บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

แคลเซียมจัดเป็นแร่ธาตุที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของสัตว์ โดยพบว่า แคลเซียมประมาณ 99 เปอร์เซ็นต์เป็นส่วนประกอบของกระดูกและฟัน ในสัตว์ปีกโดยเฉพาะในไก่ไข่แคลเซียมมีบทบาทเด่นชัดมากกว่าในไก่กระทง เพราะนอกจากจะเป็นส่วนสำคัญของกระดูกแล้วยังเป็นส่วนประกอบสำคัญในการสร้างเปลือกไข่ให้มีความแข็งแรงอีกด้วย นอกจากนี้แคลเซียมยังมีความสำคัญต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆในร่างกายมาก วัตถุดิบที่เป็นแหล่งแคลเซียมมีหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดมีปริมาณแคลเซียมที่แตกต่างกัน ในประเทศไทยวัตถุดิบที่นิยมใช้เป็นแหล่งแคลเซียม ได้แก่ ไดแคลเซียมฟอสเฟต (dicalcium phosphate) เปลือกหอย (ground shell) และหินปูน (limestone) ซึ่งอยู่ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate) เนื่องจากมีการย่อยได้สูงและมีราคาถูก นอกจากนี้ยังมีวัตถุดิบที่น่าสนใจในการนำมาใช้เป็นแหล่งแคลเซียมในอาหารไก่ไข่ได้อีก เช่น ยิปซั่ม ซึ่งเป็นสารประกอบพวกแคลเซียมซัลเฟต (calcium sulphate) ที่ใช้ในอุตสาหกรรมและการส่งออกไปยังต่างประเทศ และมีปริมาณมาก ในจังหวัดนครศรีธรรมราช ตรัง สุราษฎร์ธานี พิจิตร นครสวรรค์ ดังนั้นหากสามารถนำยิปซั่มมาใช้เลี้ยงสัตว์ได้ นอกจากเป็นการเพิ่มมูลค่าแล้ว ยังเป็นการนำวัตถุดิบในท้องถิ่นมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้อีกทางหนึ่งด้วย และอาจช่วยลดต้นทุนการเลี้ยงสัตว์ลงได้

โดยทั่วไปการนำวัตถุดิบที่เป็นแหล่งแคลเซียมแต่ละชนิดมาประกอบในสูตรอาหารนั้น จะใช้ตามคำแนะนำของสถาบันในต่างประเทศ เช่น NRC (National Research Council) หรือ ARC (Agricultural Research Council) หรือใช้ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์จากวัตถุดิบ โดยวิธีการทางเคมี ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกว่าในวัตถุดิบอาหารสัตว์นั้นๆ มีแคลเซียมในปริมาณเท่าใด แต่ไม่ได้บ่งบอกถึงค่าที่สัตว์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง (availability) ดังนั้นเมื่อนำไปประกอบสูตรอาหารสัตว์จึงอาจทำให้เกิดปัญหา โดยสัตว์อาจได้รับปริมาณแคลเซียมไม่เพียงพอกับความต้องการ ทั้งนี้เพราะแร่ธาตุเมื่อเข้าไปในระบบทางเดินอาหาร จะมีบางส่วนที่สัตว์สามารถย่อยและนำไปใช้ประโยชน์ได้ และมีบางส่วนถูกขับออกมาทางมูลและปัสสาวะ ซึ่งเป็นส่วนที่สูญเสียและใช้ประโยชน์ไม่ได้ ดังนั้นเพื่อลดการสูญเสียและให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อตัวสัตว์ จึงควรนำค่าการใช้ประโยชน์ได้ของแร่ธาตุในสัตว์มาใช้ในการคำนวณสูตรอาหารสัตว์

การตรวจเอกสาร

การประเมินคุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบอาหารสัตว์

การประเมินคุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบอาหารสัตว์มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากวัตถุดิบอาหารสัตว์นั้น มีอยู่มากมายหลายชนิด โดยแต่ละชนิดมีคุณค่าทางโภชนาการต่อสัตว์ชนิดต่างๆแตกต่างกันไป เสาวนิต (2538) กล่าวว่า การประเมินคุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบอาหารสัตว์มีหลายวิธีด้วยกัน วิธีที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป คือ

1. การประเมินคุณภาพของวัตถุดิบอาหารสัตว์ทางกายภาพ (physical evaluation) และการตรวจสอบด้วยสารละลาย เป็นการประเมินเบื้องต้นเพื่อให้ทราบคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่

1.1 การประเมินด้วยตาเปล่าและดมกลิ่น เพื่อตรวจสอบชนิดของวัตถุดิบอาหารสัตว์ สี สิ่งปลอมปนและกลิ่นเฉพาะตัวของวัตถุดิบอาหารสัตว์

1.2 การประเมินโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ เพื่อศึกษาสิ่งปลอมปนในวัตถุดิบอาหารสัตว์ โดยการศึกษาลักษณะเฉพาะตัว เช่น สี รูปร่าง ขนาดของอนุภาค ความอ่อน ความแข็ง ความหยาบ ความละเอียด ลักษณะทึบแสง สะท้อนแสงหรือยอมให้แสงผ่านเนื้อวัตถุนั้น

1.3 การทดสอบด้วยสารละลาย เป็นการตรวจสอบสิ่งปลอมปนในวัตถุดิบอาหารสัตว์บางชนิด เช่น กระดูกป่น เปลือกหอย หินปูน และปูนขาว

2. การประเมินโดยการวิเคราะห์ทางเคมี (chemical analysis) เป็นการวิเคราะห์คุณภาพวัตถุดิบอาหารสัตว์ในห้องปฏิบัติการเพื่อให้ทราบส่วนประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารสัตว์ ทราบคุณภาพของอาหารสัตว์เบื้องต้น ซึ่งสามารถนำค่าเหล่านี้ไปคำนวณสูตรอาหารสัตว์ได้ แต่ยังไม่ใช่ค่าที่สัตว์ใช้ประโยชน์ได้จริง

3. การประเมินโดยการทดลองทางชีวภาพ (biological evaluation) เป็นการประเมินโดยให้สัตว์กินอาหารที่ต้องการเพื่อให้ทราบว่าสัตว์นำโภชนะต่างๆ ไปใช้ประโยชน์ได้มากน้อยเพียงใด หากผลที่ได้จากการประเมินโดยวิธีนี้มีค่าค่อนข้างสูงหรือมีแนวโน้มสูง แสดงว่าอาหารนั้นมีคุณภาพดี การทดลองกับตัวสัตว์เป็นวิธีการที่ดีและสมบูรณ์ที่สุดที่จะทำให้ทราบคุณค่าของอาหารสัตว์

วิธีการวัดค่าการใช้ประโยชน์ได้ของแร่ธาตุ

ค่าการใช้ประโยชน์ได้ทางชีวภาพ (biological availability) ของสารใดๆ หมายถึง ค่าที่ระบุปริมาณที่สารอาหารนั้นๆ ถูกดูดซึมและถูกนำไปใช้ประโยชน์ ซึ่งค่าการใช้ประโยชน์ได้ทางชีวภาพของแร่ธาตุที่ทำมากที่สุด คือ แคลเซียม และฟอสฟอรัส (พันทิพา, 2538)

Ammerman และคณะ (1995) กล่าวถึงวิธีการวัดค่าการใช้ประโยชน์ได้ทางชีวภาพของแร่ธาตุโดยวัดการดูดซึม และสมดุลเคมีในร่างกายไว้ดังนี้

1. การดูดซึมที่ปรากฏ (apparent absorption) เป็นวิธีที่ประเมินค่าการดูดซึมของแร่ธาตุ โดยนำเอาปริมาณแร่ธาตุในมูลมาหักลบจากปริมาณแร่ธาตุที่กิน ซึ่งมีสูตรดังนี้ คือ

$$\text{การดูดซึมแร่ธาตุที่ปรากฏ (\%)} = \frac{\text{ปริมาณแร่ธาตุที่กิน - ปริมาณแร่ธาตุในมูล}}{\text{ปริมาณแร่ธาตุที่กิน}} \times 100$$

ค่าของการดูดซึมที่ปรากฏนี้ เป็นค่าโดยประมาณ เนื่องจากปริมาณแร่ธาตุที่ออกมาในสิ่งขับถ่ายนั้น ไม่ได้มาจากแร่ธาตุที่มีในอาหาร และไม่ถูกร่างกายดูดซึมเพียงแหล่งเดียว แต่จะรวมถึงแร่ธาตุที่หลุดลอกออกจากเซลล์ชั้นมิวโคซา หรือแร่ธาตุที่ถูกคัดหลั่ง (secretion) ในทางเดินอาหารด้วย

2. การดูดซึมที่แท้จริง (true absorption)

การดูดซึมที่แท้จริงจะให้ค่าที่ถูกต้องกว่าการดูดซึมที่ปรากฏ เนื่องจากค่าการดูดซึมที่แท้จริงได้หักลบปริมาณแร่ธาตุที่หลุดลอกออกจากเซลล์ชั้นมิวโคซา และแร่ธาตุที่คัดหลั่งออกจากส่วนของเซลล์ของร่างกายเข้าสู่ทางเดินอาหาร ซึ่งส่วนของแร่ธาตุที่ไม่ได้มาจากอาหารและถูกขับออกในมูล เรียกว่า total endogenous fecal excretion หรือ metabolic fecal excretion การดูดซึมที่แท้จริงสามารถคำนวณได้ดังสูตร

$$\text{การดูดซึมแร่ธาตุที่แท้จริง (\%)} = \frac{\text{ปริมาณแร่ธาตุที่กิน}-(\text{ปริมาณแร่ธาตุในมูล}-\text{total endogenous fecal excretion})}{\text{ปริมาณแร่ธาตุที่กิน}} \times 100$$

3. การขับออกทางปัสสาวะ (urinary excretion)

การประเมินค่าการใช้ประโยชน์ได้ของแมกนีเซียมและโปแตสเซียม มักจะประเมินจากปัสสาวะเนื่องจากแร่ธาตุ 2 ชนิดนี้ถูกขับออกทางปัสสาวะเป็นส่วนใหญ่ ส่วนแร่ธาตุอื่นๆ เช่น แมงกานีส เหล็ก สังกะสี ทองแดงถูกขับออกมาในปัสสาวะน้อย

4. ปริมาณแร่ธาตุสุทธิที่ถูกเก็บไว้ในร่างกาย (net retention)

คำนวณได้จากปริมาณแร่ธาตุทั้งหมดที่สัตว์ได้รับจากอาหารลบด้วยปริมาณแร่ธาตุทั้งหมดที่ขับออกในมูลและปัสสาวะ

พันทิพา (2538) กล่าวว่าวิธีการวัดค่าใช้ประโยชน์ได้ทางชีวภาพของแร่ธาตุสามารถทำได้หลายวิธี เช่น

1. Transposition Test เป็นวิธีการที่เหมาะสมในการวัดค่าทางชีววิทยา (biological value ; BV) ของฟอสฟอรัส

หลักการของวิธีการนี้คือ ดูความสามารถในการสะสมของแร่ธาตุ โดยเฉพาะฟอสฟอรัสในกระดูก โดยทำการวัดปริมาณเถ้าที่สะสมในกระดูกเท้า Metatarsus และ Intertarsal พร้อมกับวัดการเพิ่มน้ำหนักตัว ซึ่งค่าของเถ้าของแร่ธาตุชนิดใดมีสูงแสดงว่าแคลเซียมและฟอสฟอรัสจากอาหารใช้ประโยชน์ได้มาก การเจริญเติบโตสูงตามไปด้วย นำค่าน้ำหนักตัวและค่าเถ้าที่วัดได้มาหาค่า Regression of effectiveness หากค่า Regression สูงแสดงว่าค่าทางชีววิทยา ของฟอสเฟตย่อมสูงด้วย คือ สัตว์ดึงไปใช้ได้มาก

2. การใช้รังสี Neutron วัดโดยติดฉลากด้วยสารรังสีเข้ากับฟอสเฟตที่เติมในอาหารแล้วทำการวัดรังสีของฟอสฟอรัสในกระดูก โดยวัดจากเถ้าของกระดูกหน้าแข้ง ซึ่งการวัดแคลเซียมและฟอสฟอรัสจากปริมาณเถ้าของกระดูกนี้ในไก่จะให้ผลแม่นยำกว่าวัดจากน้ำหนักตัว

หน้าที่ของแคลเซียม

McDowell (1992) รายงานว่า หน้าที่ทั่วไปของแคลเซียมมีดังนี้ คือ

1. ทำหน้าที่เป็นโครงสร้าง ของร่างกาย
2. ทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้นภายในเซลล์
3. ทำหน้าที่เป็นโคแฟคเตอร์ของเอนไซม์ของโปรตีน
4. ทำหน้าที่ควบคุมปฏิกิริยาภายในเซลล์

ส่วนบทบาทสำคัญของแคลเซียมในอาหารสัตว์ปีกนั้น Patrick และ Schaible (1980) รายงานเพิ่มเติมว่า แคลเซียมมีบทบาทในการเคลื่อนย้ายไขมันจากเลือดเข้าสู่ไข่แดง และมีบทบาทที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างเปลือกไข่

เมแทบอลิซึมของแคลเซียม

ร่างกายดูดซึมธาตุแคลเซียมในอาหารตรงลำไส้เล็กส่วนต้นและส่วนกลางโดยวิธีนำพาแบบแอกทีฟและพาสซีฟ (active and passive transport) การดูดซึมธาตุแคลเซียมต้องอาศัยตัวนำที่

เป็นโปรตีนที่เรียกว่า calcium binding protein (CaBP) ซึ่งต้องอาศัยไวตามินดีช่วยในการสังเคราะห์ ซึ่ง Underwood และ Suttle (1981) รายงานว่า CaBP ที่พบในสิ่งมีชีวิตมีหลายชนิด เช่น

- Calmodulin จัดเป็น CaBP ที่มีบทบาทอย่างกว้างขวางภายในเซลล์ ทำหน้าที่เป็นตัวจับของแคลเซียมอิออน (Ca^{2+} receptor)

- Troponin C จัดเป็น CaBP ที่มีบทบาทสำคัญในกล้ามเนื้อ ทำหน้าที่ช่วยในการยืดหดตัวของกล้ามเนื้อ

- Intestinal Calcium-Binding Protein มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งแคลเซียมจากลำไส้เล็กเข้าสู่ร่างกาย

- Parvalbumin เป็น CaBP ที่ยังไม่ทราบหน้าที่แน่ชัด แต่เชื่อว่าอาจเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายแคลเซียมระหว่าง Myofibrils และ Sarcoplasmic reticulum

- CaBP ที่ทำหน้าที่เป็น Enzyme

แคลเซียมถูกขับออกจากร่างกายได้ 3 ทาง คือ ขับออกทาง อุจจาระ ปัสสาวะ และทางเหงื่อ ธาตุแคลเซียมที่ถูกขับออกทางอุจจาระมีทั้งส่วนที่ไม่ถูกดูดซึมในทางเดินอาหารและส่วนที่ถูกขับออกมาจากเซลล์ภายในร่างกาย ซึ่งแคลเซียมที่ขับออกมาทางลำไส้มีบางส่วนที่ดูดซึมเข้าสู่ร่างกายอีกครั้งหนึ่ง ธาตุแคลเซียมที่ขับออกมาจากเซลล์ภายในร่างกายมีประมาณร้อยละ 20-30 ของธาตุแคลเซียมทั้งหมดที่อยู่ในอุจจาระ ธาตุแคลเซียมที่ถูกขับออกมาทางปัสสาวะจะมีปริมาณน้อยกว่าที่ถูกขับออกมาทางอุจจาระ ทั้งนี้เพราะแคลเซียมในพลาสมาที่ถูกส่งไปยังไตจะถูกดูดซึมกลับประมาณ 99 เปอร์เซ็นต์ โดยปกติธาตุแคลเซียมที่สูญเสียไปทางเหงื่อมีปริมาณค่อนข้างน้อย แต่ในมนุษย์ ม้า หรือ สัตว์อื่นที่มีต่อมเหงื่อมาก จะสูญเสียธาตุแคลเซียมไปทางเหงื่อค่อนข้างมาก บุญล้อม (2541) รายงานว่า ถ้าสัตว์ได้รับโปรตีนสูงหรือได้รับการฉีด โซเดียมซิเตรท(Na citrate) โซเดียม เอทธิลีน ไดอะมีน(Na-ethylene diamine : Na-EDTA) หรือ แคลเซียมเอทธิลีนไดอะมีน (Ca-ethylene diamine : Ca-EDTA) มาก จะทำให้เกิดการสร้างแคลเซียมคีเลท(Ca Chelate) ซึ่งทำให้มีการขับแคลเซียมออกจากร่างกายในปริมาณสูง

ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซึมแคลเซียม

เสาวนิต (2538) กล่าวว่า การดูดซึมแคลเซียมขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ต่อไปนี้

1. อัตราส่วนของธาตุแคลเซียมและธาตุฟอสฟอรัสในอาหารต้องเหมาะสม ในการเลี้ยงสัตว์โดยทั่วไปคำนวณให้มีธาตุทั้งสองในสูตรอาหารในอัตราส่วน 1 : 1 ถึง 2 : 1 สำหรับในไก่กระทง NRC

(1994) แนะนำว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมคือ 1.67 : 1 ในกรณีที่ใช้ค่าของฟอสฟอรัสทั้งหมดที่มีในวัตถุดิบ (total phosphorus) เป็นส่วนประกอบในสูตรอาหาร แต่ถ้าใช้ค่าฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ (available phosphorus) อัตราส่วนที่เหมาะสมคือ 2.2 : 1

2. ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่พอเหมาะ ถ้าภายในลำไส้มีความเป็นด่างมาก การละลายของแคลเซียมลดลง ถ้าเป็นกรด เช่น pH ต่ำกว่า 5 แคลเซียมละลายได้ดีและอยู่ในสภาพเป็นไอออนทำให้ดูดซึมเข้าร่างกายได้ดี

3. การมีวิตามินดีในอาหารช่วยให้มีการดูดซึมแคลเซียมมากขึ้น โดยที่วิตามินดีช่วยสร้าง CaBP ที่จับธาตุแคลเซียมในลำไส้เล็ก

4. การมีกรดแอมิโน และกรดอินทรีย์ในอาหารเช่น ไลซีน อาร์จินีน กรดแลกติก และกรดซิตริก ช่วยให้มีการดูดซึมธาตุแคลเซียมเพิ่มขึ้น

5. การที่มีอาหารไขมันสูงจะลดการดูดซึมธาตุแคลเซียม เนื่องจากมีการรวมตัวของธาตุแคลเซียมกับกรดไขมันอิสระ ทำให้เกิดสารประกอบที่ไม่ละลาย

6. สารในอาหารบางอย่างที่ทำให้แคลเซียมตกตะกอนได้ดีในลำไส้ มีผลทำให้การดูดซึมของแคลเซียมถูกยับยั้งด้วย ได้แก่ กรดไฟติค (phytic acid) กรดออกซาลิค (oxalic acid) ทำให้แคลเซียมตกตะกอนเป็นแคลเซียมไฟเตท และแคลเซียมออกซาเลทซึ่งไม่ละลาย

แหล่งของแคลเซียม

Shafey (1993) กล่าวว่า แหล่งของแคลเซียมแบ่งออกเป็น 2 แหล่ง คือ จากวัตถุดิบที่เป็นแหล่งแร่ธาตุธรรมชาติ และแหล่งแร่ธาตุที่อยู่ในรูปสารเคมี และพันทิพา (2538) รายงานว่าวัตถุดิบที่เป็นแหล่งแคลเซียมจากธรรมชาติ ได้แก่

เปลือกหอยป่น (shell flour) เป็นแหล่งของแคลเซียมคาร์บอเนต มีแคลเซียมประกอบอยู่ไม่น้อยกว่า 33 เปอร์เซ็นต์นิยมใช้กันมากในไก่ มีทั้งเปลือกหอยนางรม (oyster shell) หอยกาบ (clam shell) แคลเซียมไม่น้อยกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ หากใช้ในไก่ไข่จะช่วยทำให้เปลือกไข่แข็งแรง และเนื่องจากเปลือกหอยมีอนุภาคขนาดใหญ่กว่าแคลเซียมจากแหล่งอื่นๆ ทำให้อยู่ในทางเดินอาหารตรงส่วนของกระเพาะบด (gizzard) นานตลอดคืน และค่อย ๆ ปลดปล่อยแคลเซียมออกมาสร้างเปลือกไข่ได้สม่ำเสมอ ดังนั้นจึงนิยมใช้เปลือกหอยแทนที่หินปูนป่น (pulverized limestone)

หินปูนป่น (ground, pulverized limestone) หรือหินปูนขาวป่นเป็นเม็ดไม่ละเอียด เป็นแหล่งแคลเซียมที่อยู่ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต มีแคลเซียมอยู่ไม่น้อยกว่า 33 เปอร์เซ็นต์ สีจะออกสีเทาอ่อนจนถึงเข้ม หินปูนมีหลายชนิดด้วยกันแล้วแต่การเรียงตัวของผลึกว่าจะออกมาในรูปแบบใด สำหรับ dolomitic limestone จะมีแมกนีเซียมประกอบอยู่ไม่ต่ำกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ จึงไม่เหมาะที่จะใช้ในไก่ไข่เพราะไปแก่งแย่งการดูดซึมกับแคลเซียม ทำให้เกิดสภาวะขาดแคลเซียมได้ ถ้าเป็นสัตว์เล็กจะทำให้กระดูกจะหยุดการเจริญเติบโต

Chalk Rock เป็นหินปูนชนิดหนึ่งซึ่งมีสีขาวปนเทา หรือออกเหลืองเป็นแหล่งแคลเซียมคาร์บอเนต ต้องมีแคลเซียมไม่น้อยกว่า 33 เปอร์เซ็นต์ มี 2 รูปแบบคือ แบบ chalk rock ground และ chalk precipitated

Calcium Oxide (CaO) บางครั้งเรียกปูนขาว (quick lime) เป็นด่างที่ค่อนข้างแรง เวลาใช้ต้องระวัง

Patrick และ Schaible (1980) รายงานว่า ยิปซั่ม (gypsum) เป็นวัตถุดิบที่มีแคลเซียมในรูปของ Calcium Sulphate ($CaSO_4 . 2H_2O$) มีแคลเซียมอยู่ประมาณ 22 เปอร์เซ็นต์

Guinotte และคณะ (1991) ได้แสดงส่วนประกอบทางเคมีและปริมาณแร่ธาตุต่างๆ ของเปลือกหอยทะเล เปลือกหอยนางรม หินอ่อน และหินปูนไว้ดังตารางที่ 1 สรุปว่าหินปูนมีปริมาณแคลเซียมมากกว่าวัตถุดิบทั้งสามชนิดข้างต้น แต่การใช้หินปูนมีข้อควรระวัง คือ ระดับแมกนีเซียมที่ปะปนมาทำให้ความบริสุทธิ์ของหินปูนลดลง (Card and Nesheim, 1972)

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบทางเคมีและปริมาณแร่ธาตุของวัตถุดิบชนิดต่างๆ

ส่วนประกอบทางเคมี	เปลือกหอยทะเล	เปลือกหอยนางรม	หินอ่อน	หินปูน
น้ำ (%)	0.79	0.12	0.11	0.05
อินทรีย์วัตถุ (%)	4.12	1.12	0.24	0.41
แคลเซียม (%)	33.5	37.5	38.5	39.9
ฟอสฟอรัส (%)	0.91	0.01	0.01	0.02
แมกนีเซียม (%)	0.73	0.19	0.4	0.24
แมงกานีส (มก./กก.)	103	167	90	108
เหล็ก (มก./กก.)	1149	172	980	1093
ทองแดง (มก./กก.)	5	3	3	9
สังกะสี (มก./กก.)	343	52	9	12
ซีลีเนียม (มก./กก.)	0.224	ND	<.014	0.142

หมายเหตุ : ND = วิเคราะห์ไม่พบ

ที่มา : ดัดแปลงจาก Guinotte และคณะ (1991)

การใช้ประโยชน์ได้ของแคลเซียม

Shafey (1993) รายงานว่า แคลเซียมที่มาจากวัตถุดิบต่างชนิดกัน มีค่าการใช้ประโยชน์ได้ที่แตกต่างกัน โดยพบว่า ไก่เจริญเติบโตได้ดี เมื่อได้รับแคลเซียมที่อยู่ในรูปของฟอสเฟตหรือคาร์บอเนต ซึ่งค่าการใช้ประโยชน์ได้ของแคลเซียม แสดงในตารางที่ 2 Shafey (1993) ได้รายงานเพิ่มเติมว่า แคลเซียมในหินปูน ยิปซั่ม หินฟอสเฟต แคลเซียมกลูโคเนต โดโลไมท์ มีค่าการใช้ประโยชน์ได้เท่าๆ กันในการสร้างกระดูกของไก่กระทง ทั้งที่ความสามารถในการละลายได้ของแคลเซียมจากแหล่งต่างๆ นั้นแตกต่างกัน นอกจากนั้นยังพบว่าแคลเซียมที่อยู่ในรูปของแคลเซียมซัลเฟต และแคลเซียมคาร์บอเนต มีค่าการใช้ประโยชน์ทางชีวภาพได้เท่าๆกันในลูกไก่ แต่ในกรณีอาหารไก่ไข่นั้น อุทัย (2529) กล่าวว่าเปลือกหอยเหมาะที่จะใช้เป็นแหล่งของธาตุแคลเซียมมากที่สุด ทั้งนี้เพราะเปลือกหอยจะถูกย่อยสลายอย่างช้าๆ ในทางเดินอาหารของไก่ไข่ จึงสามารถใช้แคลเซียมได้ตลอดเวลา ส่วนแคลเซียมที่มาจากวัตถุดิบอาหารสัตว์หรือมาจากสารอินทรีย์นั้น พบว่าแคลเซียมที่ได้จากปลาป่นสามารถใช้ประโยชน์ได้ถึง 100.4 % เมื่อเปรียบเทียบกับแคลเซียมที่

ได้จากกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน กากถั่วเหลือง กากเมล็ดฝ้าย และกากเรปสีดซึ่งมีค่าเท่ากับ 68.8, 85.6, 64.6 และ 71.1 % ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 2 ค่าการใช้ประโยชน์ได้ของแคลเซียมที่ได้จากสารประกอบอนินทรีย์ต่าง ๆ

แหล่งของสารประกอบ	ค่าการใช้ประโยชน์ (%)
Calcium Carbonate (R.C.)	100
Defluorinated phosphate (R.C.)	92-95
Low fluorine phosphate (R.C.)	90
Soft phosphate (R.C.)	68
Oyster shell (R.C.)	93-117
Limestone (R.C.)	86-100
Calcium sulphate (R.L.)	90

หมายเหตุ : R.C. (relative availability of 100 % for Ca carbonate) เปรียบเทียบบนพื้นฐานของการใช้ประโยชน์ได้ 100% ของแคลเซียมคาร์บอเนต

R.L. (relative availability of 100 % for limestone) เปรียบเทียบบนพื้นฐานของการใช้ประโยชน์ได้ 100% ของหินปูน

ที่มา : ดัดแปลงจาก Shafey (1993)

ตารางที่ 3 ค่าการใช้ประโยชน์ได้ของแคลเซียมจากวัตถุดิบอาหารสัตว์บางชนิด

แหล่งของวัตถุดิบ	ค่าการใช้ประโยชน์ (%)
กากเมล็ดฝ้าย	64.6
กากถั่วเหลือง	85.6
กากเรปสีด	71.1
กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน	68.8
ปลาป่น	100.4

ที่มา : ดัดแปลงมาจาก Shafey (1993)

ระดับของแคลเซียมที่เหมาะสมในอาหารไก่ไข่

Roland (1981) กล่าวว่า ความต้องการแคลเซียมของไก่ไข่ประเมินได้ยาก เพราะมีปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง เช่น พันธุกรรมของไก่ ความสัมพันธ์ระหว่างแคลเซียมกับฟอสฟอรัส วิตามินดี ขนาดอนุภาคของแคลเซียม ความน่ากินของอาหาร และความสามารถในการกินอาหารของแม่ไก่เพื่อให้ได้แคลเซียมตามความต้องการ (ขึ้นกับระดับพลังงานในอาหาร อุณหภูมิแวดล้อม) และได้แนะนำว่า เพื่อให้เปลือกไข่มีคุณภาพดีที่สุดไก่ต้องได้รับแคลเซียมในอาหารไม่ต่ำกว่า 3.75 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามระดับความต้องการแคลเซียมนั้นผันแปรไปตามผลผลิตไข่ ไก่ไข่อายุ 22-40 สัปดาห์ ระดับแคลเซียมในอาหารควรเป็น 3.3 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนี้ไข่มีขนาดใหญ่ขึ้น ระดับแคลเซียมในอาหารควรเพิ่มเป็น 3.7 เปอร์เซ็นต์ (El-Boughy and Raterink, 1985) นอกจากนี้ NRC (1994) กำหนดว่าแม่ไก่ที่ให้ผลผลิตไข่ 90% ควรได้รับอาหารที่มีปริมาณแคลเซียม 3.6 เปอร์เซ็นต์

Roland และคณะ (1986) รายงานว่า เมื่อปริมาณแคลเซียมในอาหารลดลง จะมีผลทำให้ไก่กินอาหารเพิ่มขึ้น น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น และมีการสะสมไขมันในตับเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความถ่วงจำเพาะและน้ำหนักเปลือกไข่ลดลง แต่ไม่มีผลต่อน้ำหนักไข่ นอกจากนี้ Narbaitz และคณะ (1987) รายงานว่า อาหารที่ขาดแคลเซียมมีผลให้เปลือกไข่ชั้นนอก คือชั้น cuticle และ spongy layer บางลง

แหล่งแคลเซียมต่อสมรรถนะการผลิตของไก่ไข่

Bradley และ Krueger (1982) ได้ทำการเปรียบเทียบการใช้เปลือกหอยนางรมและหินปูนบดเป็นแหล่งแคลเซียมในอาหารไก่ไข่ พบว่า ผลผลิตไข่และน้ำหนักไข่ไม่แตกต่างกัน แต่ไก่ที่ได้รับหินปูนเป็นแหล่งแคลเซียม มีเปลือกไข่แตกร้าวมากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Brister และคณะ (1981) ที่ใช้หินปูนและเปลือกหอยนางรมบดเป็นแหล่งแคลเซียม สำหรับไก่ไข่ พบว่า ผลผลิตไข่ ปริมาณอาหารที่กิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร น้ำหนักไข่ และน้ำหนักเปลือกไข่ไม่แตกต่างกัน แต่ไก่ไข่ที่ได้รับเปลือกหอยนางรมบดจะมีความหนาของเปลือกไข่มากกว่าไก่ที่ได้รับหินปูนบด และสรุปว่า ไก่นำแคลเซียมจากเปลือกหอยนางรมไปใช้ประโยชน์ในการสร้างเปลือกไข่ดีกว่าหินปูน ในขณะที่รณัชย์ (2531) รายงานว่า แหล่งของแคลเซียมจากเปลือกหอย และหินปูนในอาหารไก่ไข่ไม่มีผลต่อสมรรถนะการผลิตของไก่ไข่ แต่แคลเซียมจากเปลือกหอยมีแนวโน้มทำให้คุณภาพเปลือกไข่ดีกว่าแคลเซียมจากหินปูน โดยเฉพาะเมื่อไก่ไข่มีอายุมากขึ้น นอกจากนี้ Makled และ Charles (1987) ได้ทดลองเปรียบเทียบการใช้หินปูน หินปูนผสมเปลือกหอยนางรมอัตราส่วน 1 : 2 ในอาหารไก่ไข่ โดยให้มีระดับแคลเซียม 3.75 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ผลผลิตไข่ ปริมาณอาหารที่

กิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร น้ำหนักไข่ ความแข็งของเปลือกไข่ น้ำหนักเปลือกไข่ไม่แตกต่างกัน แต่ความถ่วงจำเพาะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในกลุ่มที่ทำการเสริมเปลือกหอยนางรม Charles และคณะ (1982) รายงานว่า อาหารที่มีระดับแคลเซียม 3.5 เปอร์เซ็นต์ ไก่ที่ได้รับเปลือกหอยนางรมจะให้เปลือกไข่มีความแข็งมากกว่าไก่ที่ได้รับหินปูน โดยมีค่าความแข็งเป็น 98 เปอร์เซ็นต์ และ 88 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่ Roland (1978) รายงานว่าคุณภาพเปลือกไข่ไม่มีความแตกต่างกันเมื่อไก่ได้รับแคลเซียมไม่ต่ำกว่า 3.75 กรัมต่อวันจากหินปูน หรือเปลือกหอยนางรมคุณภาพดี

Tyler และ Wilcoz (1942) อ้างโดย Keshavarz (1991) รายงานว่า การใช้แคลเซียมซัลเฟตเป็นแหล่งแคลเซียมในอาหารไก่ไข่แทนแคลเซียมคาร์บอเนตในระดับ 24 กรัมต่อตัวต่อวันมีผลทำให้คุณภาพเปลือกไข่และการเก็บกักแคลเซียมในร่างกายลดต่ำลง ซึ่ง Keshavarz (1991) ได้แนะนำว่า การใช้ยิปซั่มซึ่งมีสูตรทางเคมี คือ แคลเซียมซัลเฟตในอาหารไก่ไข่ให้มีความปลอดภัยและสามารถใช้ประโยชน์ได้สูงขึ้นนั้น ควรใช้ร่วมกับแคลเซียมที่อยู่ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต โดยได้ทดลองใช้แคลเซียมซัลเฟตจากยิปซั่ม ร่วมกับแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยและหินปูนในสัดส่วนต่าง ๆ ในอาหารไก่ไข่เพื่อหาระดับที่เหมาะสมและการใช้ประโยชน์ได้สูงสุด และพบว่าการใช้ยิปซั่มร่วมกับเปลือกหอยในสัดส่วน 1 : 2 ทำให้ไก่มีผลผลิตไข่ น้ำหนักไข่ ปริมาณอาหารที่กิน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ใช้เปลือกหอย หรือหินปูน เป็นแหล่งแคลเซียมเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตามกลุ่มที่ได้รับยิปซั่มเป็นแหล่งแคลเซียมเพียงอย่างเดียวมีค่าความแข็งของเปลือกไข่ ความหนาของเปลือกไข่ต่ำกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และพบว่า เมื่อใช้ยิปซั่มร่วมกับเปลือกหอยนางรมในสัดส่วน 1 : 2 มีผลทำให้ค่าดังกล่าวเพิ่มสูงขึ้น แตกต่างจากการใช้ยิปซั่มเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาปริมาณแคลเซียมที่ใช้ประโยชน์ได้ (availability) ในวัตถุดิบที่เป็นแหล่งแคลเซียม
2. เพื่อศึกษาชนิดของวัตถุดิบที่เหมาะสมในการใช้เป็นแหล่งแคลเซียมในสูตรอาหารไก่ไข่