินของสัตว์ด้วย วิตามินที่ต้องคำนึงถึงได้แก่ วิตามิน A B₆ และ B₁₂ เนื่องจากเมื่อระดับโปรตีนสูงขึ้นจะทำให้วิตามินที่สะสมในตับลดน้อยลง แต่วิตามินใน plasma จะสูงขึ้น ระดับโปรตีนที่ต่ำในสูตรอาหารจะทำให้สัตว์มีอัตราการเจริญเติบโตลดลง และความต้องการวิตามินจะเพิ่มขึ้น พบว่าโปรตีนและวิตามินมีความสัมพันธ์กันในทางบวก

วิตามินเอ (Vitamin A)

วิตามินเอพบมากในน้ำมันตับปลา ในปลาปน เนื้อสัตว์ นม และไข่แดง แต่ไม่พบ วิตามินเอในเนื้อเยื่อของพืช ส่วนใหญ่จะพบในรูปโปรวิตามินเอ (provitamin A) พวกแคโรทีนอยด์ (carotenoids) ในกลุ่มของเบต้าแคโรทีน (β -carotene) ที่สามารถถูกเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ เมื่อถูกย่อยโดยเอนไซม์ในร่างกายสัตว์ (บริเวณผนังลำไส้และเซลล์) สัตว์จะได้รับเบต้าแคโรทีนจากพืชอาหารสัตว์ และใบกระถิน เป็นต้น วิตามินเอมีชื่อทางเคมีว่า เรตินอล (retinol) มีลักษณะโครงสร้างเป็นพวก unsaturated monohydric alcohol (สูตรโครงสร้างแสดงในภาพที่ 5.3) สามารถพบในรูปอิสระได้ 3 รูปแบบ คือ vitamin A alcohol (retinol) และ vitamin A aldehyde (retinal) และ vitamin A acid (retinoic acid) นอกจากนี้อาจพบวิตามินเอสังเคราะห์ในรูปวิตามินเอ อะเซทเตท และวิตามินเอ ปาล์มมีเตท เป็นต้น โคทุกขนาดน้ำหนักจำเป็นที่จะต้องได้วิตามินเออย่างพอเพียง เนื่องจากจำเป็นต่อการเจริญเติบโต และทำให้สัตว์มีสุขภาพดี ปกติจะพบวิตามินเอ 1 ในเนื้อเยื่อของสัตว์ทะเลและปลาทะเล ส่วนวิตามินเอ 2 จะพบในสัตว์และปลาน้ำจืด (วิตามินเอ 1 และเอ 2 ต่างกันที่พันธะคู่ที่ต่างกัน 1 คู่) ในเซลล์พืชไม่มีวิตามินเอ แต่จะมีสารพวกแคโรทีนอยด์ (carotenoid) ที่เป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ เช่น เอลฟา, แกมมา และ เบต้า แคโรทีนอยด์ และสารพวก คริปโตแซนทิน (cryptoxanthine) เมื่อสารเหล่านี้เข้าไปในลำไส้จะถูกเปลี่ยนให้เป็นวิตามินเอได้ โดยเฉพาะ เบต้าแคโรทีน 1 โมเลกุล สามารถถูกเปลี่ยนให้เป็นวิตามินเอได้ 2 โมเลกุล



ภาพที่ 5.3 โครงสร้างของวิตามิน A

ที่มา : มนตรี และคณะ. (2542)

หน้าที่ของวิตามินเอ วิตามินเอมีหน้าที่สำคัญเกี่ยวข้องกับการมองเห็น เนื่องจากวิตามินเอจะไปทำ ปฏิกิริยากับโปรตีนอ็อปซิน (opsin) สร้างเป็นสารที่ช่วยในการมองเห็น คือ โรดอปซิน (rhodopsin) นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการเสริมสร้างความแข็งแรงแก่เซลล์เยื่อทางเดินอาหาร เซลล์เยื่อทางเดินหายใจ อวัยวะสืบพันธุ์และเนื้อเยื่อรอบลูกตา เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตโดยการเร่งการขยายตัวของเซลล์และเร่งการแบ่งเซลล์ อีกทั้งยังมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการเจริญของกระดูกอ่อน ทำให้การสร้าง กระดูกเป็นไปอย่างปกติ นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับการทำงานของไต การสังเคราะห์กลูโคสและโปรตีนในร่างกายด้วย

การขาดวิตามินเอในโค ส่วนใหญ่มักเกิดการขาดในลูกโค มากกว่าในโคมีภาวะแพะมีการพัฒนาแล้ว การขาดวิตามินในลูกโคเกิดจากการที่ได้รับวิตามินเอไม่เพียงพอ ตั้งแต่อยู่ในท้องแม่เรื่อยมา จนถึงระยะก่อนหย่านม ลูกโคที่ขาดวิตามินเอจะแสดงอาการไม่กินอาหาร ท้องร่วง ขนหยิก ชูบผอม ตา และ และตามองไม่ค่อยเห็น เนื่องจากขาดสารโรดอปซิน ที่ช่วยในการมองเห็นในที่ไม่ค่อยมีแสงสว่าง ป้องกันอาการตาบอดกลางคืน (night blindness) และช่วยป้องกันตาบวมอักเสบได้ (xerophthalmia) ในโคที่เลี้ยงซึ่งคอกมีอากาศเกิดปัญหาการขาดวิตามินเอได้ เมื่อโรดอปซินเข้ารวมกับเซลล์ (rod cell) ที่เรตินาของจอตา แต่โคที่เลี้ยงปล่อยทุ่งไม่ค่อยมีปัญหาดังกล่าว ในโคที่โตแล้วสามารถเกิดการขาดวิตามินเอได้จากสาเหตุคือการได้รับวิตามินเอหรือแคโรทีนจากอาหารไม่เพียงพอ หรือมีปัญหาเกี่ยวกับการย่อย การดูดซึมและการเมตาบอลิซึมของวิตามินเอในร่างกาย เป็นต้น

อาการของสัตว์ที่ขาดวิตามินเอ

อาการขาดวิตามินเอเกิดขึ้นได้ในโคทุกระยะการเจริญเติบโต ทุกขนาด และอายุ ส่วนใหญ่เกิดจากการได้รับอาหารที่มีแคโรทีนน้อยไม่เพียงพอต่อความต้องการ หรือได้รับวิตามินเอไม่เพียงพอ อาการที่สำคัญของการขาดวิตามินเอ คือ

1. โรคตาบอดกลางคืน (night blindness) เกิดจากโคไม่สามารถสร้างโรดอปซิน หรือสาร ที่เกี่ยวข้องกับการมองเห็น (visual purple) ในตาได้อย่างเพียงพอเพราะการขาดวิตามินเอ (visual purple เป็นสารประกอบที่มีวิตามินเอ และโปรตีน) ในลูกโคถ้าเป็นโรคตาบอดกลางคืนแล้วไม่ได้รับการรักษา อาจทำให้เกิดตาบอดอย่างถาวรได้ เนื่องจากเส้นประสาทตา (optic nerve) จะถูกทำลาย นอกจากนี้การเจริญของกระดูกรอบๆ ตา (optic foransia) จะเกิดการผิดปกติ ในที่สุดอาจเกิดการตายของเนื้อเยื่อหรือกลุ่มของเซลล์ที่เส้นประสาทตา (optic nerve) โคที่เป็นโรคตาบอดกลางคืนไม่สามารถจะมองเห็นได้ในที่สลัวๆ หรือในเวลาพลบค่ำ

2. โรคตาอักเสบ (xerophthalmia) เป็นโรคที่เกิดกับลูกโคที่ขาดวิตามินเอ อาการที่ตรวจพบคือ ส่วนกระจกตา (cornea) เป็นฝ้า แห้งและหนาผิดปกติ

3. การขาดวิตามินเอ จะทำให้เซลล์เยื่อต่างๆผิดปกติ เกิดสภาพที่มีลักษณะแข็งเป็นหนาม (keratinized) การผิดปกตินี้มักเกิดกับเยื่อผิวของเนื้อเยื่อที่เกี่ยวข้องกับการหลั่งของเหลว (secretory epithelial tissues)ตามระบบต่างๆของร่างกาย เช่นระบบหายใจ และระบบย่อยอาหาร เป็นต้น จึงทำให้เกิดอาการท้องเสีย หรือปอดบวมได้ง่าย ในลูกโคนอกจากอาการท้องร่วงและปอดบวมแล้วยังอาจเกิดการอุดตันของต่อมเหงื่อที่ผิวหนัง เนื่องจากมีเคอราติน (keratin) ไปอุดตันต่อมเหงื่อเรียกว่าการ follicular keratosis ผิวหนังจะมีลักษณะแห้ง ตกสะเก็ดรอบๆรูขุมขน มีอาการขนร่วงและหลุดร่วงง่าย

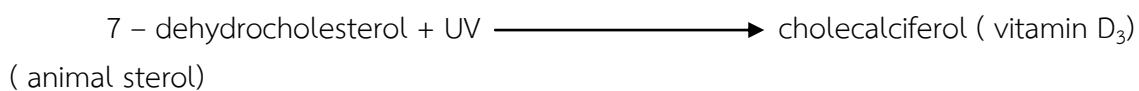
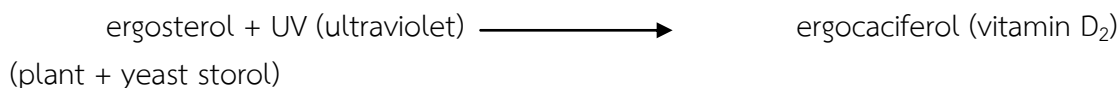
4. ลูกโคที่ขาดวิตามินเอ มักเกิดอาการชักกระตุกได้ง่าย หรือเกิดการเป็นลมบ่อยๆ เนื่องจากสมองมีเลือดไปเลี้ยงไม่พอเพราะความดันของของเหลวในสมองไม่สมดุล (cerebrospinal fluid)

5. การขาดวิตามินเอจะมีผลต่อการสร้างเซลล์สเปิร์ม (semen) เนื่องจากเซลล์เยื่อในส่วนของสร้างเซลล์อสุจิถูกทำลาย (seminiferous tubules) ในโคเพศเมียจะมีปัญหาการเสื่อมสภาพและแห้งมีผลให้เกิดการแท้งลูกได้ (abortion) มีปัญหาการค้ำ โคที่อยู่ในวัยเจริญเติบโตเช่นในโคสาว มีผลให้โตช้าถึงระยะวัยเจริญพันธุ์ช้าลง

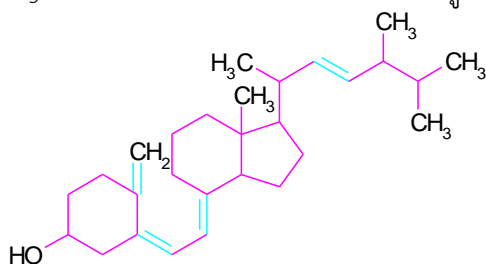
6. การขาดวิตามินเอมีผลให้เกิดการบวมตามขาและส่วนหน้าของร่างกาย ขาแข็งทื่อ เบื่ออาหาร มีอาการบวมหน้าและตายได้

วิตามินดี (Vitamin D)

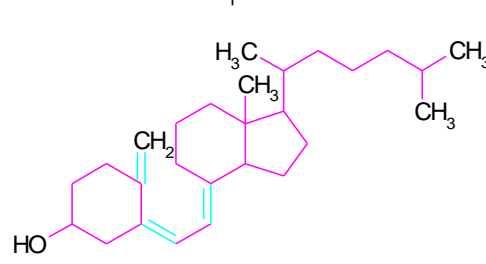
วิตามินดีที่มีความสำคัญทางอาหารสัตว์มีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด คือ วิตามิน D₂ (ergocalciferol) ซึ่งถูกสร้างมาจากพืชและเชื้อรา ส่วน วิตามิน D₃ (cholecalciferol) ถูกสร้างขึ้นที่ผิวหนังของสัตว์ ในโคสามารถใช้ได้ทั้งวิตามินดีที่มาจากพืชและสัตว์ แต่ในสุกรจะใช้วิตามิน D₃ ได้มีประสิทธิภาพมากกว่า D₂ ซึ่งตรงกันข้ามกับในสัตว์ปีก ดังแสดงในสมการ



แหล่งของวิตามินดีส่วนใหญ่ได้จากสัตว์ เช่น น้ำมันตับปลา ปลาบางชนิดและไข่แดง ในน้ำมันจะมีวิตามินดีน้อยกว่าในน้ำมันน้ำเหลืองถึง 6 เท่า ในพืชจะมีวิตามินดีอยู่น้อย การเสริมวิตามินให้แก่สัตว์อาจเสริมในอาหารหรือในรูปฉีดยาเข้ากล้ามเนื้อก็ได้ ส่วนใหญ่วิตามินดีให้จะอยู่ในรูป Vitamin D₃ หรือ AD₃ วิตามินดีที่มากเกินไปความต้องการจะถูกสะสมไว้ตามเนื้อเยื่อต่าง ๆ เช่น ในไข่แดง เป็นต้น



vitamin D₂ (ergocalciferol).



vitamin D₃ (cholecalciferol).

ภาพที่ 5.4 โครงสร้างของวิตามิน D

ที่มา : มนตรี และคณะ. (2542)

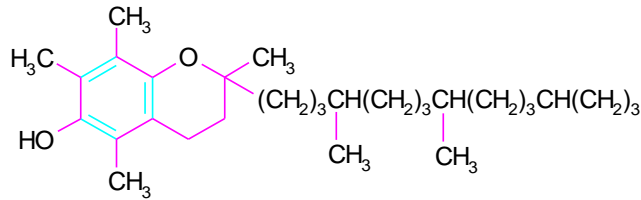
หน้าที่ของวิตามินดี วิตามินดีมีความสำคัญเกี่ยวข้องกับการดูดซึมแคลเซียมที่ผนังลำไส้ และเกี่ยวข้องกับการปลดปล่อยแคลเซียมที่สะสมออกจากไต

อาการของสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ขาดวิตามินดี

มักพบอาการขาดวิตามินดีในสัตว์ที่มีอายุน้อย ทำให้เกิดเป็นโรคกระดูกอ่อน (rickets) ในสัตว์ที่โตแล้วทำให้เกิดโรคกระดูกฝុ (osteomalasia) ซึ่งอาจมีสาเหตุร่วมจากการขาดแคลเซียมและฟอสฟอรัสด้วย

วิตามินอี (Vitamin E หรือ α - Tocopherol)

วิตามินอีมีโครงสร้างทางเคมีหลายรูปแบบแต่รูปแบบที่สำคัญในทางอาหารสัตว์ คือ α -tocopherol ที่อยู่ในรูปแอลกอฮอล์และวิตามินอีสังเคราะห์ที่ใช้ในอาหารสัตว์ คือ DL- α tocopherol ตามธรรมชาติวิตามินอีจะพบได้ในเมล็ดธัญพืชทุกชนิด ในน้ำมันที่สกัดได้จากพืช และในพืชใบเขียวทุกชนิดโดยในพืชอ่อนมีวิตามินอีสูงกว่าใบแก่ ในเมล็ดธัญพืชมีวิตามินอีสูง วิตามินอีในพืชจะสูญเสียไปเมื่อถูกความร้อน



vitamin E(α - tocopherol)

ภาพที่ 5.5 โครงสร้างของวิตามิน E
 ที่มา : มนตรี และคณะ. (2542)

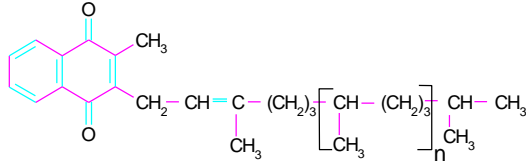
หน้าที่ของวิตามินอี ได้แก่ การทำหน้าที่เป็นสารกันเหินตามธรรมชาติ (antioxidant) โดยจะเป็นตัวให้อิโตรเจนอ็อกไซด์กับวิตามินอี และไขมัน ที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัว เพื่อป้องกันการเกิด peroxidation วิตามินอีมีหน้าที่ในการสร้างโปรตีนในส่วนของเมตาบอลิซึมกรดนิวคลีอิก (nucleic acid metabolism) เกี่ยวข้องกับการควบคุมการทำงานของต่อมไทรอยด์ ตับอ่อน ต่อมหมวกไต เกี่ยวข้องกับการพัฒนาของระบบสืบพันธุ์ เกี่ยวข้องกับการสร้างโคเอนไซม์ (coenzyme) การสร้างวิตามินซี เป็นส่วนประกอบของ cytochrome reductase ในขบวนการเมตาบอลิซึม การสร้างพรอสตาแกลนดิน (prostaglandin) และมีส่วนช่วยให้วิตามินอีใช้ประโยชน์ได้ดีขึ้น ทั้งในการดูดซึมและการสะสมวิตามินอี

อาการของสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ขาดวิตามินอี

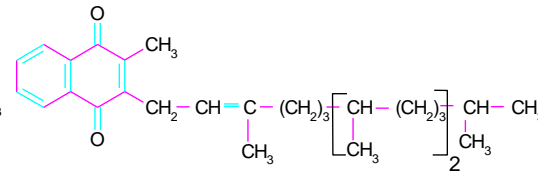
จากการขาดวิตามินอีในสัตว์ จะเกิดลักษณะ nutritional muscular dystrophy เป็นลักษณะการตายของกล้ามเนื้อลายและกล้ามเนื้อหัวใจ ทำให้กล้ามเนื้อไม่ทำงาน สัตว์เกิดเป็น อัมพาตได้ อาการนี้มักเกิดขึ้นได้ในลูกโค ลูกแกะ ในกรณีที่เป็นอย่างรุนแรงกล้ามเนื้อจะมีสีซีดจนขาว ส่วนกล้ามเนื้อคอ และกล้ามเนื้อขาจะแข็งเคลือบไหมไม่ได้ มีอาการหายใจติดขัดและตายได้ บางครั้งจึงเรียกโรคนี้ว่า white muscle disease ในลูกโคกรณีการเกิด white muscle disease จะเกิดกับลูกโคที่แม่โคได้รับหญ้าแห้งในระหว่างการตั้งท้องและไม่ได้รับอาหารขึ้นในช่วงหลังของการตั้งท้อง ในสัตว์ที่โตเต็มที่และได้รับวิตามินอีไม่เพียงพอต่อความต้องการเป็นเวลานาน ๆ จะทำให้เกิดการเป็นหมันแบบถาวรได้

วิตามินเค (Vitamin K หรือ Anti - haemorrhagic vitamin)

วิตามินเคมีโครงสร้างทางเคมีหลายรูปแบบ คือ vitamin K₁ หรือ phylloquinone พบมากในพืชสีเขียวและพวกอัลฟาฟา (alfafa) Vitamin K₂ หรือ mensquinone พบมากในปลาป่นและจุลินทรีย์บางชนิดที่อยู่ในระบบทางเดินอาหารสามารถสังเคราะห์ได้ vitamin K₃ หรือ menadione เป็นสารสังเคราะห์ที่ใช้เสริมอาหารสัตว์ โดยทั่วไปแหล่งของวิตามินเค คือ ในพืชสีเขียวทุกชนิด ปลาป่น จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนและในลำไส้ใหญ่



vitamin K₂ (mensquinone). n = 6 - 10



vitamin K (1,4-Naphthoquinone).

ภาพที่ 5.6 โครงสร้างของวิตามิน K

ที่มา : มนตรี และคณะ. (2542)

หน้าที่ของวิตามินเคได้แก่ การทำให้เกิดเลือดแข็งตัวหรือการทำให้เลือดหยุดไหล โดยมีความจำเป็นในการสร้างโปรตีนในเลือดคือ โปรทรอมบิน (Prothrombin) นอกจากนี้ยังมีหน้าที่ป้องกันการเลือดออกตามผิวหนังและกล้ามเนื้อ

อาการของสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ขาดวิตามินเค

ในสัตว์เคี้ยวเอื้องมักไม่ค่อยปรากฏอาการขาดวิตามินเค เนื่องจากได้รับวิตามินเคอย่างต่อเนื่อง จากการสังเคราะห์ของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร อาการขาดวิตามินเคอาจพบได้บ้าง โดยมีสาเหตุจากการได้รับสารประกอบบางชนิดที่ไปยับยั้งการสังเคราะห์โปรทรอมบิน

วิตามินที่ละลายในน้ำ จะถูกย่อยและดูดซึมเข้าสู่ร่างกายบริเวณลำไส้เล็กโดยมากที่ส่วนต้น และส่วนปลาย เช่น บี 12 ส่วนการดูดซึมเป็นได้ทั้งแบบใช้พลังงาน และไม่ใช้พลังงานเมื่อมีปริมาณสูง และถูกขนส่งออกสู่กระแสเลือดไปตามส่วนต่างๆ ของร่างกาย โดยมีโปรตีนตัวพา และเก็บสะสมไว้ที่ตับและกล้ามเนื้อ ม้าม หัวใจ และไต แต่น้อยมาก โดยมากไม่ค่อยเก็บสะสมจึงจำเป็นต้องได้รับจากอาหารทุกวัน ในปริมาณที่พอเหมาะ และจะถูกขับออกทางปัสสาวะถ้าได้รับมากเกินไป ความเป็นพิษมักไม่ค่อยพบ เพราะไม่มีการสะสมในร่างกาย แต่มักพบอาการขาดเนื่องจากได้รับจากอาหารไม่พอ และมักจะแสดงอาการออกมาเมื่อขาดเพราะไม่มีการสะสมในร่างกายนั่นเอง

วิตามินละลายในน้ำ จะละลายได้ดีในน้ำ และส่วนมากไม่ทนความร้อนและต่าง แต่จะทนความร้อนและเสถียรเมื่ออยู่ในสารละลายที่เป็นกรด

วิตามินที่ละลายในน้ำ วิตามินบีคอมเพลกซ์ ทุกตัวทำหน้าที่เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์โคเอนไซม์ ในปฏิกิริยาต่างๆ ในร่างกาย ยกเว้นวิตามินซี ทำหน้าที่ต่างจากตัวอื่นๆ คือเป็นปัจจัยร่วมในการสังเคราะห์โปรตีนคอลลาเจน พบมาที่เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน โดยทำหน้าที่เติมหมู่ไฮดรอกซิล แก่กรดอะมิโนโพรลีน และไลซีน ให้เป็น ไฮดรอกซีโพรลีน และ ไฮดรอกซีไลซีน

การทำงานร่วมกันระหว่างวิตามินอีและแร่ธาตุซีลีเนียม และมีความสำคัญต่อร่างกายสัตว์

ซีลีเนียม เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ Glutathione peroxidase ซึ่งป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระ ในเซลล์เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ Iodothyronine deiodinase ใช้ในการสลายฮอร์โมนไทรอยด์

Glutathione peroxidase

เป็นเอนไซม์ในปฏิกิริยาทำลายสารประกอบเปอร์ออกไซด์ มี Glutathione; GSH (reduce form) เป็นสับสเตรท จะรีดิวซ์ สารประกอบเปอร์ออกไซด์ (-COOH) ได้เป็นสารประกอบที่คงตัว ส่วน GSH จะเปลี่ยนเป็น Glutathione; GSSH (oxidized form) และ GSSH จะถูกรีดีวซ์กลับเป็น GSH เพื่อนำกลับมาใช้ได้อีก GSH มีทั้งในเซลล์และนอกเซลล์ การขาดซีลีเนียมทำให้การทำลายสารเปอร์ออกไซด์บกพร่อง อาจได้อนุมูลอิสระซึ่งมีผลเสียต่อเซลล์

Iodothyronine deiodinase

เป็นเอนไซม์ที่ใช้สลายฮอร์โมนไทรอยด์ทั้ง T3 และ T4 ฮอร์โมนทั้งสองมีอายุสั้นและ ต้องมีการสลายเพื่อให้ได้ ไอโอดีนหมุนเวียนกลับมาใช้ในการสังเคราะห์ฮอร์โมนได้อีก ดังนั้น เอนไซม์ Iodothyronine deiodinase จึงควบคุมระดับของฮอร์โมนไทรอยด์ เอนไซม์ Iodothyronine deiodinase นี้มีทั้งในเซลล์และในเลือด มีอยู่ 3 ชนิดได้แก่ Iodothyronine deiodinase I, II, III ดังนี้ Iodothyronine deiodinase I จะสลาย T3 ในเลือด และสลาย T4 ให้ได้ T3 ในต่อมไทรอยด์ ส่วน Iodothyronine deiodinase II จะสลาย T4 ให้ได้ T3 (Active hormone) ในเซลล์ต่างๆ เพื่อใช้ในกระบวนการเมแทบอลิซึมของเซลล์ปกติ ในขณะที่ Iodothyronine deiodinase III จะสลาย T4 ให้ได้ reverse T3 ซึ่งไม่มีสมบัติทางชีวภาพของฮอร์โมนและ T3 และ T2 ในเซลล์สมอง ทั้งนี้เพื่อป้องกันการเกิดความเป็นพิษที่อาจเกิดจากมี T3 มากเกินไป

ภาวะการขาดซีลีเนียม

เนื่องจากซีลีเนียมมีบทบาทเกี่ยวข้องในการป้องกันการออกซิไดส์ให้เกิดอนุมูลอิสระ ภาวะที่มีซีลีเนียมต่ำ จะทำให้หน้าที่ในการป้องกันการออกซิไดส์บกพร่อง โดยเฉพาะถ้าขาดวิตามินอีร่วมด้วย การเกิดอนุมูลอิสระมากจะทำลายส่วนต่างของเซลล์ เช่น ผนังเซลล์ นิวเคลียส และไลโปโซม เป็นต้น เซลล์จะอ่อนแอ ไม่มีภูมิ จะติดเชื้อได้ง่ายและรุนแรงจึงมักพบภาวะการขาดซีลีเนียมร่วมกับการติดเชื้อไวรัสหลายชนิดได้แก่ ไวรัสโปลิโอ ตับอักเสบบี ไขหวัดใหญ่ เอชส์ และ SLE

วิตามินอี มีบทบาทสำคัญในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน การเกิดออกซิเดชันจะเกิดขึ้นได้เมื่อมีออกซิเจนที่ไวต่อปฏิกิริยา (Reactive oxygen) กลุ่มของออกซิเจนที่ไวต่อปฏิกิริยาทั้งที่เป็นอนุมูลอิสระและไม่ใช้อนุมูลอิสระ แต่สลาย หรือทำปฏิกิริยากับสารอื่นได้อนุมูลอิสระ เช่น H₂O₂ วิตามินอีทำหน้าที่เป็นสารป้องกันการออกซิเดชันของสารประกอบที่สำคัญ ได้แก่ไขมัน

การออกซิเดชันของไขมัน การออกซิเดชันของไขมันในอาหาร เกิดในภาวะที่ออกซิเจน ไขมันชนิดที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัว (PUFA) จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้สารเปอร์ออกไซด์ และได้ผลผลิตสุดท้ายเป็นแอลดีไฮด์ คีโตนและกรดสายสั้นๆ ทำให้อาหารมีกลิ่นเหม็นหืน (rancidity) การออกซิเดชันของไขมันจะเกิดอนุมูลอิสระได้มาก โดยที่ในระหว่างการเกิดสารเปอร์ออกไซด์ จะเกิดอนุมูลอิสระ Lipid peroxide, ROO และ Hydroxyl, OH ซึ่งจะเริ่มทำปฏิกิริยากับไขมันใหม่และได้อนุมูลอิสระเพิ่มอีก ปฏิกิริยา Lipid peroxidation จึงเป็นปฏิกิริยาต่อเนื่อง (chain reaction) ที่จะได้อนุมูลอิสระและไปทำปฏิกิริยาได้อนุมูลอิสระอีก

การกันออกซิเดชันของไขมันในร่างกาย มีความสำคัญต่อความคงตัวของเมมเบรนของเซลล์ ทั้งนี้เนื่องจากเมมเบรนของเซลล์ประกอบด้วย กรดไขมันหากเกิดออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่เมมเบรนจะทำให้เมมเบรนไม่คงตัวหรืออาจแตกได้ง่าย

กลไกของวิตามินอีในการป้องกันการออกซิเดชันไขมัน ตำแหน่งโครงสร้างของวิตามินอีที่ทำหน้าที่กันการออกซิเดชัน คือ วงคาร์บอน chromanol ซึ่งมีหมู่ -OH จะให้ไฮโดรเจนกับอนุมูลอิสระ วิตามินอีจะทำลายอนุมูลอิสระ เพื่อตัดขั้นตอนของปฏิกิริยา Lipid peroxidation ไม่ให้เกิดอนุมูลอิสระต่อเนื่อง (chain reaction breaking) โดยเริ่มจากกรดไขมันไม่อิ่มตัว (PUFA) เกิดปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระ ตรงตำแหน่ง บอนด์คู่ได้ Peroxyl radical ของกรดไขมัน (PUFA-OO) วิตามินอี (vit E-OH) ทำปฏิกิริยากับ Peroxyl radical ได้ Hydroperoxide (PUFA-OOH) ของกรดไขมัน และอนุมูลอิสระของวิตามินอี (vit E-O) ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับ Peroxyl radical อีก ทำให้ได้สารที่ไม่ใช่อนุมูลอิสระ ส่วน PUFA-OOH จะถูกสลายด้วยเอนไซม์ Catalase ซึ่งมีในเซลล์ ได้เป็น Hydroxy PUFA ; PUFA-OH และน้ำ

การทำงานร่วมกันของวิตามินอีและซีลีเนียม

ในการป้องกันการออกซิเดชันของเซลล์ คือป้องกันการถูกทำลายของเซลล์จากการถูกออกซิไดส์ของอนุมูลอิสระยกตัวอย่างเช่น เซลล์เม็ดเลือดแดง ทำให้เซลล์เม็ดเลือดแดงมีความแข็งแรง และคงรูปอยู่ได้ โดยที่เมมเบรนของเซลล์เม็ดเลือดแดงประกอบด้วยไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (PUFA) ซึ่งจะถูกรื้อออกซิไดส์ด้วยอนุมูลอิสระได้ง่าย เป็นผลให้เม็ดเลือดแดงแตก วิตามินอีจะป้องกันการออกซิเดชันโดยการกำจัดอนุมูลอิสระนี้ ส่วนซีลีเนียมเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ Glutathione peroxidase เป็นเอนไซม์ในปฏิกิริยาลำลายสารประกอบเปอร์ออกไซด์ ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระตัวหนึ่ง ถ้าขาดซีลีเนียมเอนไซม์ก็ทำงานไม่ได้ ดังนั้นทั้งซีลีเนียมและวิตามินอีจึงมีหน้าที่ในการป้องกันไม่ให้เม็ดเลือดแตก ถ้าเม็ดเลือดแตกก็จะทำให้เกิดภาวะโลหิตจาง

บทบาทของซีลีเนียมมีผลต่อการป้องกันเซลล์ถูกทำลายซึ่งหน้าที่ของซีลีเนียมที่มีส่วนสัมพันธ์กับวิตามินอี คือ ทำหน้าที่เป็นสาร antioxidant แต่วิตามิน อี มีหน้าที่ป้องกันในผนังเซลล์โดยเป็น specific lipid-soluble antioxidant ส่วนซีลีเนียมเป็นองค์ประกอบของ cytosolic GSH-PX ในการกำจัด เปอร์ออกไซด์ ด้วยเหตุนี้ GSH-PX จึงเป็นตัวแรกที่มียับยั้งการทำลายเซลล์ของเปอร์ออกไซด์ (peroxides) ขณะที่วิตามินอี มีบทบาทในผนังเซลล์ที่ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ของไขมัน

บทบาทของวิตามิน ดี กับเมแทบอลิซึมของแคลเซียมและฟอสฟอรัส

วิตามิน ดี มีอยู่หลายรูป เช่น วิตามิน ดี 2 (ergocalciferol, vitamin D₂) และวิตามิน ดี 3 (cholecalciferol, vitamin D₃) โดยรูปที่มีบทบาทต่อเมแทบอลิซึมของแคลเซียมและฟอสฟอรัส คือ วิตามิน ดี 3 การสังเคราะห์วิตามิน ดี 3 สัตว์ได้รับวิตามิน ดี 3 จากอาหารและมีการสังเคราะห์ได้ผิวหนัง เนื่องจากการกระตุ้นของแสง โดยแสงอัลตราไวโอเล็ตที่มีอยู่ในแสงแดด จะเปลี่ยน 7-dehydrocholesterol เป็น pro vitamin D₃ ส่วน วิตามินดี 2 และวิตามิน ดี 3 ที่ได้จากอาหารมีการดูดซึมในลำไส้เล็กผ่านระบบน้ำเหลือง (lyphatic circulation) เมื่อวิตามินดีมาถึงที่ตับมีการเปลี่ยนให้เป็น 25-hydroxyvitamin D (25-OHD) แล้วปลดปล่อยเข้ากระแสเลือด โดยมีการรวมตัวกับโปรตีน (vitamin D binding protein) เพื่อนำไปยังไต โดยเฉพาะในกรณีที่มีการหลั่งพาราไธรอยด์ฮอร์โมน แคลเซียมในเลือดต่ำหรือฟอสฟอรัสในเลือดต่ำ ที่ได้มีการเปลี่ยนไปเป็น steroid hormone คือ 1,25-(OH)₂ D₃ แล้ว

ถูกพาไปยังอวัยวะเป้าหมาย เช่น ลำไส้ กระดูก ไต ต่อมไทรอยด์ เป็นต้น หลังจากนั้น จะมีการเมทาบอลิซึม ภายในเซลล์เป้าหมาย ซึ่งจะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของ calcium binding protein (Ca-BP) หรือ calbindin, $1,25-(OH)_2D_3$ จะช่วยให้การดูดซึมของผ่านเข้าไปในเซลล์ผนังลำไส้ โดยเพิ่มการผลิต Ca-BP และเกิดการขนย้ายแคลเซียมเข้าสู่กระแสเลือดแบบ active transport หรือเกิด Na^+/Ca^{2+} exchange

ในขณะที่บทบาทของวิตามิน ดี ต่อการดูดซึมฟอสฟอรัสคล้ายคลึงกับแคลเซียม แต่การกระตุ้น การสังเคราะห์ $1,25-(OH)_2D_3$ เป็นผลจากการกระตุ้นจาก growth hormone ที่ไปมีผลต่อการเพิ่มการ สังเคราะห์ แล้วไปมีผลต่อการสังเคราะห์ renal 1- hydroxylase ที่เพิ่มขึ้น $1,25-(OH)_2D_3$ เพิ่มการดูดซึม ของฟอสฟอรัสที่ลำไส้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

- บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. 2541. โภชนศาสตร์สัตว์. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. : เชียงใหม่ 170 หน้า
- มนตรี และคณะ 2542. ชีวะเคมี.
- เมธา วรณพัฒน์, 2533. โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น : ขอนแก่น. 473 หน้า
- ฉลอง วิชรภากร . 2543. โภชนศาสตร์แร่ธาตุของสัตว์. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น : ขอนแก่น. 188 หน้า
- สมชาย จันทร์ส่องแสง. 2541 . การเลี้ยงโคนม. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์ กรุงเทพมหานคร 311 หน้า
- McDonald, P., R.A. Edwards, J. F. D. Greenhalgh, C. A. Morgan. 1995. Animal Nutrition. 5th Ed. Longman Scientific & Technical. New York. 607 pp.
- Pond W.G., D. C. Church, K.R. Pond, P.A. Schokecht, 2005. Basic Animal Nutrition and Feeding. John Wiley & Sons, Inc. 580 pp.