การเสริมไบโอแคลเซียมร่วมกับแร่ธาตุรองคีเลตและวิตามินดี 3 ในอาหารเป็ดไข่ต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่ และความแข็งของกระดูกแข้งและเปลือกไข่

เสฐียรพงษ์ มูลสถาน

วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสัตวศาสตร์
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

การเสริมไบโอแคลเซียมร่วมกับแร่ธาตุรองคีเลตและวิตามินดี 3 ในอาหารเป็ดไข่ต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่ และความแข็งของกระดูกแข้งและเปลือกไข่

เสฐียรพงษ์ มูลสถาน

วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสัตวศาสตร์
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยานิพนธ์ เรื่อง "การเสริมไบโอแคลเซียมร่วมกับแร่ธาตุรองคีเลตและวิตามินดี 3 ในอาหารเป็ดไข่ต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่ และความแข็งของกระดูกแข้งและเปลือกไข่ "

ของ เสฐียรพงษ์ มูลสถาน

ได้รับการพิจารณาให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสัตวศาสตร์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิโรจน์ ลิขิตตระกูลวงค์)

..... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(รองศาสตราจารย์ ดร.ทศพร อินเจริญ)

..... กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(รองศาสตราจารย์ ดร.วันดี ทาตระกูล)

..... กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ เจริญสุข)

..... กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สนธยา นุ่มท้วม)

อนุมัติ

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.กรองกาญจน์ ชูทิพย์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง การเสริมไบโอแคลเซียมร่วมกับแร่ธาตุรองคีเลตและวิตามินดี 3 ในอาหารเป็ดไข่ต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่ และความแข็งของกระดูกแข้งและเปลือกไข่

ผู้วิจัย เสฐียรพงษ์ มูลสถาน

ประธานที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.ทศพร อินเจริญ

กรรมการที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.วันดี ทาตระกูล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ เจริญสุข

ประเภทสารนิพนธ์ วิทยานิพนธ์ วท.ม. สาขาวิชาสัตวศาสตร์, มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2564

คำสำคัญ ไบโอแคลเซียม, แร่ธาตุรองคีเลต, วิตามินดี, เป็ดไข่

บทคัดย่อ

แคลเซียมอนินทรีย์ มักถูกนำมาใช้เป็นแหล่งแคลเซียมหลักในการผลิตอาหารสัตว์ปีก แต่พบว่ายังมีข้อด้อยเกี่ยวกับประสิทธิภาพในการดูดซึมและการใช้ประโยชน์ในร่างกาย จึงมักพบปัญหาเปลือกไข่แตกร้าวง่าย ไบโอแคลเซียม (Biocalcium) เป็นแหล่งแคลเซียมชนิดใหม่ ประกอบไปด้วยเปปไทด์ที่มีชีวปริมาณออกฤทธิ์ (Bioavailability) ได้สูงกว่าแคลเซียมอนินทรีย์ ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารทะเล นอกจากนั้นแล้ว แร่ธาตุรองคีเลต (ทองแดง สังกะสี และแมงกานีส) และวิตามินดี 3 ถือได้ว่าเป็นอีกปัจจัยสำคัญที่มีผลโดยตรงต่อคุณภาพเปลือกไข่ ด้วยเหตุนี้การทดลองครั้งนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเสริมไบโอแคลเซียมร่วมกับแร่ธาตุรองคีเลตและวิตามินดี 3 (Bio-calcium including chelated trace minerals and vitamin D3; BCD) ในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่ และความแข็งของกระดูกแข้งและเปลือกไข่ โดยใช้เป็ดไข่สายพันธุ์กากีแคมเบลล์ อายุ 30 สัปดาห์ จำนวน 80 ตัว แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 4 ซ้ำ ซ้ำละ 5 ตัว แต่ละกลุ่มได้รับอาหารเสริมด้วย BCD ที่ระดับ 0, 0.05, 0.10 และ 0.20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ใช้ระยะเวลาทดลองทั้งหมด 8 สัปดาห์ ทำการเก็บข้อมูลสมรรถภาพการผลิต และสุ่มไข่กลุ่มละ 12 ฟอง /กลุ่ม เพื่อวิเคราะห์คุณภาพไข่และเปลือกไข่ เป็นประจำสัปดาห์ละ 1 ครั้ง จากผลการศึกษาพบว่า ปริมาณการกินอาหารเฉลี่ยต่อวัน มีค่าสูงที่สุดในกลุ่มที่ได้รับ BCD ที่ระดับ 0.20 เปอร์เซ็นต์ ($P<0.05$) แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์ผลผลิตไข่ต่อวัน น้ำหนักไข่เฉลี่ย มวลไข่ และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นผลผลิตไข่ ($P>0.05$) เช่นเดียวกันกับ สีไข่แดง น้ำหนักไข่แดง เปอร์เซ็นต์ไข่แดง น้ำหนักไข่ขาว เปอร์เซ็นต์ไข่ขาว ความสูงไข่ขาว น้ำหนักเปลือกไข่ เปอร์เซ็นต์เปลือกไข่ และความหนาของเปลือกไข่ ของเป็ดไข่กลุ่มที่ได้รับอาหารการเสริม BCD มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ความแข็งของเปลือกไข่และกระดูกแข้ง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

ในกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริม BCD และมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) ในกลุ่มที่ได้รับ BCD ที่ระดับ 0.20 เปอร์เซ็นต์ แต่ในทางตรงกันข้าม น้ำหนัก และความยาวของกระดูกแข้ง รวมไปถึงปริมาณการสะสมแร่ธาตุในกระดูกแข้งและเปลือกไข่ของทุกกลุ่มการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

จากผลการทดลองดังกล่าว มีความเป็นไปได้ว่าส่วนผสมของไบโอแคลเซียม แร่ธาตุคีเลต และวิตามินดี 3 อาจมีฤทธิ์ที่เสริมกันโดยการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซึมแคลเซียม และกระตุ้นกระบวนการสร้างเปลือกไข่ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการเสริมไบโอแคลเซียมร่วมกับแร่ธาตุรองคีเลต และวิตามินดี 3 ในอาหารเป็ดไข่ ช่วยให้เปลือกไข่และกระดูกแข้ง มีความแข็งเพิ่มขึ้น ระดับการเสริม ที่ 0.20 เปอร์เซ็นต์ เป็นระดับที่แนะนำ โดยปราศจากส่งผลกระทบเชิงลบต่อสมรรถภาพการผลิตไข่และคุณภาพไข่โดยรวม

Title SUPPLEMENTATION OF BIO-CALCIUM INCLUDING CHELATED TRACE MINERALS AND VITAMIN D3 IN LAYING DUCK DIET ON PERFORMANCE, EGG QUALITY, AND HARDNESS OF TIBIA BONE AND EGGSHELL

Author SATEANPONG MOONSATAN

Advisor Associate Professor Tossaporn Incharoen, Ph.D.

Co-Advisor Associate Professor Wandee Tartrakoon, Dr.sci..Agr

Assistant Professor Rangsun Charoensook, Ph.D.

Academic Paper M.S. Thesis in Animal Science - (Type A1), Naresuan University, 2021

Keywords Bio-calcium Chelated trace minerals Vitamin D Laying ducks

ABSTRACT

Inorganic calcium supplementation is increasingly being used to address in poultry diet. However, there are some disadvantages regarding the efficiency of absorption and utilization in the body, which leads to the problem of easily broken eggshells. Bio-calcium is a calcium supplement that has recently become popular. It consists of peptides that have bioavailability higher than inorganic calcium. Bio-calcium is a by-product from seafood processing industry. Moreover, chelate trace minerals (copper, zinc and manganese) and vitamin D3 are significant factors that directly impact on eggshell quality. Therefore, the objective of this study was evaluated the effect of supplementation bio-calcium including chelated trace minerals and vitamin D3 (BCD) on egg performance, egg quality, hardness of eggshell and tibia bone. Eighty 30-wk-old laying ducks (Khaki Cambell breed) were divided into 4 groups, each with four replicates of five laying ducks. Chicks were fed diet supplemented with BCD at 0, 0.05, 0.10 and 0.20 % diet, respectively during 8 weeks of experimental period. Collect data information of egg performance and randomly collected 12 eggs per group for analyzing egg and eggshell quality regularly one time per week. At the results of the study showed that average daily feed intake was the

highest in BCD 0.20 % diet group ($P<0.05$), but without detrimental effects on percentage of hen-day egg production, average egg weight, egg mass and feed conversion ratio ($P>0.05$). Similarly, yolk color, yolk weight, yolk ratio, albumen weight, albumen ratio, albumen height, eggshell weight, eggshell ratio and eggshell thickness of laying ducks in the supplementation diet group of BCD were not significantly different ($P>0.05$) compared with the control group. Eggshell and tibia bone hardness tended to increase in the BCD supplementation group and was significantly increased ($P<0.01$) in the BCD group of 0.20 % diet. In contrast, tibia weight, length of tibia and mineral contents of eggshell and tibia bone were no significant differences ($P>0.05$).

These results showed that composition of bio-calcium including chelated trace minerals and vitamin D3 may have synergistic effects by increasing calcium absorption efficiency and stimulate the eggshell formation. Therefore, the study concluded that the supplementation of bio-calcium including chelated trace minerals and vitamin D3 in laying duck diet can improve hardness of eggshell and tibia bone. The supplementation level of 0.20 % diet was recommended level without the negative effect on egg performance and egg quality.

ประกาศคุณูปการ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความกรุณาของ รองศาสตราจารย์ ดร.ทศพร อินเจริญ ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้อุตส่าห์สละเวลาอันมีค่ามาเป็นที่ปรึกษา พร้อมทั้งให้คำแนะนำตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอขอบพระคุณคณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.วันดี ทาตระกูล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ เจริญสุข กรรมการสอบโครงร่างและสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิโรจน์ ลิขิตตระกูลวงศ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สนธยา นุ่มท้วม ที่ให้เกียรติเป็นกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ด้วยความเอาใจใส่ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์และทรงคุณค่า

กราบขอบพระคุณ บริษัท ออคต้า เมมโมเรียล จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ผลิตภัณฑ์สารเสริมไบโอแคลเซียมและวิตามินดี (Biocalcio) สำหรับเสริมในอาหารเป็ดไข่ และเงินสมทบทุนบางส่วนสำหรับทำการวิจัยในครั้งนี้

เหนือสิ่งอื่นใดขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ของผู้วิจัยที่ให้กำลังใจและให้การสนับสนุนในทุก ๆ ด้านอย่างดีที่สุดเสมอมา

คุณค่าและคุณประโยชน์อันพึงจะมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบและอุทิศแด่ผู้มีพระคุณทุก ๆ ท่าน ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อระบบอุตสาหกรรมการผลิตสัตว์เศรษฐกิจที่สำคัญในประเทศและผู้ที่สนใจบ้างไม่มากก็น้อย

เสฐียรพงษ์ มูลสถาน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

ประกาศคุณูปการ ..... ช

สารบัญ ..... ซ

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์การวิจัย 2

ขอบเขตของงานวิจัย 2

สมมุติฐานของการวิจัยและกรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย 3

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

การเลี้ยงเป็ดในประเทศไทย 4

เป็ดเนื้อ (Meat-type duck) 4

เป็ดไข่ (Egg-type Duck) 4

การเลี้ยงเป็ดไข่ 7

สถานการณ์การเลี้ยงเป็ดไข่ 9

โภชนะที่จำเป็นสำหรับเป็ดไข่ 11

แร่ธาตุ (Mineral).....14
การแบ่งประเภทของแร่ธาตุ.....14
แร่ธาตุรอง (Trace หรือ Micromineral).....16
แร่ธาตุรองคีเลต (Chelate Trace Mineral).....20
แร่ธาตุหลัก (Major หรือ Macromineral).....21
ความต้องการแคลเซียมและฟอสฟอรัสในสัตว์ปีก.....25
ความสำคัญของแคลเซียมในสัตว์ปีก.....26
ปริมาณที่เหมาะสมของแคลเซียมในเป็ด.....27
การดูดซึมแคลเซียม.....28
ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซึมแคลเซียม.....29
แคลเซียมอนินทรีย์ (Inorganic calcium).....30
แคลเซียมอินทรีย์ (Organic Calcium).....32
ไบโอแคลเซียม (Bio-Calcium).....35
วิตามิน (Vitamins).....37
วิตามินดี (Vitamin D).....40
การเผาผลาญวิตามินดี และภาวะสมดุลของแคลเซียม (Vitamin D Metabolism and Calcium Homeostasis).....44
การควบสมดุลอิเล็คโทรไลท์ในร่างกาย.....46
การสูญเสียน้ำและอิเล็คโทรไลท์.....46
ความสัมพันธ์ของอิเล็คโทรไลท์ต่อการย่อยและดูดซึมอาหาร.....47
การปรับสมดุลสารละลายไฟฟ้าในอาหาร (dietary Electrolyte Balance; dEB).....48
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....50

อุปกรณ์และสารเคมี 50
เครื่องมือ.....51
วิธีการดำเนินงานวิจัยในสัตว์ทดลอง 51
สถานที่ทำการวิจัย 57
ระยะเวลาทำวิจัย 57
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล.....58
การเสริมไบโอแคลเซียมร่วมกับแร่ธาตุรองคีเลต และวิตามินดี 3 ในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตไข่ของเป็ดไข่.....58
การเสริมไบโอแคลเซียมร่วมกับแร่ธาตุรองคีเลต และวิตามินดี 3 ในอาหารต่อคุณภาพไข่ของเป็ดไข่.....60
การเสริมไบโอแคลเซียมร่วมกับแร่ธาตุรองคีเลต และวิตามินดี 3 ในอาหารต่อความแข็งและปริมาณแร่ธาตุในเปลือกไข่ของเป็ดไข่ 61
การเสริมไบโอแคลเซียมร่วมกับแร่ธาตุรองคีเลต และวิตามินดี 3 ในอาหารต่อความแข็งและปริมาณแร่ธาตุในกระดูกแข้งของเป็ดไข่.....64
บทที่ 5 บทสรุป.....68
สรุปผลการวิจัย.....68
ข้อเสนอแนะ 68
บรรณานุกรม.....69
ภาคผนวก.....81
อภิธานศัพท์.....88
ประวัติผู้วิจัย.....91

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 การผลิตสัตว์ปีก 10

ตาราง 2 ความต้องการทางโภชนาการของเป็ดไข่ 12

ตาราง 3 หน้าที่ของแร่ธาตุหลักที่มีความสำคัญต่อเป็ดไข่ 15

ตาราง 4 หน้าที่ของแร่ธาตุรองที่มีความสำคัญต่อเป็ดไข่ 15

ตาราง 5 ความต้องการแคลเซียมระดับที่แนะนำในเป็ดแต่ละสายพันธุ์ในช่วงปี 2005-2020 27

ตาราง 6 หน้าที่ของวิตามิน อาการขาดวิตามิน และแหล่งที่มาของวิตามินที่ละลายในไขมันต่อเป็ดไข่ 37

ตาราง 7 หน้าที่ของวิตามิน อาการขาดวิตามิน และแหล่งที่มาของวิตามินที่ละลายในน้ำต่อเป็ดไข่ 38

ตาราง 8 ระดับการเสริมวิตามินดีในอาหารสัตว์ปีกกระเภทไข่ 42

ตาราง 9 องค์ประกอบของสารเสริม BCD 51

ตาราง 10 ส่วนประกอบและองค์ประกอบทางเคมีจากการคำนวณของอาหารพื้นฐาน 53

ตาราง 11 การเสริมไบโอแคลเซียมร่วมกับแร่ธาตุรองคีเลต และวิตามินดี 3 ในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตไข่ของเป็ดไข่.....60

ตาราง 12 การเสริมไบโอแคลเซียมร่วมกับแร่ธาตุรองคีเลต และวิตามินดี 3 ในอาหารต่อคุณภาพไข่ของเป็ดไข่ 61

ตาราง 13 การเสริมไบโอแคลเซียมร่วมกับแร่ธาตุรองคีเลต และวิตามินดี 3 ในอาหารต่อความแข็งและปริมาณแร่ธาตุในเปลือกไข่ของเป็ดไข่.....63

ตาราง 14 การเสริมไบโอแคลเซียมร่วมกับแร่ธาตุรองคีเลต และวิตามินดี 3 ในอาหารต่อความแข็ง และปริมาณแร่ธาตุในกระดูกแข้งของเป็ดไข่ 66

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพ 1 เป็ดสายพันธุ์กากีแคมเบลล์ (Khaki Campbell) 5

ภาพ 2 เป็ดสายพันธุอินเดียนรันเนอร์ (Indian Runner) 6

ภาพ 3 กลไกการเผาผลาญวิตามินดี 3 ในเป็ดไข่ 42

ภาพ 4 กลไกการเผาผลาญ และการรักษาสมดุลของวิตามินดี 3 และแคลเซียมในเป็ดไข่ 45

ภาพ 5 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเปลือกไข่ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ของเป็ดไข่ที่ได้รับการเสริมไบโอแคลเซียมร่วมกับแร่ธาตุรองคีเลต และวิตามินดี 3 (BCD) ในอาหารที่ระดับ 0.05 (B), 0.10 (C) และ 0.20 (D) เปอร์เซ็นต์ ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า 64

ภาพ 6 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของกระดูกแข้ง (Tibia) ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ของเป็ดไข่ (อายุ 30 ถึง 38 สัปดาห์) ที่ได้รับอาหารไบโอแคลเซียมร่วมกับแร่ธาตุรองคีเลต และวิตามินดี 3 (BCD) ที่ระดับ 0.05 (B), 0.10 (C) และ 0.20 (D) เปอร์เซ็นต์ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า 67

ภาพ 7 กลไกการทำงานของผลิตภัณฑ์เสริมไบโอแคลเซียมร่วมกับแร่ธาตุรองคีเลตและวิตามินดี 3 (Biocalcio Premix) 83

ภาพ 8 ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ Biocalcio Premix 83

ภาพ 9 การเตรียมโรงเรือนสำหรับการเลี้ยงเป็ดไข่ 84

ภาพ 10 การออกแบบและการวางแผนผังโรงเรือนสำหรับการเลี้ยงเป็ดไข่ด้วยระบบการทำความเย็นด้วยการระเหยของน้ำ 84

ภาพ 11 ลักษณะการเลี้ยงและการจัดการคอกทดลอง 85

ภาพ 12 การวิเคราะห์คุณภาพไข่ 85

ภาพ 13 การวิเคราะห์ความหนาของเปลือกไข่ 86

ภาพ 14 การวิเคราะห์ความแข็งของกระดูกแข้ง 86

ภาพ 15 การวิเคราะห์ลักษณะภายนอกทั่วไปของกระดูกแข้งของเป็ดไข่ 86

ภาพ 16 การศึกษาสัณฐานวิทยาและองค์ประกอบของแร่ธาตุ ในเปลือกไข่และกระดูกแข้งด้วยกล้องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 87

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การเลี้ยงเป็ดไข่ในอดีต นิยมเลี้ยงในรูปแบบของเป็ดไล่ทุ่ง ทำให้ยุ่งยากต่อการจัดการสภาพแวดล้อมในการเลี้ยง และการควบคุมการเกิดโรคระบาด โดยเฉพาะโรคไข้หวัดนก หน่วยงานภาครัฐจึงได้กำหนดมาตรการควบคุมและป้องกันโรคที่เข้มงวดมากยิ่งขึ้น (กรมปศุสัตว์, 2555) ส่งผลทำให้จำนวนเกษตรกรผู้เลี้ยงเป็ดไล่ทุ่งเริ่มทยอยลดจำนวนลงเรื่อย ๆ ดังนั้นการส่งเสริมให้เกษตรกรปรับเปลี่ยนรูปแบบการเลี้ยงมาเป็นระบบโรงเรือน จึงเป็นแนวทางที่สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ แต่การเลี้ยงเป็ดไข่ในระบบโรงเรือน ทำให้ต้นทุนค่าอาหารสัตว์เพิ่มสูงขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ เพราะการเลี้ยงในรูปแบบเดิม เป็ดจะมีอิสระในการออกหากินอาหารตามธรรมชาติในพื้นที่ทุ่งนาที่นำไปเลี้ยง เช่น เมล็ดข้าวที่ตกหล่น เศษหญ้า ฟางข้าว กุ้ง หอย ปู ปลา นอกจากนั้นแล้ว เป็ดยังสามารถได้รับแคลเซียมตามแหล่งธรรมชาติ ได้แก่ เปลือกหอย เปลือกปู และแมลงต่างๆ นอกจากนั้นเป็ดยังสามารถสังเคราะห์วิตามินดี (Vitamin D) ได้ด้วยตัวเอง โดยอาศัยรังอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet) จากแสงแดดไปกระตุ้นคอเรสเตอรอล (Cholesterol) ที่สะสมใต้ผิวหนังให้เปลี่ยนไปเป็นวิตามินดี 3 (Maclaughlin et al., 1982; Holick et al., 2004) ซึ่งวิตามินดี 3 มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการรักษาสมดุลของแคลเซียมในร่างกายของเป็ดโดยตรง อีกทั้งช่วยในกระบวนการดูดซึมแคลเซียมไปใช้ประโยชน์ในร่างกายได้ (Cicarma et al., 2009) ดังนั้นการเลี้ยงเป็ดไข่ในระบบโรงเรือนนั้นจึงจำเป็นต้องมีการจัดการรูปแบบการให้อาหารที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ควรมีการพิจารณาเลือกใช้แหล่งแคลเซียมและวิตามินดีให้เหมาะสม เพราะวัตถุดิบทั้ง 2 ชนิดนี้ ถือว่าเป็นโภชนะพื้นฐานที่มีความสัมพันธ์โดยตรงต่อกระบวนการสร้างฟองไข่และคุณภาพเปลือกไข่ หากเกษตรกรมีการจัดการอาหารที่ไม่ดีหรือเลือกใช้แหล่งแคลเซียมและวิตามินดีที่ไม่มีคุณภาพแล้ว อาจส่งผลทำให้เป็ดได้รับแคลเซียมจากอาหารไม่เพียงพอต่อความต้องการ ส่งผลให้เป็ดเกิดปัญหากระดูกเปราะบาง และเปลือกไข่บางและแตกร้าวง่าย รวมทั้งส่งผลเสียต่ออัตราการให้ผลผลิตไข่ และน้ำหนักไข่ตามมาในระยะยาว ซึ่งปัญหาเหล่านี้มักจะเกิดขึ้นในเป็ดไข่ที่ให้ผลผลิตสูง

ไบโอแคลเซียม (Bio-Calcium) ประกอบไปด้วยเปปไทด์ที่มีชีวปริมาณออกฤทธิ์ (Bioavailability) สูงกว่าแคลเซียมอนินทรีย์ โดยเปปไทด์ดังกล่าวสามารถจับกับแคลเซียม (Calcium Chelating) และป้องกันการตกตะกอนของแคลเซียมในรูปเกลือแคลเซียมฟอสเฟต มีคุณสมบัติในการช่วยเพิ่มการดูดซึม และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดี (Jung et al., 2006) นอกจากความต้องการ

แร่ธาตุหลัก อาทิเช่น แคลเซียม และฟอสฟอรัสแล้วนั้น แร่ธาตุรอง (Chelated Trace Minerals) ได้แก่ สังกะสี (Zinc) แมงกานีส (Manganese) และ ทองแดง (Copper) เป็นต้น ยังมีความสำคัญต่อกระบวนการสร้างเปลือกไข่และกระดูกในเป็ดไข่ (Manangi et al., 2015) สังกะสี เป็นแร่ธาตุที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตไข่ และคุณภาพของเปลือกไข่ โดยทำหน้าที่เป็น Co-factor สำหรับเอนไซม์ Carbonic Anhydrase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สำคัญต่อกระบวนการสร้างเปลือกไข่ (Nys et al., 1999) แมงกานีส มีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์ Chondroitin Sulfate ในเปลือกไข่ (Leach and Gross, 1983; Fassani et al., 2000) หากเป็ดขาดแมงกานีส จะพบลักษณะเปลือกไข่บาง เนื่องด้วยโครงสร้างของเมทริกซ์อินทรีย์เปลี่ยนแปลงไป ทองแดงทำหน้าที่เป็น Co-factor สำหรับเอนไซม์ Lysyl Oxidase ซึ่งกระตุ้นการเชื่อมโครงสร้างระหว่างคอลลาเจนและอีลาสตินในเปลือกไข่ ส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของเปลือกไข่ (Baumgartner et al., 1978) ส่วนวิตามินดี หรือ แคลซิไทรออล (Calcitriol) จัดเป็นวิตามินที่มีคุณสมบัติสามารถละลายได้ดีในไขมัน มีหน้าที่สำคัญในการรักษาสมดุลของแคลเซียมและฟอสฟอรัสในร่างกายสัตว์ ช่วยเพิ่มการดูดซึมแคลเซียมบริเวณเยื่อบุผนังลำไส้เล็กพร้อมกับไขมันและเกลือน้ำดี ด้วยการกระตุ้นการสร้างโปรตีนที่จับกับแคลเซียม ส่งผลให้แคลเซียมในกระเสเลือดสัตว์เพิ่มขึ้น (Leeson, & Summers, 2001; Nascimento et al., 2014) ซึ่งมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการกระบวนการสร้างกระดูกและเปลือกไข่ โดยจะไปช่วยเพิ่มการสะสมแคลเซียมในกระดูก ทำให้กระดูกมีการเจริญเติบโต นอกจากนั้นยังช่วยในการนำแคลเซียมไปใช้ในกระบวนการสร้างไข่ได้อีกด้วย ด้วยเหตุนี้ จึงมีความเป็นไปได้ว่าการเสริมไบโอแคลเซียมร่วมกับแร่ธาตุรองคีเลต (ทองแดง สังกะสี และ แมงกานีส) และวิตามินดี 3 ในอาหารเป็ดไข่ อาจเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการอาหารสำหรับเป็ดไข่ที่ถูกเลี้ยงในระบบโรงเรือนได้

วัตถุประสงค์การวิจัย

ศึกษาผลของการเสริมไบโอแคลเซียมร่วมกับแร่ธาตุรองคีเลตและวิตามินดี 3 ในอาหารเป็ดไข่ ต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่ และความแข็งของกระดูกแข้งและเปลือกไข่

ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษาระดับที่เหมาะสมของการเสริมไบโอแคลเซียมร่วมกับแร่ธาตุรองคีเลตและวิตามินดี 3 (Bio-Calcium Including Chelated Trace Minerals And Vitamin D3; BCD) ในอาหารเป็ดไข่ โดยการเสริม BCD ลงไปในอาหารพื้นฐานของเป็ดไข่ มีทั้งหมด 4 ระดับ คือ 0, 0.05, 0.10 และ 0.20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทำการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผลด้านสมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่ ความแข็งและปริมาณการสะสมแร่ธาตุในกระดูกแข้งและเปลือกไข่ รวมทั้งศึกษาลักษณะอนุภาคของกระดูกแข้งและเปลือกไข่ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน เป็ดไข่ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ถูกเลี้ยงใน

โรงเรือนระบบปิด แบบระเหยไอเย็น คอกทดลองแต่ละคอกเป็นแบบกึ่งสแลทและปูรองพื้นด้วยวัสดุรองพื้น ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์

สมมุติฐานของการวิจัยและกรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

การปรับเปลี่ยนวิธีการเลี้ยงเป็ดจากลักษณะการเลี้ยงแบบไล่ทุ่ง มาเป็นการเลี้ยงระบบโรงเรือนปิด ส่งผลให้เป็ดไม่ได้รับรังสีอัลตราไวโอเลต เพื่อใช้ในการสังเคราะห์เป็นวิตามินดี 3 ซึ่งมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการรักษาสมดุล และการใช้ประโยชน์ของแคลเซียมในกระแสเลือด ยิ่งไปกว่านั้นการเลี้ยงเป็ดแบบไล่ทุ่ง ทำให้เป็ดได้รับแหล่งอาหารแคลเซียมจากธรรมชาติ ได้แก่ เปลือกหอย กระดองปู เปลือกกุ้ง หินปูน และกระดูก เป็นต้น แต่เป็ดที่ถูกเลี้ยงโรงเรือนระบบปิด จะไม่สามารถออกหากินเองได้ ด้วยเหตุนี้ จึงมีความเป็นไปได้ว่าการเสริมไบโอแคลเซียมร่วมกับแร่ธาตุรองคีเลตและวิตามินดี 3 อาจจะเป็นอีกปัจจัยสำคัญที่มีผลในเชิงบวกต่อคุณภาพเปลือกไข่ โดยเฉพาะการแก้ไขปัญหาเปลือกไข่แตกร้าว ซึ่งมีทั้งหมด 3 เหตุผลสำคัญ กล่าวคือ 1) ไบโอแคลเซียม ถูกจัดกลุ่มว่าเป็นแคลเซียมอินทรีย์ (Organic Calcium) ที่ประกอบไปด้วยเปปไทด์ที่มีชีวปริมาณออกฤทธิ์ (Bioavailability) ได้สูงกว่าแคลเซียมอนินทรีย์ 2) แร่ธาตุรองคีเลต ได้แก่ แมงกานีส (Manganese) สังกะสี (Zinc) และ ทองแดง (Copper) เป็นต้น ถึงแม้เป็นแร่ธาตุที่ร่างกายต้องการในปริมาณน้อยกว่าแคลเซียม แต่ร่างกายไม่สามารถขาดได้ เพราะแร่ธาตุรองเหล่านี้ มีความจำเป็นต่อระบบโครงร่างของร่างกาย และ 3) วิตามินดี 3 จัดได้ว่าเป็นวิจามินที่มีผลโดยตรงต่อระบบกระดูก สามารถช่วยเพิ่มการดูดซึมแคลเซียมในกระแสโลหิต ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของกระดูกและเปลือกไข่ ดังนั้นหากเป็ดที่ถูกเลี้ยงในระบบโรงเรือน และได้รับอาหารเสริมไบโอแคลเซียมร่วมกับแร่ธาตุรองคีเลต และวิตามินดี 3 อาจส่งผลในเชิงบวกต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่ และความแข็งของกระดูกแข้งและเปลือกไข่

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบระดับที่เหมาะสมของการเสริมไบโอแคลเซียมร่วมกับแร่ธาตุรองคีเลต และวิตามินดี 3 ในอาหารเป็ดไข่ต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่ และความแข็งของกระดูกแข้งและเปลือกไข่

2. เป็นปัจจัยสนับสนุนเพื่อช่วยให้เกษตรกรปรับเปลี่ยนรูปแบบการเลี้ยงเป็ดไข่มาเป็นการเลี้ยงในโรงเรือนระบบปิดมากขึ้น

3. เป็นแนวทางที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการอาหารสำหรับเป็ดไข่ที่ถูกเลี้ยงในระบบโรงเรือน

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การเลี้ยงเป็ดในประเทศไทย

เป็ด (Duck) เป็นสัตว์ปีกชนิดหนึ่ง (จัดอยู่ใน Family Anatidae) เช่นเดียวกับห่านซึ่งมีลักษณะลำตัวใหญ่ ขาสั้น และเท้าเป็นครีบ สายพันธุ์เป็ดส่วนใหญ่ที่เลี้ยงกันอยู่ทุกวันนี้มีบรรพบุรุษมาจากเป็ดป่ามอลลาร์ด (*Anas Platyrhynchos*) เป็ดเพศผู้เรียกว่า Drake ในขณะที่เป็ดเพศเมียเรียกว่า Duck หรือ Duck Hen ส่วนเป็ดเล็กที่ออกมาใหม่ ๆ และเป็ดที่ยังไม่เติบโตเป็นหนุ่มสาวเรียกว่า Duckling เป็ดที่เลี้ยงทั้งหมดสามารถแยกความแตกต่างระหว่างเพศโดยดูลักษณะของขนที่โค้งงอบริเวณหางส่วนบนของเป็ดเพศผู้ และเป็ดเพศผู้จะมีเสียงแหบแห้ง นอกจากนี้เป็ดเพศผู้ยังมีหัวใหญ่และหยาบกว่าเพศเมีย โดยสายพันธุ์เป็ดที่เลี้ยงในประเทศไทยแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก คือ เป็ดไข่ (Egg-type Duck) ซึ่งเป็นเป็ดที่ให้ผลผลิตไข่เป็นหลัก มีขนาดและน้ำหนักตัวไม่มาก และเป็ดเนื้อ (Meat-type Duck) จะเป็นเป็ดที่มีขนาดใหญ่ ตัวใหญ่ และให้เนื้อมาก (กรมปศุสัตว์, 2555)

เป็ดเนื้อ (Meat-type duck)

พันธุ์เป็ดเนื้อที่นิยมเลี้ยงในประเทศไทยมีทั้งหมด 5 สายพันธุ์ ประกอบไปด้วย 1) เป็ดพันธุ์ปักกิ่ง (Pekin Duck) มีต้นกำเนิดจากประเทศจีน เลี้ยงง่าย เจริญเติบโตได้ดีภายในระบบการเลี้ยงแบบโรงเรือนที่มีการจัดการดี 2) เป็ดเทศ (Muscovy) พบที่ทวีปอเมริกาใต้ ให้เนื้อมาก ให้ไข่น้อย เป็ดตัวผู้และเป็ดตัวเมียมี น้ำหนักแตกต่างกันมาก ประกอบกับมีการเจริญเติบโตค่อนข้างช้า จึงไม่นิยมเลี้ยงเพื่อการค้า 3) เป็ดปั๊วฉ่าย (Mule Duck) เป็นเป็ดพันธุ์ผสมระหว่างเป็ดเทศกับเป็ดพื้นเมือง เลี้ยงง่าย โตเร็ว ทนทานต่อโรคและสภาพแวดล้อม 4) เป็ดพันธุ์ผสมเพื่อการค้า (Hybrid Breed) เป็ดพันธุ์ผสมเพื่อการค้าส่วนใหญ่เป็นเป็ดพันธุ์ผสมที่มี พันธุ์เป็ดปักกิ่งผสมอยู่ด้วย เช่น พันธุ์เชอรรี่วอลเลย์ พันธุ์ทีเกล เป็นต้น และ 5) เป็ดเทศพันธุ์กบินทร์บุรี เป็นเป็ดที่มีการปรับปรุงพันธุ์มาจากเป็ดพันธุ์บาร์บารี เลี้ยงง่ายขยายพันธุ์ ได้ดี ทนต่อโรคเหมาะกับการเลี้ยงในประเทศไทย

เป็ดไข่ (Egg-type Duck)

เป็ดไข่ หมายถึง เป็ดที่ให้ผลผลิตไข่เป็นหลัก มีขนาดและน้ำหนักตัวไม่ใหญ่มากนัก เพศเมียจะมีน้ำหนักประมาณ 1.5-1.8 กิโลกรัม โดยเป็ดพันธุ์ไข่ที่นิยมเลี้ยงกันในปัจจุบันมีได้แก่ (กรมปศุสัตว์, 2559)

1. พันธุ์กากีแคมเบลล์ (Khaki Campbell) เป็ดพันธุ์นี้พัฒนาสายพันธุ์โดย Adele Campbell ใน ประเทศอังกฤษตั้งแต่ปลายศตวรรษที่ 18 จนได้เป็นเป็ดพันธุ์ที่ให้ไข่ดกที่สุดในโลกพันธุ์หนึ่ง โดยให้ไข่ประมาณ 300 ฟอง/ปี เป็ดกากีแคมเบลล์มีขนสีน้ำตาล แต่ขนที่หลังและปีกมีสีสลับอ่อนกว่า ปากสีดำค่อนข้างไปทางเขียว จะงอยปากดำ ตาสีน้ำตาลเข้ม คอส่วนบนสีน้ำตาล แต่ส่วนล่างเป็นสีกากี ขาและเท้ามีเดียวกับสีขน แต่เข้มกว่าเล็กน้อย ตัวเมียเมื่อโตเต็มที่หนักประมาณ 2.0-2.5 กิโลกรัม เริ่มไข่เมื่ออายุประมาณ 4 เดือนครึ่ง ตัวผู้ จะมีขนบนหัว คอ ไหล่ และปลายปีกสีเขียว ขนปกคลุมลำตัวสีกากีและน้ำตาล ขาและเท้าสีกากีเข้ม เมื่อโตเต็มที่จะมีน้ำหนักประมาณ 2.5-2.7 กิโลกรัม

ภาพ 1 เป็ดสายพันธุ์กากีแคมเบลล์ (Khaki Campbell)

ที่มา: ดัดแปลงจาก Backyard Poultry Contributor, 2019

2. พันธุ์อินเดียนรันเนอร์ (Indian Runner) เป็ดพันธุ์นี้พบครั้งแรกในหมู่เกาะของประเทศอินโดนีเซีย ชวา และบาหลี มีขนาดเล็ก ตัวผู้โตเต็มเมื่อโตเต็มที่มีจะน้ำหนักประมาณ 1.7-2.5 กิโลกรัมตัวเมียมีน้ำหนักประมาณ 1.5-2.0 กิโลกรัม เป็ดพันธุ์นี้มีอยู่ 3 สีคือ สีขาว สีเทา และสีลาย เป็ดพันธุ์นี้มีลักษณะเด่นประจ้าพันธุ์ที่แปลกกว่าเป็ดพันธุ์อื่น ๆ คือ ขณะยืนคอยืดตั้งตรง ลำตัวเกือบตั้งฉากกับพื้นคล้ายกับนกเพนกวิน ไม่ค่อยบินแต่จะเคลื่อนที่โดยการเดินและวิ่งมากกว่า ปากสีเหลืองแข้งและเท้าสีส้ม ตัวเมียเริ่มให้ไข่เมื่ออายุประมาณ 4 เดือนครึ่ง ให้ไข่ฟองโตและไข่ทน ให้ไข่ประมาณ 150-200 ฟอง/ปี

ภาพ 2 เป็ดสายพันธุ์อินเดียนรันเนอร์ (Indian Runner)

ที่มา: ดัดแปลงจาก Cooper, 2021

3. พันธุ์พื้นเมือง (Native Ducks)

3.1 เป็ดนครปฐม เลี้ยงกันมากในเขตจังหวัดนครปฐม เพชรบุรี สุพรรณบุรี และในพื้นที่ลุ่มในภาคกลาง ตัวเมียมีขนสีลายกาบอ้อย ปากสีเทา เท้าสีส้ม ตัวผู้จะมีสีเขียวแก่ตั้งแต่คอไปถึงหัว รอบคอมีวงรอบสีขาว อกสีแดง ลำตัวสีเทา ปากสีเทา และเท้าสีส้ม ตัวผู้เมื่อโตเต็มที่จะมีหนักประมาณ 3.0-3.5 กิโลกรัม ตัวเมียมีน้ำหนักประมาณ 2.5-3.0 กิโลกรัม เริ่มให้ไข่ที่อายุประมาณ 6 เดือน

3.2 เป็ดปากน้ำ เลี้ยงกันมากในเขตจังหวัดสมุทรปราการ สมุทรสาคร ฉะเชิงเทรา และชลบุรี ตลอดจนจังหวัดที่อยู่ชายฝั่งทะเลอื่น ๆ เป็นเป็ดพันธุ์เล็ก ตัวเมีย มีปาก เท้า และขนปกคลุมลำตัวสีดำ อกสีขาว ส่วนตัวผู้จะมีขนบนหัวและคอสีเขียวเป็นเหลือบเงา มีลำตัวขนาดเล็กกว่าเป็ดนครปฐม ให้ไข่ฟองเล็กกว่า เริ่มให้ไข่เมื่ออายุประมาณ 5-6 เดือน ตัวผู้ของเป็ดพันธุ์พื้นเมืองนิยมนำไปเลี้ยงเป็นเป็ดเนื้อในปัจจุบัน เป็ดไข่พันธุ์พื้นเมืองหายากมาก เนื่องจากมีการผสมพันธุ์ข้ามพันธุ์ระหว่างพันธุ์กากีแคมเบลล์กับพันธุ์พื้นเมืองมาเป็นระยะเวลายาวนาน จนกลายเป็นเป็ดพันธุ์ผสม

3.3 พันธุ์ลูกผสมกากีแคมเบลล์กับพื้นเมือง นิยมเลี้ยงกันมากกว่าพันธุ์แท้ เนื่องจากเลี้ยงง่าย ทนทานต่อโรคและสภาพแวดล้อม ให้เนื้อมากและให้ไข่ดก ให้ไข่ประมาณประมาณ 260 ฟอง/ปี จะเริ่มให้ไข่ที่อายุประมาณ 5-6 เดือน

การเลี้ยงเป็ดไข่

เป็ดพันธุ์ไข่ จะเริ่มให้ไข่เมื่ออายุ 20-22 สัปดาห์ หรือ 4-5 เดือน แล้วแต่ความสมบูรณ์และความต้องการของผู้เลี้ยง เป็ดพันธุ์เบาอาจไข่เร็วกว่าเป็ดพันธุ์หนัก การให้เป็ดไข่เร็วเกินไปจะเป็นผลเสียมากกว่าผลดี เพราะทำให้ไข่เป็ดฟองเล็กและเป็ดยังไม่สมบูรณ์เต็มที่ ทำให้ไข่ไม่ทน ในการเลี้ยงเป็ดไข่เชิงพาณิชย์โดยทั่วไป เป็ดจะให้ไข่เมื่ออายุ 5 เดือนครึ่ง ควรจะทำการย้ายก่อนที่เป็ดจะเริ่มไข่ประมาณ 2-3 อาทิตย์ เพื่อให้เป็ดได้ชินกับสถานที่ใหม่และที่วางไข่ ซึ่งการจัดการต่าง ๆ สำหรับเป็ดระยะไข่ มีดังนี้

1. สถานที่สำหรับวางไข่ของเป็ดไข่

กรณีที่ไม่มีการเตรียมรังไข่ หรือที่สำหรับให้เป็ดไข่ เป็ดจะไข่ในแอ่งมุมต่าง ๆ ตามคอก ดังนั้นเพื่อให้เป็ดไข่เป็นที่เป็นทางแน่นอน ควรทำที่สำหรับให้เป็ดวางไข่ หรือรังไข่ หากเลี้ยงเป็ดจำนวนน้อยก็ควรทำเอง แล้วรองด้วยฟางหรือขี้กบตามแนวข้างคอก ควรเปลี่ยนฟางหรือขี้กบบ่อยๆ เพื่อไม่ให้ไข่สกปรก ถ้าเลี้ยงเป็นจำนวนมาก ควรทำรังที่มีช่องสำหรับแม่เป็ดเข้าไปวางไข่ขนาด 40×40×40 เซนติเมตร ให้วางรังไข่ติดกับฝาผนังของห้องด้านใดด้านหนึ่ง โดยใช้อัตรารังไข่ 1 ช่องต่อแม่เป็ด 4-5 ตัว ภายในรังไข่จะต้องมีแกลบหรือขี้กบรอง ซึ่งควรสะอาดและใหม่อยู่เสมอ ความหนาประมาณ 4 นิ้ว รังไข่ควรติดตั้งให้แล้วเสร็จเมื่อเป็ดมีอายุ 18 สัปดาห์

2. การให้อาหารเป็ดไข่

โดยปกติแล้วเป็ดจัดว่าเป็นสัตว์ที่ตื่นตกใจง่าย ดังนั้นการให้น้ำ ให้อาหาร หรือการเปลี่ยนผู้เลี้ยงใหม่ควรระมัดระวังเป็นพิเศษ โดยเฉพาะในช่วง 1-6 เดือนแรกของการให้ไข่ ซึ่งเป็นช่วงที่ให้ผลผลิตสูง หากมีสิ่งรบกวนทำให้ตกใจเป็ดจะหยุดไข่ทันที ในฤดูร้อนที่มีอากาศร้อนจัด เป็ดจะกินอาหารน้อยลงในเวลากลางวัน ควรจัดอาหารให้เป็ดกินเพิ่มเติมในตอนกลางคืน จะทำให้เป็ดไข่ดกไข่ทนยิ่งขึ้น วิธีแก้ปัญหาเป็ดกินอาหารน้อยอีกวิธีหนึ่ง คือให้เพิ่มคุณค่าหรือเพิ่มเปอร์เซ็นต์ของสารอาหารต่าง ๆ ในอาหาร เช่น ปกติเป็ดกินอาหารวันละ 220 กรัม อาจลดเหลือ 108 กรัม ในฤดูร้อน แต่หากเราเพิ่มคุณค่าอาหารให้เท่ากับ 220 กรัม จะแก้ปัญหานี้ได้ อีกประการหนึ่งคือ ต้องทราบว่าเป็ดเป็นสัตว์ที่ชอบกินจุกกินจิก การให้อาหารลูกเป็ดจึงควรให้ 3-4 ครั้ง/วัน แต่ละครั้งที่ให้อย่ามากจนเหลือในราง ซึ่งอาจเป็นแหล่งเพาะเชื้อโรคต่าง ๆ ทำให้เป็ดเกิดโรคระบาด เป็นผลเสียอย่างที่คาดไม่ถึง ส่วนสำคัญที่คาดไม่ได้คือ น้ำ ต้องมีตั้งไว้ให้กินอย่างเพียงพอตลอดเวลา เพราะเป็ดมีความต้องการน้ำมาก ถ้าเป็ดขาดน้ำจะหยุดไข่ทันที และอาจทำให้ผลัดขนอีกด้วย ผู้เลี้ยงต้องดูแลเรื่องน้ำเป็นพิเศษ เพื่อให้เป็ดกินน้ำได้อย่างเพียงพอ โดยเฉพาะในฤดูร้อนถ้าใส่น้ำแช่น้ำแข็งให้เป็ดกินได้ก็จะช่วยลดความเครียดและความร้อน ช่วยให้เป็ดไข่ดีขึ้น ส่วนแร่ธาตุนั้นควรนำมาให้เป็ดกินอย่างเพียงพอ เช่น กระดูกป่น เปลือกหอยป่น และควรจัดกรวดตั้งไว้ให้เป็ดกินด้วย เนื่องจากกรวดมีส่วน

สำคัญในการช่วยย่อยอาหารของเป็ด การให้อาหารเป็ดมีหลายวิธีด้วยกัน ขึ้นอยู่กับวิธีเลี้ยงเป็ดว่าเลี้ยงแบบใด เช่น เลี้ยงแบบปล่อยทุ่ง แบบโรงเรือนปิด แบบมีลาน มีบ่อ หรือแบบขังเล้าไม่มีลาน

2.1 การให้อาหารแบบปล่อยทุ่ง โดยปล่อยให้เป็ดกินอาหารพวกกุ้ง หอย ปู ปลา ไส้เดือน และแมลงตามธรรมชาติหลังเก็บเกี่ยว พร้อมกับเก็บข้าวตกไปด้วย เมื่อถึงตอนเย็นก็จะตอนเป็ดเข้าคอกที่ทำขึ้นชั่วคราวอย่างง่ายๆ แล้วให้อาหารมื้อเย็น ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นอาหารจำพวกแป้ง คือ ข้าวเปลือก รำ และปลายข้าว บางครั้งอาจผสมด้วยอาหารเสริมพวกยาปฏิชีวนะบ้าง การเลี้ยงเป็ดด้วยวิธีนี้จะไม่อยู่ประจำที่ แต่เป็ดจะถูกต้อนไปเรื่อย ๆ ไปยังแหล่งที่มีอาหารเพื่อลดต้นทุน

2.2 การให้อาหารผสม เหมาะสำหรับการให้อาหารเป็ดไข่ที่เลี้ยงแบบกักคอก เป็ดไข่ต้องการโภชนะที่ค่อนข้างสูง โดยทั่วไปควรใช้อาหารที่มีโปรตีนอยู่ระหว่าง 15-17 เปอร์เซ็นต์ เสริมแร่ธาตุและวิตามินให้เพียงพอ แต่ไม่จำเป็นต้องเสริมยาปฏิชีวนะ เพราะเป็ดตอบสนองต่อยาปฏิชีวนะน้อยมาก นอกจากนี้ควรมีเปลือกหอยใส่รางอาหารให้ได้กินตลอดเวลา หรือเป็นบางเวลา อาหารของเป็ดชนิดนี้ควรให้ในรูปของอาหารผสมเปียก จะดีกว่าการให้แบบแห้งๆ เพราะเป็ดจะกลืนลำบาก ทำให้อาหารสูญเสียมากต้องกะให้เป็ดกินหมดภายใน 15-20 นาที อย่าให้อาหารเหลือสะสมติดราง รางใส่อาหารต้องคอยทำความสะอาดบ่อยๆ บางท้องที่หากสามารถหาปลาสดหรือหอยสดได้ ก็ควรเสริมให้กินมื้อละประมาณ 5 กิโลกรัมต่อเป็ด 100 ตัว หรือจะแยกให้อาหารปลาต่างหาก 1-2 มื้อ สลับกับอาหารผสม ปลา เป็ด หรือหอยสดควรสับหรือบดเสียก่อน ข้อเสียของการให้อาหารสด ก็คือ ยุ่งยาก สิ้นเปลืองแรงงาน เป็นแหล่งเพาะแมลงวัน เป็ดเป็นโรคได้ง่าย

อาหารผสมอาจผสมตามสูตร หรือซื้อจากบริษัทผู้ผลิตอาหาร วิธีหลังนี้จะเหมาะกว่า เพราะสะดวกในการใช้ สิ้นเปลืองแรงงานน้อย อาหารเก็บไว้ได้นาน ส่วนมากแล้วหัวอาหารจะมีโภชนาการครบถ้วนทุกอย่างที่คำนวณได้สัดส่วน หากหัวอาหารที่ซื้อมามีโปรตีนไม่ต่ำกว่า 37 เปอร์เซ็นต์ ควรนำมาผสมเพิ่มเติมโดยใช้รำหยาบ 50 ส่วน ปลายข้าว 14 ส่วน รำละเอียด 14 ส่วน หัวอาหาร 22 ส่วน หากต้องการให้สีไข่แดงตามความต้องการของผู้บริโภค ควรผสมสารแซนโธฟิลหรือผสมใบกระถินป่นลงในอาหาร หรือให้เป็ดกินหญ้าสดอีก จะช่วยให้ไข่แดงสีเข้ม อาหารที่มีข้าวโพดเหลืองผสม ก็จะช่วยให้ไข่แดงสีเข้มได้เช่นกัน

การให้อาหารเป็ดไข่อีกกรณีหนึ่ง คือ การให้อาหารเม็ด ซึ่งปัจจุบันนิยมใช้เลี้ยงเป็ดมาก ช่วยให้ลูกเป็ดโตดีที่สุด ทั้งเมื่ออายุ 4 และ 8 สัปดาห์ ช่วยให้เป็ดขนเต็มเมื่ออายุ 12 สัปดาห์ ในเป็ดไข่การให้อาหารเม็ดจะช่วยให้เป็ดไข่ได้ดีกว่าอาหารผง 1.2 เปอร์เซ็นต์ ข้อดีอื่น ๆ ของการให้อาหารเม็ดเลี้ยงเป็ดก็คือ ทำให้ประหยัดอาหารได้ 15-20 เปอร์เซ็นต์ ลดการสูญเสียอาหาร ช่วยให้รางน้ำสะอาดอยู่เสมอได้นาน ลดการเปียกชื้นของอาหารลง ทำให้ไม่เป็นที่เพาะเชื้อราและแมลงวัน ส่วนข้อเสียของอาหารเม็ดก็คือ ราคาแพงกว่าอาหารชนิดผง

2.3 การให้อาหารอย่างเต็มที่ หลังจากที่ไข่ได้ 10-20 เปอร์เซ็นต์ แล้ว เป็ดที่ไข่ดีจะกินอาหารน้อยกว่าเป็ดที่ไข่ไม่ดี แต่โดยทั่วไปเป็ดไข่จะกินอาหารก่อนผสมน้ำปริมาณ 15-20 กิโลกรัม ต่อ 100 ตัวต่อวัน การให้อาหารควรแบ่งเป็น 2 มื้อ มื้อเช้าเวลา 10 โมง ให้กินน้อยคือ 7-8 กิโลกรัม ต่อเป็ด 100 ตัว มื้อเย็นเวลา 5 โมง ให้กินมาก คือประมาณ 8-10 กิโลกรัมต่อเป็ด 100 ตัว หากให้อาหารวิธีนี้จะเหลืออาหารอีกส่วนหนึ่งประมาณ 2-3 กิโลกรัมต่อเป็ด 100 ตัว ใช้สำหรับเสริมให้เป็ดที่อ่อนแอกินในตอนหลัง เพราะเป็ดพวกนี้แย่งกินไม่ทัน หากไม่ช่วยเหลือจะทำให้ไข่ลดลงได้

3. การให้แสงสว่างเป็ดไข่

เริ่มต้นตั้งแต่ในระยะเป็ดรุ่นเมื่ออายุ 20 สัปดาห์ แล้วเพิ่มการให้แสงวันละ 25-30 นาที ในระยะเริ่มให้ไข่จนได้แสงสว่างวันละ 17-18 ชั่วโมง รักษาอยู่ในระดับนี้ตลอดระยะการไข่ การให้แสงสว่างเพิ่มจากแสงอาทิตย์ตามธรรมชาติ จะเพิ่มให้ในตอนค่ำหรือตอนเช้ามืดก็ได้แล้วแต่สะดวก แต่อย่าลืมว่าในเป็ดที่กำลังให้ไข่นั้น เมื่อเพิ่มแล้วลดให้สั้นลงไม่ได้ จะทำให้เป็ดไข่น้อยลง หลอดไฟให้แสงสว่างควรติดสูงพ้นศีรษะผู้เลี้ยงและให้กระจายอยู่ทั่วคอก เพื่อป้องกันการเกิดเงา ซึ่งจะทำให้เป็ดตื่นตกใจและหยุดไข่ได้

4. โรงเรือนสำหรับเป็ดไข่

การเตรียมโรงเรือนสำหรับเลี้ยงเป็ดไข่ ควรทำความสะอาด ปรับพื้นคอก และโรยด้วยปูนขาวพร้อมพ่นยาฆ่าเชื้อโรคทิ้งไว้ประมาณ 1 สัปดาห์ ต้องเป็นโรงเรือนที่กันแดด กันฝน มีอากาศถ่ายเทสะดวก ส่วนพื้นที่เป็นดินแข็งปนทราย ต้องแห้งอยู่เสมอ มีลานกว้าง เพื่อให้เป็ดได้วิ่งออกกำลังกายได้ และจัดที่ไว้ให้อาหารและน้ำ โดยพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงเป็ดไข่ในโรงเรือนมีดังนี้

4.1 พื้นที่การเลี้ยงระยะลูกเป็ดและเป็ดรุ่น คือ 6-8 ตัวต่อตารางเมตร

4.2 พื้นที่การเลี้ยงระยะลูกเป็ดไข่ คือ 3-4 ตัวต่อตารางเมตร

นอกจากนั้นพื้นที่ในโรงเรือนแบ่งสัดส่วนพื้นที่การเลี้ยง ดังนี้ พื้นที่การกินอาหารและบริเวณพักผ่อน ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ของโรงเรือน พื้นที่สำหรับการวางไข่ ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ของโรงเรือน และพื้นที่ลานนอกโรงเรือนมีบ่อน้ำ หรือรางน้ำสำหรับให้เป็ดกินน้ำและเล่นน้ำประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ของโรงเรือน

สถานการณ์การเลี้ยงเป็ดไข่

จากสถานการณ์การเลี้ยงเป็ดในประเทศไทยได้ประสบปัญหาโรคไข้หวัดนกระบาดนับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 เกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ปีกต้องทำลายสัตว์ปีกจำนวนมาก ส่งผลให้การเลี้ยงในเชิงการค้าได้รับผลกระทบจากโรคระบาดดังกล่าว โดยเฉพาะเป็ดที่เลี้ยงแบบอิสระ (การเลี้ยงแบบไล่ทุ่ง หรือแบบหลังบ้าน) ของเกษตรกรไทย ได้ถูกสั่งกำจัดทิ้งทั้งหมด หลังจากมาตรการควบคุมและป้องกันโรคระบาด และแก้ไขสถานการณ์ให้ดีขึ้น จากการให้ความร่วมมือในการเฝ้าระวังและแก้ไขปัญหาระหว่าง

หน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งเกษตรกรและผู้ประกอบการธุรกิจด้านปศุสัตว์ตลอดจนการพัฒนาการเลี้ยงสัตว์ปีกให้อยู่ในรูปแบบที่ได้มาตรฐาน มีการนำเทคโนโลยีเข้ามาใช้ในการเลี้ยง ส่วนเกษตรกรรายย่อยได้มีการจัดการฟาร์มที่ดีขึ้น มีการควบคุมและป้องกันโรคตามคำแนะนำของหน่วยงานราชการ จึงทำให้การเลี้ยงสัตว์ปีกที่สำคัญทางเศรษฐกิจ คือ ไก่เนื้อ ไก่ไข่ เป็ดเนื้อ และเป็ดไข่ ดำเนินมาได้จนถึงปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเลี้ยงเป็ดที่ได้มีระบบการเลี้ยงและการควบคุมการแพร่กระจายของโรคในรูปแบบที่เหมาะสม

จากข้อมูลกรมปศุสัตว์ (2561) ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาภาพรวมของการผลิตในสาขาปศุสัตว์นั้นมีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง ตามสภาวะการขยายตัวทางเศรษฐกิจ โดยเฉพาะในกลุ่มสัตว์เศรษฐกิจที่สำคัญ เช่น ไก่เนื้อ สุกร ไข่ไก่ โคเนื้อ และน้ำนมดิบ ทั้งนี้ เนื่องจากระบบฟาร์มที่ได้มาตรฐานมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น และสถานการณ์การการควบคุม โรคระบาดต่าง ๆ อยู่ในสภาวะที่ควบคุมได้ดี ส่งผลดีต่อความเชื่อมั่นในการบริโภค โดยจากการคากการณ์ปริมาณการผลิตสัตว์ปีก (ตารางที่ 1) แสดงให้เห็นว่าการผลิตเป็ดเนื้อและไข่เป็ดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ทั้งนี้นไก่เนื้อ ไก่ไข่ และไก่พื้นเมืองนั้น ก็มีแนวโน้มของปริมาณการผลิตที่ขยายตัวเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นอย่างมากเช่นกัน

ตาราง 1 การผลิตสัตว์ปีก

Year	Native chicken (million)	Broiler chicken (million)	meat-type duck (million)	Egg (million)	Duck egg) (million)
2558	70.13	1,338.94	24.34	12,399.74	1,018.27
2559	70.19	1,140.25	23.92	11,255.33	1,131.35
2560	69.93	1,169.43	24.06	11,501.51	1,110.95
2561	69.39	1,192.29	24.11	11,602.15	1,096.67
2562	69.79	1,210.09	24.13	11,692.88	1,090.77
2563	69.88	1,210.20	24.11	11,690.32	1,089.60
2564	69.83	1,184.45	24.07	11,548.44	1,103.87
2565	69.76	1,193.29	24.10	11,607.06	1,098.37

ที่มา: ดัดแปลงจาก กรมปศุสัตว์, 2561

สถานการณ์ด้านราคาไข่เป็ด

ดัชนีราคาเนื้อสัตว์ เป็ด และไก่ ในปี 2563 สูงขึ้น 2.44 เปอร์เซ็นต์ โดยไข่และผลิตภัณฑ์นม สูงขึ้น 0.95 เปอร์เซ็นต์ (ไข่ไก่ และไข่เป็ด) ขณะที่หมวดอื่น ๆ ไม่ใช่อาหารและเครื่องดื่ม ลดลง 0.01 เปอร์เซ็นต์ (กระทรวงพานิชย์, 2563) ทั้งนี้เกิดขึ้นจากอัตราเงินเฟ้อทั่วไปในระยะสั้นที่ได้รับผลกระทบมาจากการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัส COVID-19 ทั่วโลก ซึ่งเป็นปัจจัยทางลบด้านอุปสงค์ ที่

ส่งผลกระทบต่อระบบเศรษฐกิจของโลกและประเทศไทยโดยรวม นอกจากนั้นจากข้อมูลสัดส่วนการบริโภคต่อครัวเรือน และเมื่อศึกษาดัชนีราคาผู้ผลิตของประเทศ แบ่งตามกิจกรรมการผลิต (CPA : Classification Of Products By Activity) เดือนกุมภาพันธ์ 2563 เท่ากับ 101.2 สูงขึ้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ เป็นผลจากการสูงขึ้นของราคาหมวดผลผลิตเกษตรกรรม 5.3 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากสินค้าเกษตรส่วนใหญ่มีปริมาณผลผลิตลดลงจากภาวะภัยแล้ง และอีกส่วนหนึ่งได้รับแรงหนุนจากมาตรการภาครัฐ ขณะที่หมวดผลิตภัณฑ์จากเหมืองลดลง 4.0 เปอร์เซ็นต์ และหมวดผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมลดลง 0.4 เปอร์เซ็นต์

โภชนะที่จำเป็นสำหรับเป็ดไข่

อาหารเป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งในการเลี้ยงเป็ด โดยจะคิดเป็นสัดส่วน 75 เปอร์เซ็นต์ (กรมปศุสัตว์, 2559) ของต้นทุนการผลิต การเลี้ยงเป็ดแบบปล่อย เพื่อให้เป็ดกินอาหารตามธรรมชาติ เป็ดจะได้รับอาหารไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย หรืออาจจะได้รับอาหารที่มีคุณภาพต่ำ ส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพและคุณภาพผลผลิตไข่ ปัจจุบันมีการพัฒนาการให้อาหารเป็ดไข่มากขึ้น มีการผลิตอาหารสำเร็จรูปตามช่วงอายุ และความต้องการของเป็ดไข่ โดยแบ่งเป็นช่วงอายุ 3 ระยะ ดังนี้ ระยะลูกเป็ด อายุ 0-7 สัปดาห์ ระยะเป็ดรุ่น อายุ 8-19 สัปดาห์ และระยะเป็ดไข่ อายุ 20 สัปดาห์ จนถึงช่วงอายุปลดระวาง

ทั้งนี้ Fouad et al. (2018) ได้สรุประดับความต้องการโปรตีนในอาหารของเป็ดวัยต่าง ๆ ไว้ว่า ลูกเป็ดช่วงแรกเกิดจนถึง 21 วัน ต้องการอาหารที่มีโปรตีน 19-21 เปอร์เซ็นต์ เป็ดรุ่นต้องการอาหารที่มีโปรตีน 17-18 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเป็ดระยะให้ไข่ต้องการอาหารที่มีโปรตีน 15-17 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตาราง 2 และสำหรับโภชนะที่จำเป็นสำหรับเป็ดไข่ ปฐม เลาหะเกษตร (2540) กล่าวว่า โภชนะที่จำเป็นแบ่งออกได้เป็น 6 ประเภท

1. น้ำ (Water) น้ำเป็นส่วนประกอบของร่างกายเป็ด ตัวเป็ดประกอบด้วยน้ำประมาณ 55-78 เปอร์เซ็นต์ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอายุของเป็ด น้ำมีส่วนช่วยในกระบวนการย่อย และการดูดซึมโภชนะที่ย่อยได้แล้ว น้ำเป็นส่วนประกอบสำคัญของโลหิตและน้ำเหลือง นอกจากนี้ยังเป็นส่วนประกอบของน้ำภายในฟองไข่ด้วย การสูญเสียน้ำไปเพียง 10 เปอร์เซ็นต์ ของร่างกายอาจทำให้สัตว์ปีกตายได้

2. คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrates) อรวรรณ ชินราศี (2547) กล่าวว่า เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในร่างกายถือได้ว่าเป็นอาหารหลัก เพราะเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารประมาณ 40-80เปอร์เซ็นต์ อาหารประเภทนี้แบ่งออกได้เป็น 2 พวก ตามลักษณะความยากง่ายในการย่อย ได้แก่

2.1 แป้งและน้ำตาล เรียกตามเคมีวิเคราะห์ว่า ไนโตรเจน ฟรี เอกสแทรก (Nitrogen Free Extract) เป็นส่วนที่ละลายง่ายและย่อยง่ายโดยเอนไซม์จากสัตว์ ได้แก่ เมล็ดพืชต่าง ๆ เช่น ข้าวโพด

2.2 เยื่อใย (Crude Fiber) ประกอบไปด้วยสารเซลลูโลสยังมีเฮมิเซลลูโลสและลิกนินรวมอยู่เล็กน้อย สัตว์กระเพาะเดี่ยวไม่สามารถย่อยได้ แต่ก็มีความจำเป็นในอาหารสัตว์ปีก เพราะทำหน้าที่กระตุ้นการเคลื่อนไหวของลำไส้ ช่วยให้การขับถ่ายดีขึ้น

3. ไขมัน (Lipid) เป็นแหล่งของพลังงาน โดยให้พลังงานสูงกว่าคาร์โบไฮเดรตถึง 2.25 เท่า ไขมันมี 2 ชนิด คือ ไขมันที่ประกอบไปด้วยกรดไขมันอิ่มตัว (Saturated Fatty Acid) ในปริมาณสูง ได้แก่ ไขมันที่ได้จากสัตว์ เช่น ไขมันสุกร และไขมันที่ประกอบไปด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated Fatty Acid) ในปริมาณสูง ได้แก่ น้ำมันพืช ประกอบไปด้วยกรดไขมันที่จำเป็นช่วยให้เป็ดเนื้อเจริญเติบโตเร็ว ไม่สะสมไขมันไว้ที่ตับ ทำให้ไม่เป็นโรคเกี่ยวกับระบบหายใจ สำหรับเป็ดไข่กรดไขมันที่จำเป็นจะช่วยให้ไข่ฟองโตและไข่ฟักออกดี แต่ไม่ควรใช้เกิน 9 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้เป็ดถ่ายเหลว

4. โปรตีน (Protein) อยู่ในรูปโปรตีนรวม (Crude Protein) ประกอบด้วยโปรตีนแท้และสารประกอบที่ไม่ใช่โปรตีน ดังนั้นคุณภาพโปรตีนจึงถูกกำหนดโดยดูจากกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบ ในสัตว์ทั่วไปกรดอะมิโนที่จำเป็นมี 10 ชนิด แต่จากการวิจัยพบว่ากรดอะมิโนที่จำเป็นสำหรับสัตว์ปีกมี 13 ชนิด หากสัตว์ได้รับโปรตีนได้รับปริมาณที่มากเกินไปจะถูกขับออกนอกร่างกาย แต่หากได้รับน้อยเกินไปไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกายจะส่งผลให้ร่างกายอ่อนแอ ผลผลิตลดลง อาหารเป็ดควรมีโปรตีนประมาณ 15-17 เปอร์เซ็นต์

ตาราง 2 ความต้องการทางโภชนาการของเป็ดไข่

Nutrient	1–7 week	8-19 week	Laying period
Metabolizable energy, kcal/kg	2,900.00	3,000.00	2,500.00
Protein, %	20.00	18.00	17.00
Methionine, %	0.48-0.50	0.47-0.50	0.40
Lysine, %	1.10	1.00	0.80
Threonine, %	0.70-0.80	0.70-0.80	0.60
Tryptophan, %	0.23	0.23	0.21
Calcium, %	0.83	0.89	3.60
Available phosphorus, %	0.40	0.40	0.35
Manganese, mg/kg	80-100	80-100	90.00

Nutrient	1–7 week	8-19 week	Laying period
Zinc, mg/kg	60.00	60.00	90.00
Iron, mg/kg	60.00	60.00	50.00
Copper, mg/kg	10.00	10.00	10.00
Iodine, mg/kg	0.20	0.20	0.50
Selenium, mg/kg	0.30	0.30	0.40
Vitamin A, IU	10,000.00	8,000.00	12,000.00
Vitamin D3, IU	3,000.00	3,000.00	2,000.00
Vitamin E, mg/kg	20.00	20.00	38.00
Vitamin K, mg/kg	2.00	2.00	1.00
Thiamine, Vitamin B1, mg/kg	2.00	2.00	3.00
Riboflavin, Vitamin B2, mg/kg	10.00	8.00	9.60
Pyridoxine, Vitamin B6, mg/kg	4.00	4.00	6.00
Cyanocobalamin, Vitamin B12, mg/kg	0.02	0.02	0.03
Choline, mg/kg	1,000.00	750.00	500.00
Pantothenic acid, mg/kg	20.00	10.00	28.50
Folic acid, mg/kg	1.00	1.00	0.60
Biotin, mg/kg	0.20	0.20	0.15
Niacin, mg/kg	50.00	50.00	25.00

ที่มา: ดัดแปลงจาก Fouad et al. 2018

5. วิตามิน (Vitamin) เป็นสารอินทรีย์ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต และการดำรงชีพของร่างกายจึงต้องการเพียงเล็กน้อยเพื่อให้ปฏิกิริยาต่าง ๆ ในร่างกายดำเนินไปได้ตามปกติ สัตว์ไม่สามารถสร้างเองได้หรือสร้างได้น้อยไม่เพียงพอต่อความต้องการ แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ตามคุณสมบัติการละลาย ได้แก่

5.1 ไวตามินที่ละลายในไขมัน (Fat-Soluble Vitamins) ประกอบไปด้วยไวตามิน เอ ดี อี และเค

5.2 ไวตามินที่ละลายได้ในน้ำ (Water- Soluble Vitamins) ได้แก่ ไธอามีน ไรโบฟลาวิน กรดนิโคทินิค กรดโฟลิก ไบโอติน กรดแพนโทเธนิค ไพริด็อกซีน ไวตามินบี 12 และโคลีน

6. แร่ธาตุ (Minerals) แร่ธาตุเป็นสารอินทรีย์เคมีที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของโครงกระดูกและเปลือกไข่ พบอยู่ในทุกส่วนของเนื้อเยื่อของร่างกายเป็ด

แร่ธาตุ (Mineral)

วรรณพร ทะพิงค์แก (2560) ได้กล่าวไว้ว่า แร่ธาตุเป็นสารประกอบอนินทรีย์ (Inorganic Compound) ประกอบด้วยธาตุอื่นที่นอกเหนือจากธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ส่วนใหญ่เสริมลงในอาหารในรูปของสารเคมี โดยปกติสำหรับสัตว์กระเพาะรวมจะให้สัตว์เลียกินตามใจชอบ (Fed Free Choice) ในรูปของแร่ธาตุแท่งหรือก้อนแร่ธาตุ (Salt Block) ส่วนสัตว์ปีกจะเสริมในรูปแบบสารเสริมในอาหารสัตว์ (Feed Additive) โดยแร่ธาตุเป็นส่วนประกอบของร่างกายประมาณ 4-5% ของน้ำหนักตัวสัตว์ ถึงแม้ว่าจะมีปริมาณน้อย แต่ก็นับว่ามีความสำคัญมาก เพราะการดำรงชีวิตอยู่ได้อย่างเป็นปกติสุขนั้น ร่างกายจะขาดแร่ธาตุไม่ได้ เนื่องจากแร่ธาตุมีความสำคัญต่อกระบวนการเมแทบอริซึมของร่างกาย การขาดหรือการได้รับแร่ธาตุอย่างไม่เพียงพอต่อความต้องการ จะทำให้เกิดความผิดปกติของร่างกายสัตว์ได้ นอกจากนั้นแร่ธาตุบางชนิดถูกจัดเป็น แร่ธาตุที่เป็นพิษ (Toxic Minerals) เพราะสามารถสะสมอยู่ในร่างกายได้หากได้รับมากเกินความต้องการ สัตว์จะเริ่มแสดงอาการเป็นพิษและตายในที่สุด ดังนั้นการใช้แร่ธาตุผสมในอาหารสัตว์จึงเป็นเรื่องที่ต้องคำนึงถึงให้มาก (Suttle, 2010)

การแบ่งประเภทของแร่ธาตุ

สามารถแบ่งตามปริมาณที่มีในร่างกาย หรือความต้องการต่อวันของสัตว์ได้แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ

1. กลุ่มที่ต้องการในปริมาณมากหรือแร่ธาตุหลัก (Major หรือ Macromineral) คือแร่ธาตุที่ต้องการในปริมาณ 0.1-1.0 กรัม หรือมากกว่า ได้แก่ แคลเซียม (Calcium; Ca) ฟอสฟอรัส (Phosphorus; P) โซเดียม (Sodium; Na) คลอรีน (Chlorine; Cl) โพแทสเซียม (Potassium; K) แมกนีเซียม (Magnesium; Mg) และกำมะถัน (Sulfur; S) แร่ธาตุพวกนี้มีประมาณ 60-80% ของสารอนินทรีย์ทั้งหมดในร่างกาย

2. กลุ่มที่ต้องการในปริมาณน้อยหรือแร่ธาตุปลีกย่อย (Trace หรือ Micromineral) โดยอาจต้องการในหน่วยไมโครกรัมต่อกรัมอาหาร (ส่วนในล้านส่วน; Part Per Million; ppm) หรือ 1,000 ไมโครกรัมต่อกรัมอาหาร ได้แก่ เหล็ก (Iron; Fe) สังกะสี (Zinc; Zn) ไอโอดีน (Iodine; I) ทองแดง (Copper; Cu) ซีลีเนียม (Selenium; Se) แมงกานีส (Manganese; Mn) ฟลูออลีน (Fluorine; F) โคบอลท์ (Cobalt; Co) โมลีบดินัม (Molybdenum; Mo) และโครเมียม (Chromium; Cr) โดย S สามารถถูกจัดให้เป็นแร่ธาตุหลักและแร่ธาตุปลีกย่อย โดยสัตว์จะต้องการในปริมาณน้อยในกรณีที่เป็น Inorganic S แต่ในกรณีที่เป็น Organic S คือองค์ประกอบของกรดอะมิโน (Sulfur-Containing Amino Acids) มีความจำเป็นอย่างมากและต้องการในปริมาณสูง

ในหนึ่งวันร่างกายจะมีการขับแร่ธาตุออกทางอุจาระ ปัสสาวะ และเหงื่อ ในรูปเกลือ Na^+, K^+, Ca^+, Mg^+, และ NH_4^+ เป็นต้น ดังนั้น ปริมาณแร่ธาตุที่ร่างกายสัตว์ต้องการในแต่ละวันก็ควรจะเท่ากับ

ปริมาณที่ร่างกายต้องเสียไป ทั้งนี้ Perry et al. (2003) ได้อธิบายบทบาท และหน้าที่ของแร่ธาตุที่สำคัญต่อการผลิตของเป็ดไข่ไว้ดังแสดงใน ตารางที่ 3 และ 4

ตาราง 3 **หน้าที่ของแร่ธาตุหลักที่มีความสำคัญต่อเป็ดไข่**

Name	Functional	Symptoms	Sources
Calcium	เป็นส่วนประกอบของกระดูกและเปลือกไข่ เกี่ยวข้องกับการทำงานของกล้ามเนื้อและระบบประสาท	ส่งผลต่อคุณภาพของเปลือกไข่และความสามารถในการฟักไข่ส่งผลทำให้เกิดโรคกระดูกอ่อน	เนื้อและกระดูกป่น ปลาป่น หินปูน และไดแคลเซียมฟอสเฟต
Phosphorus	ทำงานร่วมกับ Ca ช่วยในการเคลื่อนย้ายลิปิด และเป็นส่วนประกอบของ DNA และ RNA	เกิดโรคกระดูกอ่อน คุณภาพเปลือกไข่ต่ำ และส่งผลต่อความสามารถในการฟักไข่	เนื้อและกระดูกป่น ปลาป่น หินปูน ไดแคลเซียมฟอสเฟต และธัญพืช
Choline	รักษาแรงดันออสโมติก เป็นส่วนประกอบของบัพเฟอร์ ส่วนประกอบของเอนไซม์บางชนิด และเกี่ยวข้องกับการทำงานของกล้ามเนื้อ และประสาท	อัตราการกินได้น้อย น้ำหนักลด ในเป็ดไข่และเป็ดไข่มีอาการจิกขน (feather picking)	เนื้อป่น ปลาป่น และเกลือแกง
Magnesium	การทำงานของระบบประสาทและกระตุ้นให้เกิดการสังเคราะห์โปรตีน	เกิดการตายอย่างกะทันหัน สั่นเกร็ง กระตุก โรคกระแตเวียน (grass tetany) ตกใจง่ายเมื่อมีสิ่งใดมากระตุ้นหรือสัมผัส	พืชที่มีโปรตีนสูง พืชผักใบเขียว แมกนีเซียมออกไซด์

ที่มา: ดัดแปลงจาก Perry et al., 2003

ตาราง 4 หน้าที่ของแร่ธาตุรองที่มีความสำคัญต่อเป็ดไข่

Name	Functional	Symptoms	Sources
Manganese	มีความสำคัญต่อระบบสืบพันธุ์	ส่งผลต่อความสามารถในการฟักไข่	รำ แมงกานีสซัลเฟต แมงกานีสออกไซด์

Name	Functional	Symptoms	Sources
Iodine	เป็นส่วนประกอบของฮอร์โมนไทรอกซิน	เกิดโรคคอพอกในเป็ด (Goitre) น้ำหนักลด อัตราการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตไข่ต่ำ	อาหารทะเล ปลาป่น
Copper	เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์และฮอร์โมนหลายชนิด ช่วยสังเคราะห์ฮีโมโกลบิน ปรากฏในสารที่มีสี สีตามขน	เกิดโลโลหิตจาง ขนขาดสี กล้ามเนื้อทำงานไม่ประสานกัน	พบปริมาณที่เพียงพอในอาหารทั่วไป
Iron	เป็นส่วนประกอบของฮีโมโกลบิน ขนส่ง O_2 และ CO_2 ระหว่างเนื้อเยื่อ	ภาวะโลหิตจาง	พืชใบเขียว โดยเฉพาะถั่ว
Zinc	เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์และฮอร์โมนหลายชนิด	ส่งผลต่อลักษณะสีขน และทำให้กระดูกสั้น	ยีสต์ รำ จุดงอกของเมล็ดพืช ซิงค์ออกไซด์ ซิงค์คาร์บอเนต ซิงค์ซัลเฟต
Cobalt	องค์ประกอบของวิตามินบี 12	การเจริญเติบโตช้า อัตราการตายสูง และความสามารถในการฟักลดลง	หญ้า โคบอล์ตซัลเฟต

ที่มา: ดัดแปลงจาก Perry et al., 2003

แร่ธาตุรอง (Trace หรือ Micromineral)

1. เหล็ก (Iron; Fe)

Fe ที่ร่างกายนำมาใช้ในการทำงานของร่างกาย ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของ Oxygen-Carrying Chromoprotein เช่น ฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) มี Fe 65% ไมโอโกลบิน (Myoglobin) มี Fe 3-5% และเอนไซม์ต่าง ๆ มี Fe น้อยกว่า 1% ส่วน Fe ที่เหลือ 15-20% มีเก็บสำรองไว้ในรูปของเฟอร์ริติน (Ferritin) และฮีโมซิเดอริน (Hemosiderin) ที่ตับ ม้าม และไขกระดูก โดยมีหน้าที่ในร่างกาย ดังนี้

1. เกี่ยวข้องกับการขนส่งออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ระหว่างเนื้อเยื่อต่างๆ กับปอด โดยฮีโมโกลบินและไมโอโกลบิน

2. เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกัน ถ้าขาด Fe จะพบลิมโฟไซด์ ชนิดที (T-lymphocyte) อินเตอร์ลูคิน 1 และ 2 (interleukin-1, 2) ลดลง

3. เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์สารสื่อประสาท (Neurotransmitter) ทำให้สองทำหน้าที่ได้ปกติ

การดูดซึม

1. ความเป็นกรดของกระเพาะและกรดเกลือช่วยให้ Fe ในอาหารละลายได้ดี และป้องกันไม่ให้เหล็กฟอสเฟตตกตะกอน ทำให้ Fe อยู่ในสภาพเป็นไอออน

2. สารที่มีฤทธิ์รีดิวซ์ (Reduce) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกลูตาไธโอน และกรดเอสคอร์บิก (Ascorbic Acid) จะรีดิวซ์ Fe^{3+} เป็น Fe^{2+} ซึ่งร่างกายจะดูดซึมเข้าไปได้

3. ภาวะขาด Fe หรือร่างกายต้องการ Fe เพิ่มขึ้น เช่น สัตว์ที่กำลังเจริญเติบโต สัตว์ที่ตั้งท้องและให้นม ร่างกายจะดูดซึมมากขึ้น

4. ฟอสเฟต ไฟเตต และออกซาเลต เมื่อรวมกับ Fe แล้ว จะทำให้ไม่สามารถดูดซึมได้

แหล่งของเหล็ก พบมากในพืชใบเขียว โดยเฉพาะพวกถั่ว (legume) และส่วนเปลือกหุ้มเมล็ด แต่อาหารที่มาจากน้ำนมจะมี Fe น้อยมาก สำหรับในเลือดปนมี Fe มาก แต่นำไปใช้ประโยชน์ได้น้อยเนื่องจากมีกระบวนการที่ร่างกายขับเมือกออกมาเพื่อยับยั้งการดูดซึม เรียกว่า “ Mucosal Block”

2. สังกะสี (Zinc; Zn)

สังกะสีเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์หลายชนิด และมีความสัมพันธ์กับฮอร์โมนบางชนิด การเสริม Zn จะช่วยให้สัตว์โตเร็วขึ้น เนื่องจากหากขาด Zn จะทำให้ลำไส้ดูดซึมอาหารช้าลง การเจริญเติบโตช้าลง มีอาการโรคผิวหนัง

แหล่งของสังกะสี พบมากในยีสต์ รำ และจุดงอกของเมล็ดธัญพืช หรือเสริมในรูปของซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide; ZnO) ซิงค์คาร์บอเนต (Zinc Carbonate; $ZnCO_3$) ละซิงค์ซัลเฟต (Zinc Sulphate; $ZnSO_4$) หรือรูปของซิงค์คีเลต (Zinc-Chelate) อย่างไรก็ตาม อาหารที่มี Ca, P และ ไฟเตตมาก จะขัดขวางการดูดซึม เพราะจะไปรวมกันเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของสังกะสี แคลเซียม และฟอสฟอรัส (Zinc-Calcium Phytate Complex) ที่ไม่ละลาย ฉะนั้น การดูดซึม Zn จากพืชจึงเป็นไปได้ไม่ดี เพราะพืชส่วนใหญ่จะมี Ca และไฟเตตมาก

3. ทองแดง (Copper; Cu)

แม้ว่าจะไม่ได้เป็นส่วนประกอบภายในโมเลกุลของฮีโมโกลบิน แต่มีความจำเป็นอย่างมากในการสร้างฮีโมโกลบิน รวมทั้งการทำงานของเม็ดเลือดแดงในการหมุนเวียนเลือด ในตับจะเป็นแหล่งของ Cu ที่สำคัญ โดยมีหน้าที่ในร่างกาย ดังนี้

1. เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์และโปรตีนหลายชนิด

2. ช่วยในการดูดซึม Fe เพราะการดูดซึม Fe จะเป็นไปได้ด้วยดีต้องมี Cu ในร่างกายอย่างเพียงพอด้วย

3. ช่วยในการสังเคราะห์ฮีโมโกลบินที่ไขกระดูก ถ้าขาด Cu แม้จะไม่ขาด Fe ก็ทำให้เป็นโรคเลือดจางได้

4. มักปรากฏอยู่ในสารที่มีสี เช่น ทูราริน (Turacin) สีที่อยู่ตามขน (Pigment Of Feather) Cu จะช่วยทำให้มีสีตามปกติ

การดูดซึม โดยปกติจะดูดซึมได้ 30-40% แต่ถ้าได้ Zn, Cd, Mo, So_4 และไฟเตตมากจะทำให้ Cu ดูดซึมได้น้อยลง

แหล่งของทองแดง โดยทั่วไปปริมาณของ Cu จะขึ้นอยู่กับดินที่ปลูกพืชอาหารสัตว์ อาจอยู่ในรูปของเกลือของ Cu แต่ถ้าได้รับมากเกินไปหรือได้รับติดต่อกันเป็นเวลานาน จะสะสมตามเนื้อเยื่อโดยเฉพาะที่ตับและสมอง เกิดการทำลายเนื้อเยื่อตับและสมอง อาจทำให้ตายได้

4. แมงกานีส (Manganese; Mn)

มีความสำคัญต่อระบบสืบพันธุ์ หากขาดจะทำให้ไข่ตกไม่สม่ำเสมอ ลูกที่คลอดออกมาจะอ่อนแอมาก นอกจากนี้ยังทำให้อัณฑะลีบเล็กในสัตว์ตัวผู้ ส่วนในลูกไก่และลูกเป็ดจะเป็นโรคเอ็นเคลื่อน (Slipped Tendon หรือ Perosis) คือ มีอาการผิดปกติของกระดูกขา ข้อเข่าบวม และเอ็นร้อยหวาย (Achilles Tendon) เลื่อนไปจากส่วนที่ยื่นกลมบริเวณกระดูกตาตุ่ม หรือคอนไดน์ (Condyles)

แหล่งของแมงกานีส พบมาในรำ โดยส่วนใหญ่จะมีเพียงพออยู่แล้วในพืชอาหารสัตว์แต่มักเสริมในรูปของแมงกานีสซัลเฟต (MnO_2) แต่อย่างไรก็ตามถ้าร่างกายได้รับ Mn มากเกินไป จะไปขัดขวางการดูดซึม Fe ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้เกิดโรคเลือดจางได้

5. ไอโอดีน (Iodine; I)

มีปริมาณน้อยในร่างกายสัตว์ เป็นส่วนประกอบของฮอร์โมนไทรอกซิน (Thyroxine) ซึ่งผลิตจากต่อมไทรอย์ โดยมีหน้าที่ในร่างกาย ในการเป็นสารประกอบของไตรไอโอโดไทโรนีน (triiodothyronine; T_3) และ Tetraiodothyronine; T_4 หรือ ไทรอกซิน (Thyroxine) โดยทั้ง T_3 และ T_4 เป็นฮอร์โมนที่สำคัญเกี่ยวกับเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน การแบ่งตัวของเซลล์ การเจริญเติบโต การสืบพันธุ์ การทำงานของระบบประสาทส่วนกลาง ระบบประสาทอัตโนมัติ ไขกระดูก และหัวใจ

แหล่งของไอโอดีน พบมากในอาหารทะเล ปลาป่น หรือเสริมในรูปของเกลือไอโอดีน (Iodize Salt; NaI หือ KI)

6. โคบอลต์ (Cobalt; Co)

มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการเจริญของแบคทีเรียในกระเพาะหมักของสัตว์เคี้ยวเอื้อง ถ้าขาดจะทำให้จำนวนแบคทีเรียลดลง นอกจากนั้น Co ยังเป็นองค์ประกอบของวิตามินบี 12 และเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ไรโบนิวคลีโอไทด์ รีดักเทส (Ribonucleotide Reductase) ซึ่งความสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ดีเอ็นเอ (DNA)

แหล่งของโคบอลต์ พบมากในหญ้า หรืออาจเสริมวนรูปของโคบอลต์ซัลเฟต (Cobalt Sulfate; $CoSO_4$)

7. โมลิบดินัม (Molybdenum; Mo)

ถ้าในดินมี Mo สูงเกินไป จะทำให้พืชมี Mo มากตามไปด้วย เป็นผลให้สัตว์ได้รับ Mo มากเกินความจำเป็น จึงจะไปรบกวนเมแทบอลิซึมของ Cu ทำให้ร่างกายสัตว์ขาด Cu ถึงแม้จะได้รับในปริมาณที่เพียงพอในอาหาร การแก้ไขเมื่อมี Mo สูงเกินไป ทำได้โดยการเพิ่ม Cu ในอาหารให้มากขึ้นและ/หรือเสริมซัลเฟต เนื่องจากช่วยลดฤทธิ์ของ Mo และทำให้ Mo ขับออกมาทางปัสสาวะปริมาณในเลือดก็จะลดลงได้

8. ซีลีเนียม (Selenium; Se)

เป็นแร่ธาตุที่ต้องระมัดระวังเรื่องความเป็นพิษ คือถ้าในดินมี Se มากก็จะทำให้พืชอาหารสัตว์ดูดซึม Se มามากด้วย เมื่อสัตว์กินเข้าไปจะทำให้เกิดการเป็นพิษขึ้นมาได้ ทำให้เป็นโรคอัลคาไรด์ (Alkali Disease) คือ สภาวะที่เลือดมีความเป็นด่างมากเกินไป ทำให้ขนร่วง ตาลืมไม่ขึ้น เดินโซเซเป็นวงกลม (Blind Stagger) ไม่อยากกินอาหาร เป็นอัมพาต และตายในที่สุด โดยมีหน้าที่เป็นสารประกอบของเอนไซม์กลูตาไทโอนเปอร์ออกซิเดส (Glutathione Peroxidase; GPx) ซึ่งกระตุ้นการกำจัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen Peroxide; H_2O_2) และกลุ่มของสารออร์แกนิก เปอร์ออกไซด์ (Organic Peroxide) เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันต่าง ๆ โดยทำงานร่วมกับวิตามินอีในการป้องกันเนื้อเยื่อไม่ให้ถูกทำลาย โดยวิตามินอีทำหน้าที่ป้องกันการเกิดสารเปอร์ออกไซด์ ในขณะที่ Se ทำหน้าที่กำจัดสารเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นให้หมดไป

9. ฟลูโอลีน (Fluorine; F)

เป็นส่วนประกอบสำคัญของกระดูกและฟัน ทำให้ฟันแข็งแรง แต่จะเกิดอันตรายได้หากได้รับในปริมาณมากเกินไป เพราะสามารถสะสมในร่างกายได้ (Fluorosis) ในช่วงที่ได้รับมากเกินไปจะไม่แสดงอาการแต่อย่างใด ต่อมาจะแสดงออกที่ฟันคือจะทำให้ฟันไม่เรียบ เป็นรอยด่าง เป็นหลุมกร่อน ผันกรามแยกออกจากกัน ประสาทฟันจะไวต่อความเย็น นอกจากนั้นทำให้สัตว์กินอาหารน้อยลง ถ้าได้รับ F เป็นเวลานาน จะมีผลทำให้การเจริญเติบโต การสืบพันธุ์ และการให้น้ำนมลดลง

แหล่งของฟลูโอลีน จะพบมาในเมล็ด หรือแหล่งที่เสริมฟอสฟอรัส เนื่องจาก F มักติดหรือปนมาอยู่ในรูปของหินฟอสเฟตทุกชนิด

แร่ธาตุรองคีเลต (Chelate Trace Mineral)

Chelating หมายถึง กระบวนการทางเคมีระหว่างสารอินทรีย์ กรดอะมิโน และเปปไทด์ ซึ่งสามารถจับกับแร่ธาตุประจุบวก ได้แก่ ธาตุเหล็ก สังกะสี ทองแดง โคบอลต์ และแมงกานีส ด้วยพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์ ซึ่งสารที่เกิดขึ้นเรียกว่า “คีเลต” โดยสารคีเลตจะล้อมแคตไอออนหรือประจุบวกของแร่ธาตุที่เป็นโลหะไว้ เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีโลหะถูกจับอยู่ในโมเลกุลไม่เปิดโอกาสให้ประจุลบจากที่อื่นเข้าทำปฏิกิริยาได้ ปฏิกิริยาการรวมกันนี้ เรียกว่า Chelation โดยทั่วไปแร่ธาตุคีเลตจะย่อยง่ายกว่าแร่ธาตุที่ไม่ได้อยู่ในรูปคีเลต หรือหมายถึงปฏิกิริยา Chelation ทำให้แร่ธาตุมีความสามารถในการดูดซึมสารอาหารเข้าสู่ร่างกายสูง โดยแร่ธาตุอะมิโน แอซิด คีเลต (Amino Acid Chelate) จะเป็นตัวพาแร่ธาตุผ่านเข้าไปในระบบทางเดินอาหารของสัตว์ โดยไม่เปิดโอกาสให้ประจุลบจากที่อื่นเข้าทำปฏิกิริยากับแร่ธาตุนั้นได้ ทำให้ร่างกายสัตว์ได้รับแร่ธาตุเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งทำให้เพิ่มการเจริญเติบโตของร่างกายสัตว์ อีกทั้งยังสามารถกระตุ้นภูมิ ทำให้ร่างกายแข็งแรงมากขึ้น นอกจากนั้นคีเลตเป็นแร่ธาตุอนินทรีย์ที่แตกต่างจากแร่ธาตุอื่น ๆ เนื่องจากสามารถจับกับกรดอะมิโน (Dayyani et al., 2013)

กลไกการทำงานของแร่ธาตุรองคีเลต (Chelate Trace Mineral) ในเป็ดไข่ นอกจากแร่ธาตุหลักและวิตามินดี 3 แล้ว แร่ธาตุรอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งแร่ธาตุรองคีเลต ได้แก่ สังกะสี ทองแดง และแมงกานีส มีบทบาทที่สำคัญอย่างยิ่งต่อกระบวนการสร้างเปลือกไข่ และกระดูกของเป็ดไข่ โดยจากการรายงานของ Manangi et al. (2015) ได้กล่าวไว้ว่า แร่ธาตุสังกะสี ส่งผลต่อคุณภาพไข่โดยตรง โดยมีบทบาทในการเป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์ carbonic anhydrase ซึ่งจำเป็นต่อการสร้างเปลือกไข่ ส่วนแร่ธาตุแมงกานีสจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างแมทริกซ์อินทรีย์ของเปลือกไข่ โดยกระทบต่อการสังเคราะห์ chondroitin sulfate ในกระบวนการสร้างเปลือกไข่ ส่วนทองแดงเป็นแร่ธาตุที่สำคัญในเอ็นไซม์ lysyl oxidase ซึ่งกระตุ้นการสร้างโครงร่างของคอลลาเจนและอีลาสตินในเปลือกไข่และกระดูก ซึ่งหากเป็ดไข่ขาดนั้นจะส่งผลให้เกิดความผิดปกติของเปลือกไข่และกระดูกได้

ข้อดีของแร่ธาตุคีเลต

1. แร่ธาตุเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับเอนไซม์ในร่างกายของสัตว์ ข้อบกพร่องและการขาดสมดุลของแร่งธาตุในร่างกายอาจนำไปสู่ภาวะสุขภาพที่ร้ายแรง

2. แร่ธาตุคีเลตมีความสามารถในการดูดซึมสูง โดยปกติแร่ธาตที่สัตว์ได้รับในอาหารมักจะเป็นแร่ธาตุอนินทรีย์ แต่ทั้งนี้แร่ธาตุอนินทรีย์มีประสิทธิภาพในการแตกตัวเป็นไอออนได้ง่าย ทำให้มีประสิทธิภาพในการดูดซึมต่ำ แร่ธาตุคีเลตที่พบในอาหารจะจับกับโปรตีน ในทำนองเดียวกันกรดอะมิโนจะได้รับการปกป้องโดยโครงสร้างวงแหวนในแร่คีเลต ซึ่งจะช่วยปกป้องแร่ธาตุเมื่อผ่านความเป็นกรดของระบบย่อยอาหารเพื่อให้แร่ธาตุมีประโยชน์ทางชีวภาพมากขึ้น การศึกษาของ

Dayyani et al. (2013) ระบุว่าแร่ธาตุคีเลตมีการดูดซึมและการใช้ประโยชน์ได้มากกว่าแร่ธาตุอนินทรีย์

3. แร่ธาตุคีเลตมีความคงตัวที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากโครงสร้างวงแหวนของแร่ธาตุคีเลตมีความสามารถในการหลีกเลี่ยงการยับยั้งของปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน เมื่อผสมกับวิตามินที่ละลายในไขมัน โครงสร้างแหวนยังช่วยให้แร่ธาตุสามารถหลีกเลี่ยงความเป็นปรปักษ์กับแร่ธาตุอื่น ๆ ได้

แร่ธาตุหลัก (Major หรือ Macromineral)

1. โพแทสเซียม (Potassium; K)

เป็นสารอนินทรีย์ประจุบวก (Inorganic Cation) ที่มีมากที่สุดภายในเซลล์ ทำงานร่วมกับ Na, Cl และประจุไบคาร์บอเนต (Bicarbonate Ion) ในกระบวนการออสโมซิสของของเหลวในร่างกายและเกี่ยวข้องกับการทำงานของกล้ามเนื้อและระบบประสาท

หน้าที่ในร่างกาย

1. เป็นส่วนประกอบของเซลล์ สามารถผ่านเข้า-ออกเซลล์ได้ง่ายกว่า Na
2. เป็นส่วนประกอบของน้ำหลังในลำไส้เล็ก
3. เป็นโคแฟคเตอร์ (Co-Factor) ของเอนไซม์หลายชนิด เช่น ไพรูเวตไคเนส (Pyruvate Kinase) แอลโดเลส (Aldolase) และ ATPase เป็นต้น
4. เป็นธาตุที่จำเป็นในการทำงานของกล้ามเนื้อ และระบบประสาท เช่นเดียวกับ Na
5. เกี่ยวข้องกับกระบวนการเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต
6. ช่วยรักษาแรงดันออสโมติกของของเหลวในเซลล์

2. โซเดียม (Sodium; Na)

เป็นสารอนินทรีย์ประจุบวกที่มีมากที่สุดในของเหลวภายนอกเซลล์ (Extracellular Fluids) ประมาณ 40% ของ Na จะอยู่ในกระดูก 50% อยู่ในของเหลวนอกเซลล์ และอีก 10% อยู่ในของเหลวในเซลล์ (Intracellular Fluids) โดยทั่วไปอยู่ในบริเวณเนื้อเยื่อที่อ่อนนุ่มและในของเหลวในร่างกายของสัตว์ ทำหน้าที่คล้าย Ca

1. เป็นตัวสำคัญในการรักษาแรงดันออสโมติก และการกระจายของน้ำในส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย
2. เป็นส่วนประกอบของระบบบัฟเฟอร์ในร่างกาย
3. เป็นส่วนประกอบของน้ำย่อยอาหาร น้ำหลั่งต่าง ๆ ในระบบทางเดินอาหาร
4. เป็นส่วนประกอบของกระดูกและฟัน
5. จำเป็นในการทำงานของกล้ามเนื้อและระบบประสาท

แหล่งของโซเดียม พบมากในอาหารพวกเนื้อป่น หรือผลิตภัณฑ์จากสัตว์ อาหารที่มาจากทะเล หรืออาจให้รูปของเกลือแร่ (Sodium Chloride; NaCl) ส่วนผักทั่วไปมักมี Na ต่ำ

3. คลอรีน (Chlorine; Cl)

เป็นสารอนินทรีย์ประจุลบ (Inorganic Anion) ที่มีมากในของเหลวนอกเซลล์ ทำงานร่วมกับ Na และ K ในเรื่องความสมดุลของกรด-ด่าง และแรงดันออสโมซิส สามารถขับออกนอกร่างกายทางปัสสาวะและเหงื่อ (โดนระเหยออก) ในรูปของ NaCl หรือ โพแทสเซียมคลอไรด์ (Potassium Chloride; KCl) หากร่างกายได้รับ Cl มากเกินความต้องการ โดยไม่มี Na หรือ K ไปถ่วงดุล จะทำให้เกิดสภาพกระเพาะกรดได้ (Acidosis)

แหล่งของคลอรีน พบมากในปลาและเนื้อป่น ส่วนมากจะอยู่ในรูปของเกลือแกง (Common Salt) หรือเสริมในรูปของ KCl

4. กำมะถัน (Sulphur; S)

มีประมาณ 0.15% ของน้ำหนักตัว มีอยู่ในเซลล์ทั่วไป โดยปกติได้รับปริมาณเพียงพอจากอาหาร โดยมีหน้าที่ดังนี้ในร่างกาย

1. เป็นส่วนประกอบของกรดอะมิโน 3 ชนิด คือ เมทไธโอนีน ซิสตีน และซิสเตอีน ซึ่งพบอยู่ในโปรตีนทั่ว ๆ ไป ผมและผิวหนังมีซิสตีนมากเป็นพิเศษ ซึ่งกำมะถันในกรดอะมิโน มีหน้าที่สำคัญในการคงรูปร่าง และทำหน้าที่เป็นโปรตีนแต่ละชนิด

2. เป็นส่วนประกอบของกรดน้ำดี (Bile Acid) กลูตาไธโอน (Glutathione) ฮอร์โมนอินซูลิน (Insulin) วิตามินบี 1 (Thiamine) และวิตามินบี 7 (Biotin) เป็นต้น

3. ตับใช้ซัลเฟต (Sulphate) ในการจับสารพิษบางชนิดที่เกิดจากการสะลายกรดอะมิโนโดยแบคทีเรีย ทำให้กลายเป็นสารที่ไม่เป็นพิษ สารเหล่านี้เกิดจากการบูดเน่าที่ลำไส้ใหญ่ทำให้อุจาระมีกลิ่นเหม็น ซึ่งสารที่เกิดขึ้นนี้บางส่วนจะถูกดูดซึมเข้ากระแสเลือดไปยังตับ ตับจะทำลายพิษ โดยรวมกับซัลเฟตเป็นเอสเทอร์ (Ester) จับอยู่กับ Na^+ และ K^+ เรียกว่า Wthereal Sulfate

แหล่งของกำมะถัน แหล่งที่สำคัญที่สุด คือ อาหารโปรตีนทั้งจากพืชและสัตว์

5. แมกนีเซียม (Magensium; Mg)

ประมาณ 60-65% อยู่ในกระดูก 27% อยู่ในกล้ามเนื้อ 6-7% อยู่ในเซลล์อื่น ๆ และมีเพียง 1% ที่อยู่ในของเหลวนอกเซลล์ มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับ Ca และ P ถ้าหากร่างกายมี Mg มากเกินไป จะถูกขับออกได้ทางปัสสาวะ และอุจจาระ โดยมีหน้าที่ในร่างกาย ดังนี้

1. เป็นตัวกระตุ้นการทำงานของฟอสเฟต และเกี่ยวข้องกับกระบวนการเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต

2. เป็นตัวกระตุ้นให้มีการสังเคราะห์กรดอะมิโนและโปรตีน โดยเร่งให้เกิดการรวมกลุ่มของไรโบโซม (Ribosome) และช่วยให้มีการจับกันระหว่าง mRNA กับ 70S ไรโบโซม

3. จำเป็นสำหรับการทำงานของระบบประสาท

การดูดซึม Mg และ Ca มีการดูดซึมที่เดียวกันตรงบริเวณลำไส้เล็กส่วนต้น พบว่า ถ้ามี Ca ในอาหารมาก จะทำให้การดูดซึม Mg ลดลง การดูดซึมไม่ได้ขึ้นอยู่กับวิตามินดี หรือปัจจัยอื่น ๆ เช่น การดูดซึมของ Ca ถ้าในอาหารมี Mg น้อย ลำไส้จะปรับให้มีการดูดซึมมากขึ้นจนเกือบไม่มีเหลือออกมาทางอุจจาระ นอกจากนั้นอาหารที่เป็นไขมัน ฟอสเฟต กรดไฟติก หรือความเป็นด่างในอาหารจะขัดขวางการดูดซึม Mg เพราะไปทำให้เกิดสบู่แมกนีเซียม แมกนีเซียมฟอสเฟต และแมกนีเซียมไฟเตต ซึ่งต่างก็ละลายยากทั้งสิ้น

แหล่งของแมกนีเซียม ได้แก่ รำข้าวสาลี ยีสต์แห้ง พืชที่มีโปรตีนสูง (กากฝ้าย และกากลินซีด) ถั่ว พืชผักสีเขียว เพราะ Mg เป็นส่วนประกอบในคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) หรืออาจเสริมในรูปของแมกนีเซียมออกไซด์ (Magnesium Oxide; MgO) ก็ได้

6. ฟอสฟอรัส (Phosphorus; P)

พบว่า ประมาณ 80% ของ P จะอยู่ในกระดูก เป็นสารประกอบของกระดูกร่วมกับ Ca ส่วนที่เหลืออยู่ในเนื้อเยื่อทั่วโดยเป็นสารประกอบของฟอสโพโปรตีน (Phosphoproteins) กรดนิวคลีอิก (Nucleic Acids) และฟอสโฟลิปิดส์ (Phospholipids)

หน้าที่ในร่างกาย

1. ทำหน้าที่ร่วมกับแคลเซียมโดยเป็นองค์ประกอบของกระดูกและฟัน
2. มีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการเมแทบอลิซึมของพลังงาน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน
3. มีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการเคลื่อนย้ายลิพิดต่าง ๆ ในร่างกาย
4. เป็นส่วนประกอบของ DNA และ RNA ช่วยในการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม

แหล่งของฟอสฟอรัส พบมากในอาหารที่มีโปรตีนสูง เช่น น้ำนม ปลาป่น เนื้อและกระดูกป่น รวมทั้งเมล็ดธัญพืช อย่างไรก็ตามสิ่งที่ต้องพิจารณา คือ การนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Availability) ของ P ในพวกเมล็ดธัญพืช ที่แร่ธาตุจำนวนมากอยู่ในรูปของไฟเตต (Phytate) ซึ่งเป็นเกลือของไฟติก (Phytic Acid) และกรดฟอสฟอริก (Phosphoric Acid) P จะถูกนำไปใช้ได้ลดลง เนื่องจากไม่ละลายน้ำ และเอนไซม์ในตัวสัตว์ไม่สามารถย่อยได้หรือย่อยได้น้อย เอนไซม์ที่ย่อยไฟเตตในพืช (Plant Phytate Enzyme) หรือเอนไซม์ที่ย่อยไฟเตตจากจุลินทรีย์ (Bacteria Phytase) บางชนิดสามารถย่อยไฟเตตได้ ทำให้ P ที่มีอยู่ในวัตถุดิบอาหารสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เพิ่มขึ้น โดยพบว่า จุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้อง สามารถผลิตเอนไซม์ไฟเตส (Phytase) ย่อยไฟเตตได้ โดยสัดส่วนระหว่าง Ca และ P (Ca-P ratio) ต้องมีความเหมาะสม ไม่เช่นนั้น จะเป็นอัตรายต่อสัตว์ได้ สัดส่วนที่เหมาะสมคือ 1-2 Ca ต่อ 1 P แต่สำหรับในไก่ไข่ และเป็ดไข่ ต้องการ Ca มากกว่านี้ เพื่อนำไปใช้สำหรับกระบวนการสร้างเปลือกไข่

7. แคลเซียม (Calcium; Ca)

แคลเซียม (Calcium; Ca) เป็นแร่ธาตุที่มีมากที่สุดในร่างกายสัตว์ ประมาณ 99% เป็นส่วนประกอบของกระดูกและฟันอีก 1% อยู่ในเซลล์ทั่วไปรวมทั้งอยู่ในของเหลวภายนอกและภายในเซลล์ โดยเถ้ากระดูกประกอบไปด้วย Ca : P : Mg (36% : 17% : 1%) แต่ปริมาณจะไม่คงที่ เพราะหลังจากถูกดูดซึมไปสร้างเป็นกระดูกแล้ว Ca และ P สามารถถูกปลดปล่อย (Resorption) ออกจากกระดูกได้ โดยการถูกดึงไปใช้ในสัตว์ที่อยู่ในระยะให้นม รวมถึงการย้าย Ca และ P ระหว่างกระดูกกับเนื้อเยื่ออ่อนซึ่งเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ

กระบวนการดูดซึมกลับของแคลเซียม (Ca Resorption) ถูกควบคุมโดยต่อมพาราไทรอยด์ ถ้าสัตว์ได้รับแคลเซียมในระดับต่ำต่อมพาราไทรอยด์จะถูกกระตุ้นให้ผลิตฮอร์โมนออกมา ซึ่งเป็นผลให้เกิดการปลดปล่อยแคลเซียมออกจากกระดูกเข้าสู่กระแสเลือดไปยังส่วนที่ร่างกายต้องการให้พอเพียง และเนื่องจาก Ca ในกระดูกเกาะอยู่กับ P จึงทำให้ P ถูกปลดปล่อยออกมาด้วยแล้วอาจจะขับออกจากร่างกาย ทำให้เกิดการขาด P ในกระดูก (วรรณพร ทะพิงค์แก, 2560)

แหล่งของแคลเซียมแบ่งงออกเป็น 2 แหล่ง คือ จากวัตถุดิบที่เป็น แหล่งแร่ธาตุธรรมชาติและแหล่งแร่ธาตุที่อยู่ในรูปสารเคมี (Shafey, 1993) และพันทิพา (2538) รายงานว่าวัตถุดิบที่เป็นแหล่งแคลเซียมจากธรรมชาติได้ แก่

7.1 เปลือกหอยป่น (Shell Flour) เป็นแหล่งของแคลเซียมคาร์บอเนต มีแคลเซียมประกอบอยู่ไม่น้อยกว่า 33 เปอร์เซ็นต์ นิยมใช้กันมากในไก มีทั้งเปลือกหอยนางรม (Oyster shell) หอยกาบ (Clam Shell) แคลเซียมไม่น้อยกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ หากใช้ในไก่ไข่ เป็ดไข่ จะช่วยทำให้เปลือกไข่แข็งแรง และเนื่องจากเปลือกหอยมีอนุภาคขนาดใหญ่กว่าแคลเซียมจากแหล่งอื่น ๆ ทำให้อยู่ในทางเดินอาหารตรงส่วนของกระเพาะบด (Gizzard) นานตลอดคืน และค่อย ๆ ปลดปล่อยแคลเซียมออก มาสร้างเปลือกไข่ได้สม่ำเสมอ ดังนั้นจึงนิยมใช้เปลือกหอยแทนที่หินปูนป่น (Pulverized Limestone)

7.2 หินปูนป่น (Ground, Pulverized Limestone) หรือหินปูนขาวป่นเป็นเม็ดไม่ละเอียด เป็นแหล่งแคลเซียมที่อยู่ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต มีแคลเซียมอยู่ไม่น้อยกว่า 33 เปอร์เซ็นต์ สีเทาอ่อนจนถึงเข้ม หินปูนมีหลายชนิดแล้วแต่การเรียงตัวของผลึกว่าจะออกมาในรูปแบบใดสำหรับ Dolomitic Limestone จะมีแมกนีเซียมประกอบอยู่ไม่ต่ำกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ จึงไม่เหมาะที่จะใช้ในไก่ไข่ เพราะไปแก่งแย่งการดูดซึมกับแคลเซียม ทำให้เกิดสภาวะขาด แคลเซียมได้ถ้าเป็นสัตว์เล็กจะทำให้กระดูกจะหยุดการเจริญเติบโต Chalk Rock เป็นหินปูนชนิดหนึ่งซึ่งมีสีขาวปนเทา หรือออกเหลืองเป็นแหล่งแคลเซียมคาร์บอเนต ต้องมีแคลเซียมไม่น้อยกว่า 33 เปอร์เซ็นต์ มี 2 รูปแบบ คือ แบบ Chalk Rock Ground และ Chalk Precipitated

7.3 Calcium Oxide (CaO) บางครั้งเรียกปูนขาว (Quick Lime) เป็นด่างที่ค่อนข้างแรง เวลาใช้ต้องระวัง

ความต้องการแคลเซียมและฟอสฟอรัสในสัตว์ปีก

ความต้องการแคลเซียมและฟอสฟอรัสขึ้นอยู่กับปัจจัย ดังต่อไปนี้

1. อายุของสัตว์ ความต้องการแคลเซียมและฟอสฟอรัสในสัตว์ปีก มีแนวโน้มผันแปรหรือขึ้นอยู่กับอายุของสัตว์ปีก สัตว์ปีกที่อายุน้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระยะเริ่มแรกและระยะเจริญเติบโต มีความต้องการแคลเซียมและฟอสฟอรัสสูง เพื่อให้เพียงพอกับความต้องการที่รวดเร็ว เมื่อเปรียบเทียบกับสัตว์ที่โตเต็มวัยแล้ว จะเห็นว่าสัตว์อายุน้อยกว่าจะต้องการแคลเซียมและฟอสฟอรัสมากกว่า (Mcdowell, 1992)

Lin , & Shen (1979) รายงานว่า โรคกระดูกอ่อนจะไม่เกิดขึ้นเมื่อลูกเป็ดได้รับอาหารที่มีฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ที่ระดับ 0.16 เปอร์เซ็นต์ และที่ระดับ 0.76 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ลดการเจริญเติบโตของเป็ดเล็กน้อย แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) Sritasan (1997) พบว่าฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ ที่ระดับ 0.25 เปอร์เซ็นต์ เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตในระยะลูกเป็ด (Ca 0.65 เปอร์เซ็นต์) และระยะเป็ดรุ่น (Ca 0.60 เปอร์เซ็นต์) ในเป็ดเนื้อเพื่อการค้าที่ให้อาหารไม่มีรำละเอียด พบว่าที่ระดับ 0.55 เปอร์เซ็นต์ จะลดการเจริญเติบโต มีปริมาณเถ้าในกระดูกต่ำ และลูกเป็ดเกิดความอ่อนแอสูง

ระดับฟอสฟอรัสที่เหมาะสมสำหรับระยะลูกเป็ด (0-3 สัปดาห์) พบว่า ต่ำกว่า 0.26 เปอร์เซ็นต์ (0.34 เปอร์เซ็นต์ ของฟอสฟอรัสรวม) สำหรับการเพิ่มของน้ำหนักตัวในลูกเป็ดปี๊วฉ่ายและสำหรับปริมาณในเถ้ากระดูก Tibia สูงสุดที่ระดับ 0.34 เปอร์เซ็นต์ ของฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ (Linand Shen, 1979) Leclercq , & De Carville (1979) รายงานว่า ระยะอายุเป็ด 0-3, 3-6 และ 6-10 สัปดาห์ (0.96, 0.49 และ 0.45 เปอร์เซ็นต์ ของฟอสฟอรัสรวม) สำหรับการเจริญเติบโตสูงสุด อย่างไรก็ตาม Leclecq , & De Carville (1985) ชี้ว่าอาหารที่มีระดับฟอสฟอรัสใช้ประโยชน์ได้ที่ 0.37 เปอร์เซ็นต์ เพียงพอสำหรับเป็ดรุ่น

2. ปัจจัยทางพันธุกรรม พันธุ์สมัยใหม่ของสัตว์ปีกให้เจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ใช้ระยะเวลาเลี้ยงสั้น สำหรับการให้เนื้อต่อ 1 กิโลกรัม หรือผลผลิตเมื่อเปรียบเทียบสัตว์ปีกที่ให้ผลผลิตต่ำ การพัฒนาพันธุ์และสายพันธุ์จะต้องการระดับแคลเซียมและฟอสฟอรัสสูง เพื่อเพียงพอต่อความต้องการและขบวนการเมตาบอลิซึมของแร่ธาตุ ซึ่งควบคู่กับการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว

3. ปัจจัยสิ่งแวดล้อม ปัจจัยที่ทำให้เกิดความเครียด เช่น ความหนาแน่นแออัด การระบายอากาศที่ไม่ดี และการควบคุมอุณหภูมิของโรงเรือนไม่ดีพอ มีส่วนสัมพันธ์กับโรค และมีผลกระทบต่อความต้องการสำหรับแคลเซียม และฟอสฟอรัสจะสูง เพื่อให้พอเพียงกับการทำงานของระบบสรีระ Dean (1973) แสดงให้เห็นว่า เมื่อลูกเป็ดปักกิ่งเลี้ยงด้วยอาหารที่มีส่วนผสมของข้าวโพดและกากถั่วเหลือง เป็นวัตถุดิบหลักที่มี แคลเซียม 0.06 เปอร์เซ็นต์ และกระดูกมีปริมาณฟอสฟอรัสสูงสุด 0.35 เปอร์เซ็นต์ การเพิ่มระดับของแคลเซียมในอาหาร 0.80, 1.00 หรือ 1.50 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นมีค่าลดลง ตลอดจนเปอร์เซ็นต์ของเถ้ากระดูกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

ความสำคัญของแคลเซียมในสัตว์ปีก

แคลเซียม จัดเป็นแร่ธาตุที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของสัตว์ โดยเฉพาะในสัตว์ปีก โดยพบว่าประมาณ 99 เปอร์เซ็นต์ เป็นส่วนประกอบของเปลือกไข่ในสัตว์ปีก โดยเฉพาะในเป็ดไข่ แคลเซียมมีบทบาทที่สำคัญมาก เพราะนอกจากจะเป็นส่วนประกอบสำคัญของกระดูกแล้ว ยังเป็นส่วนประกอบสำคัญในการสร้างเปลือกไข่ให้มีความแข็งแรง และนอกจากนั้นแคลเซียมยังมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมต่าง ๆ ในร่างกายสัตว์ ซึ่งแหล่งของแคลเซียมที่นิยมใช้ในอาหารสัตว์แบ่งออกเป็น 2 แหล่ง คือ ผลิตจากแหล่งอินทรีย์ ได้แก่ แคลเซียมซิเตรต แคลเซียมฟอสเฟต แคลเซียมแลกเตต แคลเซียมคีเลต ไบโอแคลเซียม และ แคลเซียมแอล-ทรีโอเนต เป็นต้น และผลิตจากแหล่งอนินทรีย์ ได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต แคลเซียมคลอไรด์ แต่ผลิตภัณฑ์โดยส่วนใหญ่ที่จำหน่ายในท้องตลาดมักนิยมใช้แคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งเป็นแหล่งแคลเซียมชนิดอนินทรีย์ที่มีราคาถูก ซึ่งมีแคลเซียมประมาณ 33 เปอร์เซ็นต์ (Shafey, 1993)

อรวรรณ ชินราศี (2547) แคลเซียมเป็นแร่ธาตุที่มีปริมาณสูงที่สุดในร่างกายเมื่อเทียบกับแร่ธาตุชนิดอื่นๆ โดยเกือบทั้งหมดอยู่ในกระดูกและฟัน ส่วนที่เหลือกระจายอยู่ในเลือดและเนื้อเยื่อต่างๆ ในไก่แคลเซียมจำเป็นสำหรับการสร้างกระดูกและเปลือกไข่ ในกระดูกส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปแคลเซียมฟอสเฟต ส่วนในเปลือกไข่จะอยู่ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต แหล่งของแคลเซียมคือเปลือกหอยที่ไก่สามารถย่อยสลายได้อย่างช้าๆ ทำให้ได้รับแคลเซียมตลอดเวลา ส่วนหินฝุ่นหรือหินปูนจะถูกย่อยสลายเร็ว จึงควรใช้แบบเม็ดใหญ่ อาวุธ (2540) ในการสร้างเปลือกไข่ เปลือกหอยเหมาะที่จะใช้เป็นแหล่งแคลเซียมมากที่สุด เพราะเปลือกหอยจะถูกย่อยสลายอย่างช้าในทางเดินอาหารของสัตว์ปีก จึงสามารถให้แคลเซียมได้ตลอดเวลา โดยเฉพาะในตอนกลางคืน

ปฐม เลาหะเกษตร (2540) เมื่อสัตว์ปีกใกล้จะออกไข่อิทธิพลจากฮอร์โมนเอสโทรเจนจะทำให้ปริมาณแคลเซียมในเลือดเพิ่มสูงขึ้น และนำไปสะสมไว้ในกระดูกบางส่วนเพื่อที่จะนำออกมาใช้ได้เมื่อต้องการ สัตว์ที่ได้รับแคลเซียมและฟอสฟอรัสไม่พอจะทำให้กระดูกอ่อน เปราะ และโตช้า สัตว์ที่ให้ไข่จะเปลือกบาง บุบแตกง่ายและหยุดไข่ไปในที่สุด พิมลรัตน์ (2546) ความต้องการ

แคลเซียมของไก่ไข่ประเมินได้ยากเนื่องจากมีปัจจัยอื่นมาเกี่ยวข้อง เช่น พันธุกรรม ความสัมพันธ์ระหว่างแคลเซียมและฟอสฟอรัส ความน่ากินของอาหาร และความสามารถในกินอาหารของแม่ไก่ เพื่อให้ได้แคลเซียมตามต้องการ หากต้องการให้ได้ไข่ที่มีคุณภาพดีที่สุดไก่ต้องได้รับแคลเซียมในอาหารไม่ต่ำกว่า 3.75 เปอร์เซ็นต์ วิโรจน์ (2537) รายงานว่า ถ้าระดับแคลเซียมในอาหารมี 3.56 เปอร์เซ็นต์ หรือสูงกว่าจะเห็นได้ว่าธาตุแคลเซียมที่ใช้ในการสร้างเปลือกไข่ส่วนมากจะมาจากการดูดซึมที่ลำไส้เล็กโดยตรง ถ้าระดับแคลเซียมในอาหารมีเพียง 1.95 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นธาตุแคลเซียมที่ใช้ในการสร้างเปลือกไข่จะได้มาจากกระดูกประมาณ 30-40 เปอร์เซ็นต์ และถ้าอาหารที่ใช้เลี้ยงไม่มีธาตุอาหารแคลเซียมอยู่เลยโครงสร้างของแม่ไก่จะทำหน้าที่รับผิดชอบในการเป็นแหล่งของธาตุแคลเซียมในการสร้างเปลือกไข่

ปริมาณที่เหมาะสมของแคลเซียมในเป็ด

ปัจจุบันมีการศึกษาจำนวนมากเกี่ยวกับปริมาณการเสริมธาตุอาหารหลัก (พลังงานที่เผาผลาญได้โปรตีนหยาบและกรดอะมิโน) ในอาหารเป็ด โดยจากการรวบรวมข้อมูลการศึกษาระดับการเสริมที่เหมาะสมสำหรับเป็ดแต่ละสายพันธุ์ในระหว่างปี 2005-2020 การศึกษาเกี่ยวกับโภชนาการแร่ธาตุส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่องค์ประกอบของโภชนาการ Ca และ P เป็นหลัก (ตาราง 5)

ตาราง 5 ความต้องการแคลเซียมระดับที่แนะนำในเป็ดแต่ละสายพันธุ์ในช่วงปี 2005-2020

Breed	Age	Evaluation indicator	Recommended level	References
Cherry Valley duck	15-35 d	Bone turnover and tibia quality	0.70%	Zhang et al., 2018
Mallard duck	22-32 wk	Egg mass, hormone, bone quality and gene expression	3.60%	Chen et al., 2015
Linwu duck	30-38 wk	Egg qualified rate and eggshell strength	3.50%	Huang et al., 2017
Linwu duck	22-28 wk	Egg weight, tibial Ca content, and tibial ash content	2.79–2.98%	Huang et al., 2016
Longyan duck	21-33 wk	Serum ALP activity and tibial fresh weight	3.20–3.60%	Xia et al., 2015
Pekin duck	7-18 d	Weight gain	0.95%	Rush et al., 2005
Pekin duck	0-2 wk	Weight gain and feed/gain	0.796–	Xie et al., 2009a

Breed	Age	Evaluation indicator	Recommended level	References
			0.806%	
Pekin duck	3-6 wk	Weight gain	0.72%	Xie et al., 2009b
Pekin duck	0-3 wk	Weight gain and feed/gain	0.75%	Zhu et al., 2018
Sheldrake	0-3 wk	Weight gain and bone mineralization	0.60–0.87%	Zhu et al., 2019

สำหรับแหล่งของแคลเซียมที่เป็ดไข่ใช้ในกระบวนการสร้างเปลือกไข่นั้นส่วนหนึ่งได้ มาจากอาหารที่กินเข้าไปในแต่ละวัน และอีกส่วนหนึ่งได้มาจากแหล่งแคลเซียมที่สะสมเอาไว้กระดูกเมดัลลารีโดยคิดเป็นอัตราส่วน 2:1 ซึ่งพบว่า ตลอดระยะเวลาของกระบวนการสร้างเปลือกไข่ เป็ดไข่มีความต้องการ ใช้แคลเซียมจากกระแสเลือดเพื่อใช้ในกระบวนการสร้างเปลือกไข่ในอัตรา 100-150 มก./ชม. โดยได้จาก การดูดซึมแคลเซียมจากทางเดินอาหารในอัตรา 85 มก./ชม. และอัตราการนำแคลเซียมมาจากกระดูก 15-65 มก./ชม. ซึ่งในช่วงให้ผลผลิตไข่ อัตราการดูดซึมแคลเซียมที่ได้จากอาหารจะใช้หมดในเวลา 30 นาที และแคลเซียมที่อยู่ในทางเดินอาหารจะถูกใช้หมดเมื่อผ่านไป 4-5 ชั่วโมง โดยในกระบวนการสร้างไข่ของเป็ดไข่ใช้ระยะเวลาในการสร้างเปลือกไข่เป็นระยะเวลา 20 ชั่วโมง ในระยะเวลาการสร้างไข่ทั้งหมด 25-26 ชั่วโมง (Nys et al., 1999; Nys et al., 2004)

การดูดซึมแคลเซียม

ร่างกายของสัตว์สามารถดูดซึมแคลเซียมในอาหารโดยตรงบริเวณลำไส้เล็กส่วนต้นและส่วนกลาง โดยอาศัยตัวพาแบบ แบบไม่ใช้พลังงาน ATP (Passive Transport) และ แบบใช้พลังงาน ATP (Active Transport) การดูดซึมแคลเซียมต้องอาศัยตัวนำที่เป็นโปรตีน เรียกว่า Calcium Binding Protein (CaBP) โดยจำเป็นต้องอาศัยวิตามินดีช่วยในการสังเคราะห์ โดยจากรายงานของ Underwood , & Suttle (1981) ได้ระบุไว้ว่า Calcium Binding Protein ที่พบในสิ่งมีชีวิตมีหลากหลายชนิด ได้แก่

1. Calmodulin จัดเป็น Calcium Binding Protein ที่มีบทบาทกว้างภายในเซลล์ ทำหน้าที่เป็นตัวจับกับแคลเซียมไอออน (Ca^{2+} Receptor)

2. Troponin C จัดเป็น Calcium Binding Protein ที่มีบทบาทสำคัญในกล้ามเนื้อ ทำหน้าที่ช่วยในการยืดหดตัวของกล้ามเนื้อ

3. Intestinal Calcium-Binding Protein มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งแคลเซียมจากลำไส้เล็กเข้าสู่ร่างกาย

4. Parvalbumin เป็น Calcium Binding Protein ที่ยังไม่ทราบหน้าที่ที่ชัดเจน แต่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายแคลเซียมระหว่าง Myofibrils และ Sarcoplasmic Reticulum

5. Calcium Binding Protein ที่ทำหน้าที่เป็นเอนไซม์

โดยการขับแคลเซียมออกจากร่างกาย สามารถขับออกได้ 3 ทาง ได้แก่ ขับออกทางอุจจาระ ปัสสาวะ และเหงื่อ แคลเซียมที่ขับออกมาทางอุจจาระมีทั้งส่วนที่ไม่ถูกดูดซึมในทางเดินอาหารและส่วนที่ถูกขับออกมาจากเซลล์ภายในร่างกาย ซึ่งแคลเซียมที่ขับออกมาทางลำไส้มีบางส่วนที่ดูดซึมเข้าสู่ร่างกายอีกครั้งหนึ่ง ธาตุแคลเซียมที่ขับออกมาจากเซลล์ภายในร่างกายมีประมาณ 20-30 เปอร์เซ็นต์ ของ ธาตุแคลเซียมทั้งหมดที่อยู่ในอุจจาระ ธาตุแคลเซียมที่ถูกขับออกมาทางปัสสาวะจะมีปริมาณน้อยกว่าที่ถูกขับออกมาทางอุจจาระ ทั้งนี้เพราะแคลเซียมในพลาสมาที่ถูกส่งไปยังไตจะถูกดูดซึมกลับ ประมาณ 99 เปอร์เซ็นต์ โดยปกติธาตุแคลเซียมที่สูญเสียไปทางเหงื่อมีปริมาณค่อนข้างน้อย แต่ในสัตว์ที่มีต่อมเหงื่อมากจะสูญเสียธาตุแคลเซียมไปทางเหงื่อค่อนข้างมาก บุญล้อม ชีวอิสระกุล (2541) รายงานว่า ถ้าสัตว์ ได้รับโปรตีนสูงหรือได้รับการฉีด โซเดียมซิเตรท (Na Citrate) โซเดียม-เอทธิลีน ไดอะมีน (Na-Ethylene Diamine : Na-EDTA) หรือ แคลเซียมเอทธิลีน ไดอะมีน (Ca-Ethylene Diamine: Ca-EDTA) มาก จะทำให้เกิดการสร้างแคลเซียมคีเลท (Ca Chelate) ซึ่งทำให้ มีการขับแคลเซียมออกจากร่างกายในปริมาณสูง

จากการศึกษาของ Chen et al. (1989) โดยทำการศึกษาการใช้ประโยชน์ได้และการดูดซึมของแคลเซียม ในเป็ดไข่ และไก่ไข่ พบว่าปริมาณแคลเซียมที่คงอยู่ต่อตัวต่อวันในกลุ่มที่เสริมแคลเซียม 1% ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างเป็ดกับไก่ การเพิ่มระดับแคลเซียมในอาหารให้สูงกว่า 2% เป็ดยังคงรักษาปริมาณแคลเซียมดีกว่าไก่อย่างมีนัยสำคัญ โดยมีปริมาณแคลเซียมที่สะสมสูงกว่าไก่ 1.6 ถึง 1.9 เท่า สิ่งนี้บ่งชี้ว่าเป็ดอาจมีความสามารถในการดูดซับแคลเซียมสูงกว่าไก่ เมื่อสมดุลของแคลเซียมถึงระดับปกติ 3 ถึง 5% ปริมาณแคลเซียมที่สะสมอยู่ในเป็ดและแม่ไก่มีแนวโน้มที่จะคงที่โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่มีนัยสำคัญ นอกจากนั้นยังได้รายงานว่า 28 ถึง 40% ของ Ca ในเปลือกไข่นั้นมาจากแคลเซียมที่สะสมในกระดูกแม้ว่าไก่จะรับอาหารที่มีระดับแคลเซียมที่เพียงพอก็ตาม ยิ่งต้องพึ่งพาแคลเซียมในกระดูกมากเท่าใด ปริมาณแคลเซียมที่สะสมในเปลือกไข่ก็จะยิ่งน้อยลงเท่านั้น

ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซึมแคลเซียม

1. อัตราส่วนของธาตุแคลเซียมและธาตุฟอสฟอรัสในอาหารต้องเหมาะสม ในการเลี้ยงสัตว์โดย ทั่วไปคำนวณให้มีธาตุทั้งสองในสูตรอาหารในอัตราส่วน 1 : 1 ถึง 2 : 1 สำหรับในไก่ NRC (1994) แนะนำว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมคือ 1.67 : 1 ในกรณีที่ใช้ค่าของฟอสฟอรัสทั้งหมดที่มีใน

วัตถุดิบ (Total Phosphorus) เป็นส่วนประกอบในสูตรอาหาร แต่ถ้าใช้ค่าฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ (Available Phosphorus) อัตราส่วนที่เหมาะสมคือ 2.2 : 1

2. ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่พอเหมาะ ถ้าภายในลำไส้มีความเป็นด่างมาก การละลายของ แคลเซียมลดลง ถ้าเป็นกรด เช่น pH ต่ำกว่า 5 แคลเซียมละลายได้ดีและอยู่ในสภาพเป็น ไอออน ทำให้ดูดซึมเข้าร่างกายได้ดี

3. การมีวิตามินดีในอาหารช่วยให้มีการดูดซึมแคลเซียมมากขึ้น โดยที่วิตามินดีช่วยสร้าง CaBP ที่จับธาตุแคลเซียมในลำไส้เล็ก

4. การมีกรดแอมิโน และกรดอินทรีย ในอาหารเช่น ไลซีน อาร์จินีน กรดแลกติก และกรดซิตริก ช่วยให้มีการดูดซึมธาตุแคลเซียมเพิ่มขึ้น

5. การที่มีอาหารไขมันสูงจะลดการดูดซึมธาตุแคลเซียม เนื่องจากมีการรวมตัวของธาตุแคลเซียม กับกรดไขมันอิสระ ทำให้เกิดสารประกอบที่ไม่ละลาย

6. สารในอาหารบางอย่างที่ทำให้แคลเซียมตกตะกอนได้ดีในลำไส้ มีผลทำให้การดูดซึมของแคลเซียมถูกยับยั้งด้วย ได้แก่ กรดไฟติค (Phytic Acid) กรดออกซาลิค (Oxalic Acid) ทำให้แคลเซียมตกตะกอนเป็นแคลเซียมไฟเตท และแคลเซียมออกซาเลทซึ่งไม่ละลาย

แคลเซียมอนินทรีย์ (Inorganic calcium)

แคลเซียมอนินทรีย์ (Inorganic Calcium) คือ แคลเซียมที่นิยมใช้มากที่สุดในปัจจุบัน เนื่องจากมีราคาถูกให้แคลเซียมต่อกรัมสูง แต่ความสามารถในการละลายน้ำได้ต่ำ รวมถึงมีประสิทธิภาพในการดูดซึมต่ำกว่าแคลเซียมอินทรีย์ (Hu et al., 2018) โดยแคลเซียมอนินทรีย์ที่พบมากที่สุดอยู่ในรูปแบบต่าง ๆ ได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium Carbonate) แคลเซียมไบคาร์บอเนต (Calcium Bicarbonate) แคลเซียมฟอสเฟต (Calcium Phosphate; Gypsum) แคลเซียมคลอไรด์ (Calcium Chloride) รวมไปถึงเปลือกหอย (Oyster Shell) กระดูก (Bone) และผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติอื่น ๆ

แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium Carbonate) เป็นแคลเซียมอนินทรีย์ที่พบมากที่สุด และมีราคาต่ำที่สุด แคลเซียมคาร์บอเนตมีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ จึงจำเป็นต้องใช้กรดในกระเพาะอาหารของสัตว์จำนวนมากเพื่อให้แคลเซียมคาร์บอเนตสามารถถูกดูดซึมหลังจากรับเข้าไปในร่างกาย ดังนั้นจึงเป็นแคลเซียมชนิดที่มีประสิทธิภาพในการดูดซึมต่ำในร่างกายสัตว์ จึงไม่สามารถรับประทานพร้อมกับอาหารได้ (Lamy , & Burckhardt, 2013) นอกจากนี้ยังมีผลข้างเคียงบางอย่างที่ทำให้เกิดอาการระคายเคืองในระบบทางเดินอาหารได้ง่าย Meiron et al. (2011) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบความสามารถในการละลายและการดูดซึมของแคลเซียมคาร์บอเนต 3 รูปแบบ ได้แก่ Amorphous Calcium Carbonate (ACC), Amorphous Calcium Carbonate with Chitosan

(ACC-C) และ Crystalline Calcium Carbonate (CCC) โดยแคลเซียมคาร์บอเนตทั้งสามถูกละลายในกรดฟอสฟอริกเจือจาง และเปรียบเทียบความสามารถในการละลายโดยการวัดค่า pH พบว่าค่าความสามารถในการละลายของ ACC และ CCC สูงกว่าค่า ACC-C และค่าความสามารถในการละลายของ ACC นั้นสูงกว่าค่า CCC อย่างน้อย 10 เท่า ส่วนการย่อยและการดูดซึมในซีรัมพบว่าการดูดซึมแคลเซียมจากการเตรียม ACC และ ACC-C สูงกว่า CCC ถึง 40% และ 12% แคลเซียมที่ดูดซึมในกระดูกของกลุ่ม ACC สูงกว่ากลุ่ม CCC 30% ในขณะที่การดูดซึมแคลเซียม ACC-C เพิ่มขึ้น 15% เมื่อเทียบกับ CCC ผลการศึกษาพบว่าสัดส่วนการดูดซึมของ ACC และ ACC-C ดีกว่า CCC ดังนั้นผลของ ACC ในการเสริมแคลเซียมจึงดีกว่า CCC นั้นหมายถึงว่าการดูดซึมของแคลเซียมคาร์บอเนตอินทรีย์ (Amorphous Calcium Carbonate with Chitosan) มีความสามารถในการดูดซึมมากกว่าแคลเซียมคาร์บอเนตอนินทรีย์โดยเฉพาะ Crystalline Calcium Carbonate (CCC) นอกจากนั้น Sandra et al. (2011) ได้ศึกษาผลของแคลเซียมฟอสเฟต (calcium phosphate) แคลเซียมในนม (Milk Calcium) แคลเซียมคลอไรด์ (Calcium Chloride) และแคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium Carbonate) ต่อความต้านทานเชื้อซัลโมเนลลา (*Salmonella*) ในลำไส้ของหนูแรท โดยให้หนูได้รับแคลเซียมปริมาณต่ำ (20 มิลลิโมลแคลเซียมฟอสเฟต/กก.; กลุ่มควบคุมเชิงลบ), แคลเซียมฟอสเฟต, แคลเซียมในนม, แคลเซียมคลอไรด์ และแคลเซียมคาร์บอเนต (100 มิลลิโมล แคลเซียม/กก.) เป็นระยะเวลาสองสัปดาห์ ต่อมากระตุ้นให้หนูได้รับเชื้อ *S. enteritidis* ทางปาก บันทึกปริมาณอาหารที่กิน น้ำหนักตัว จำนวนเชื้อซัลโมเนลลา และการซึมผ่านของแคลเซียมในลำไส้ ผลการศึกษาพบว่ากลุ่มแคลเซียมฟอสเฟตกินอาหารได้สูงกว่ากลุ่มที่ได้รับแคลเซียมต่ำในช่วงสัปดาห์แรกหลังการติดเชื้อ และมีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นในกลุ่มแคลเซียมฟอสเฟตสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ และพบว่ากลุ่มเสริมแคลเซียมทั้งหมดช่วยลดจำนวนของเชื้อซัลโมเนลลา (*Salmonella*) ในลำไส้ของหนูแรท และเพิ่มการดูดซึมผ่านของแคลเซียมลำไส้เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่มีแคลเซียมต่ำ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแคลเซียมอนินทรีย์ (แคลเซียมฟอสเฟต, แคลเซียมน้ำนม, แคลเซียมคลอไรด์ และแคลเซียมคาร์บอเนต) สามารถเพิ่มความสามารถในการต้านเชื้อซัลโมเนลลาในลำไส้ของหนูได้

กระดูกปลาป่นและผงเปลือกไข่เป็นการเตรียมแคลเซียมจากธรรมชาติ (Bio calcium) ที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดในปัจจุบัน ซึ่งในกระดูกปลามีแร่ธาตุ 60-70% ของน้ำหนักวัตถุแห้ง โดยส่วนใหญ่เป็นแคลเซียมฟอสเฟต (Calcium Phosphate) และไฮดรอกซีอะพาไทต์ (Hydroxyapatite) (Gildberg et al., 2002) อีกทั้ง Bubel et al. (2015) ใช้กระดูกสันหลังของ Baltic Cod (*Gadus morhua callarias*; COD) และปลาแซลมอน (*Salmo salar*; Atlantic salmon) เป็นวัตถุดิบ พบปริมาณแคลเซียม โปรตีน และไขมันของการเตรียมแคลเซียมที่ทำจากกระดูก COD เท่ากับ 27.29%, 14.20%, 0.25% ตามลำดับ ในขณะที่ส่วนประกอบเหล่านี้ในปลาแซลมอนเท่ากับ 24.92%, 10.78%, 0.12% ตามลำดับ

ส่วนเปลือกไข่มีแคลเซียมธาตุประมาณ 39% (Cordeiro , & Hinck, 2011) โดยเมื่อนำเปลือกไข่มาบดเป็นผงหลังจากทำความสะอาด ฆ่าเชื้อ และตากให้แห้ง พบว่าองค์ประกอบทางเคมีหลักของผงเปลือกไข่คือแคลเซียมคาร์บอเนต (Milbradt, 2015) แต่ทั้งนี้แคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกไข่มีความสามารถในการละลายได้ดีกว่าแคลเซียมคาร์บอเนตสังเคราะห์ และมีปริมาณแคลเซียมมากเท่ากับของน้ำนม โดยการศึกษาของ Masuda (2005) พบว่า ผงเปลือกไข่มีความสามารถในการดูดซึมและมีความพร้อมใช้งานสูงกว่าแคลเซียมคาร์บอเนตสังเคราะห์ นอกจากนั้น Jang et al. (2010) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลของอาหารเสริมแคลเซียมที่ละลายน้ำได้ที่ทำจากเปลือกไข่และเปลือกหอยนางรม และอาหารเสริมแคลเซียมที่ละลายน้ำได้ซึ่งผลิตโดยผงสาหร่ายนำเข้า ต่อการเผาผลาญแคลเซียมของหนูที่กำลังเติบโต ในหนูเพศเมีย จำนวน 21 ตัว ถูกสุ่มแบ่งเป็น 3 กลุ่ม โดยได้รับแคลเซียมเสริมที่ละลายน้ำได้ซึ่งเตรียมจากผงสาหร่าย เปลือกไข่ และเปลือกหอยนางรม หลังผ่านไป 6 สัปดาห์ พบปริมาณแคลเซียมในซีรัม ในกลุ่มเสริมแคลเซียมจากสาหร่ายมีค่า 11.85 มก./เดซิลิตร สูงกว่ากลุ่มแคลเซียมจากเปลือกไข่ (11.43 มก./ดล.) และกลุ่มแคลเซียมจากเปลือกหอยนางรม (11.32 มก./ดล.) อย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่าง alkali phosphatase activity, Osteocalcin และระดับ Urine Crosslink และไม่พบความแตกต่างกันระหว่างทั้งสามกลุ่ม ต่อความหนาแน่น และปริมาณแร่ธาตุในกระดูกสันหลัง กระดูกโคนขา และกระดูกหน้าแข้งของทั้ง 3 กลุ่มทดลอง ยกเว้นพบการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่น และปริมาณแร่ธาตุในกระดูกโคนขากลุ่มที่ได้รับแคลเซียมจากเปลือกหอยนางรม จากผลการศึกษาสรุปได้ว่าแคลเซียมจากเปลือกไข่ และแคลเซียมจากเปลือกหอยนางรมมีความคล้ายคลึงกันกับการเสริมแคลเซียมจากสาหร่าย

ทั้งนี้การเตรียมแคลเซียมตามธรรมชาติโดยทั่วไปจะทำโดยการเผาที่อุณหภูมิสูง และใช้การแตกตัวเป็นไอออนในระดับสูง ซึ่งทำให้ง่ายต่อการดูดซึมโดยร่างกาย การเตรียมแคลเซียมตามธรรมชาติเป็นสารชีวภาพที่ดี แต่ความปลอดภัยยังถูกตั้งคำถามจำนวนมาก เนื่องจากอาจมีองค์ประกอบที่เป็นพิษ เช่น ตะกั่ว อะลูมิเนียม แคดเมียม และปรอท เป็นต้น (Schaafsma, 2000)

แคลเซียมอินทรีย์ (Organic Calcium)

แคลเซียมอินทรีย์ (Organic Calcium) คือ กลุ่มของแคลเซียมชนิดใหม่ อาจมีแคลเซียมต่อกรัมน้อยแต่ถูกดำเนินการพัฒนาขึ้นมาเพื่อเพิ่มการละลายและการดูดซึม นอกจากนั้นสามารถลดการระคายเคืองในระบบทางเดินอาหารได้ดีเมื่อเทียบกับแคลเซียมอนินทรีย์ โดย Hu et al. (2018) ได้ระบุว่าแคลเซียมอินทรีย์ส่วนใหญ่หมายถึงแคลเซียมซิเตรต (Calcium Citrate) แคลเซียมแลคเตท (Calcium Lactate) แคลเซียมกลูโคเนต (Calcium Gluconate) แคลเซียมอะซิเตท (Calcium Acetate) และอินทรีย์อื่น ๆ เกลือแคลเซียม (Organic Calcium Salts)

แคลเซียมซิเตรต (Calcium Citrate) ถูกเตรียมโดยการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดซิตริกและแคลเซียมคาร์บอเนต หรือโซเดียมซิเตรตและแคลเซียมคลอไรด์ ซึ่งทำให้มีกลุ่มกรดที่สามารถปล่อยแคลเซียมไอออนภายใต้สภาวะของกรดในกระเพาะอาหารน้อยทำให้แคลเซียมชนิดนี้ดูดซึมได้ง่ายกว่าแคลเซียมคาร์บอเนต (Hanson, 2016) นอกจากนั้นจากการศึกษาของ Howard et al. (2015) ยังรายงานว่า ความสามารถในการดูดซึมแคลเซียมในผู้หญิงวัยหมดประจำเดือนจำนวน 25 คน พบว่าการเสริมซิเตรตช่วยเพิ่มแคลเซียมในซีรัมและปัสสาวะได้มากกว่าแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งบ่งชี้ว่าการดูดซึมแคลเซียมซิเตรตจะสูงกว่าแคลเซียมคาร์บอเนตเมื่อรับประทานพร้อมอาหาร นอกจากนั้นผลการศึกษาพบว่าการดูดซึมแคลเซียมซิเตรตดีกว่าแคลเซียมคาร์บอเนตที่ความเข้มข้นของกรดในกระเพาะอาหารต่ำกว่า Barbara et al. (2016) ศึกษาอัตราการปลดปล่อยแคลเซียมในหลอดทดลองของแคลเซียมซิเตรตและแคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้เปลือกไข่เป็นวัตถุดิบ โดยตรวจสอบอัตราการปลดปล่อยในหลอดทดลอง หลังจากการทดลอง 30 นาที พบว่าแคลเซียมซิเตรตถูกปลดปล่อยออกมา 79% ของแคลเซียม และใช้เวลาหลังจากนั้น 3 ชั่วโมง ในการปลดปล่อยจนถึง 100% สำหรับแคลเซียมคาร์บอเนตถูกปลดปล่อยออกมา 7% และ 60% ตามลำดับ โดยพบว่าแคลเซียมซิเตรตปลดปล่อยแคลเซียมด้วยครึ่งชีวิต (Half-Life) 0.5 ชั่วโมง และแคลเซียมคาร์บอเนต 2.2 ชั่วโมง ดังนั้นการปล่อยแคลเซียมซิเตรตจะเร็วกว่าแคลเซียมคาร์บอเนต 4 เท่า สิ่งนี้เกี่ยวข้องกับการละลายของเกลือแคลเซียม แคลเซียมคาร์บอเนตละลายในตัวกลางที่เป็นกรดอย่างแรงในขณะที่แคลเซียมซิเตรตละลายในตัวกลางที่เป็นกลางและเป็นด่าง

แคลเซียมแลคเตท (Calcium Lactate) ถูกเตรียมโดยปฏิกิริยาของกรดแลคติกหรือกรดแลคติกจากการหมัก กับแคลเซียมคาร์บอเนตหรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ โดยแคลเซียมแลคเตทมีข้อดีหลายประการ เช่น ละลายง่าย ไม่กระตุ้นกระเพาะอาหาร และมีอัตราการดูดซึมและอัตราการใช้ประโยชน์สูง นอกจากนี้การทดลองของ (Jang et al., 2016) แสดงให้เห็นว่าแคลเซียมแลคเตทมีผลการรักษามะเร็งทวารหนัก โดยแคลเซียมแลคเตทสามารถกระตุ้นการควบคุมการขนส่ง betaine-γ-aminobutyric acid ซึ่งสามารถกระตุ้นการเจริญของเซลล์ต้านมะเร็งทวารหนักได้ อย่างไรก็ตามกรดแลคติกในแคลเซียมแลคเตทนั้นทำให้ร่างกายรู้สึกเมื่อยล้าได้ง่าย จึงไม่เหมาะสำหรับการใช้งานในระยะยาว Lee et al. (2004) ศึกษาผลของแคลเซียมแลคเตท แคลเซียมฟอสเฟต และ Chuntkukjang ต่อกระดูก สถานะของแคลเซียม น้ำหนักตัว ระดับกลูโคสในเลือด และโคเลสเตอรอลในหนูแรท หนูถูกสุ่มแบ่งเป็น 4 กลุ่ม: กลุ่มที่ขาดแคลเซียม (Ca-De), กลุ่มแคลเซียมฟอสเฟต (Ca-P), กลุ่มแคลเซียมแลคเตท (CaL-A) และกลุ่ม CaL-A+chuntkukjang (CaL-AC) หลังจาก 4 สัปดาห์ น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นของกลุ่ม Ca-P, CaL-A, CaL-AC และ Ca-De คือ 130.45, 112.50, 143.40 และ 10.20 กรัม ตามลำดับ น้ำหนักโคนขาและความเข้มข้นของแคลเซียมในเลือดในกลุ่ม Ca-De ต่ำกว่ากลุ่มอื่นอีก 3 กลุ่ม การสังเกตด้วยกล้องจุลทรรศน์แสดงให้เห็นว่ามี Regular Holes จำนวนมากใน

โคนขาของกลุ่ม Ca-De ในขณะที่กลุ่ม CA-P มีขนาดเล็กกว่ากลุ่ม CA-DE และไม่มีรูในกลุ่ม CaL-A และ CaL-AC ส่วนความเข้มข้นของกลูโคสในเลือดและโคเลสเตอรอของกลุ่ม CaL-AC ต่ำกว่ากลุ่มอื่นอีกสามกลุ่ม ผลลัพธ์เหล่านี้บ่งชี้ว่าการดูดซึมของแคลเซียมแลคเตท นั้นสูงกว่าของ แคลเซียมฟอสเฟต และการมีอยู่ของ Chuntkukjang นั้นมีประโยชน์ต่อการเผาผลาญแคลเซียม

แคลเซียมกลูโคเนต (Calcium Gluconate) ทำมาจากปฏิกิริยาของกรดกลูโคสกับมะนาว หรือแคลเซียมคาร์บอเนต ส่วนใหญ่แคลเซียมกลูโคเนตนิยมใช้เพื่อฉีดแคลเซียมทางหลอดเลือดดำ สำหรับการรักษาภาวะแคลเซียมในเลือดต่ำที่ร้ายแรง Krause et al. (2015) สังเกตการเผาผลาญของกระดูกในผู้ป่วย Gastrectomy โดยการตรวจเนื้อเยื่อ และผลของแคลเซียมต่อความสมบูรณ์ของกระดูกของหนูที่มีภาวะขาดกรดในกระเพาะอาหาร ผลการศึกษาพบว่าการสร้างแร่กระดูกเพิ่มขึ้นในผู้ป่วย หลังการรักษาด้วยแคลเซียมกลูโคเนต และผลการรักษาสมดุลแคลเซียมได้ดีกว่าแคลเซียมคาร์บอเนต นอกจากนี้ การทดลองแสดงให้เห็นว่าการให้แคลเซียมกลูโคเนตในเส้นเลือดสามารถรักษาแผลไหม้ของกรดไฮโดรฟลูออริกของแขนขามนุษย์ได้ อย่างไรก็ตาม แคลเซียมกลูโคเนตสามารถย่อยสลายเป็นกลูโคสในร่างกายได้ ดังนั้นผู้ป่วยเบาหวานจึงไม่สามารถใช้แคลเซียมกลูโคเนตได้ (Zhang et al. 2014)

ข้อเสียที่ใหญ่ที่สุดของการเตรียมแคลเซียมอินทรีย์คือปริมาณแคลเซียมต่ำ แคลเซียมคาร์บอเนตในอาหารเสริมแคลเซียมอนินทรีย์มีแคลเซียม 40% ในขณะที่แคลเซียมซิเตรตในอาหารเสริมแคลเซียมที่เป็นกรดอินทรีย์มีแคลเซียมเพียง 21% เท่านั้น (Straub, 2007) ดังนั้นปริมาณแคลเซียมของแคลเซียมอินทรีย์จึงสามารถเพิ่มขึ้นได้โดยการเตรียมองค์ประกอบเสริม โดยแคลเซียมซิเตรตมาเลต (Calcium Citrate Malate) เป็นเกลือผสมของแคลเซียมไอออนกับซิเตรตและไอออนมาเลต ปริมาณแคลเซียมสูงถึง 23% แคลเซียมซิเตรตมาเลตมีข้อดีหลายประการที่เกลือแคลเซียมอื่นๆ ไม่มี (Reinwald et al., 2008) ได้แก่: ทำให้ความสามารถในการละลายน้ำสูงขึ้น ความสามารถในการดูดซับที่มากขึ้น และการดูดซึมที่สูงขึ้น มีองค์ประกอบที่ยืดหยุ่นมากขึ้น (เช่น อัตราส่วนโมลาร์ที่ปรับได้และปริมาณแร่ธาตุ) แคลเซียมซิเตรตมาเลตสามารถมีบทบาทสำคัญในช่วงต่างๆของชีวิต มีการแสดงเพื่อส่งเสริมการกักเก็บแคลเซียมและการสร้างกระดูกในเด็กและวัยรุ่น ในผู้ใหญ่ มันมีประสิทธิภาพส่งเสริมการรวมตัวของกระดูกและการบำรุงรักษา แคลเซียมซิเตรตมาเลตยังช่วยลดความเสี่ยงของการแตกหักอัตราการสูญเสียกระดูกได้ (Hu et al., 2018)

ไบโอแคลเซียม (Bio-Calcium)

ไบโอแคลเซียม หรือแคลเซียมชนิดอินทรีย์ คือแคลเซียมที่ประกอบไปด้วยเปปไทด์ที่มีชีวปริมาณออกฤทธิ์ (Bioavailability) ได้สูงกว่าแคลเซียมบริสุทธิ์ โดยเปปไทด์ดังกล่าวสามารถจับกับแคลเซียม (Calcium Chelating) และป้องกันการตกตะกอนของแคลเซียมในรูปเกลือแคลเซียมฟอสเฟต (Jung et al., 2006) โดยมีข้อดี ดังนี้

1. ช่วยในกระบวนการพัฒนากระดูกของสัตว์
2. เป็นแหล่งแคลเซียมเพื่อใช้สะสมในร่างกายสัตว์ เนื่องจากเป็นแคลเซียมที่มีประสิทธิภาพสูง
3. ป้องการการสูญเสียแคลเซียมจากกระบวนการต่าง ๆ ของร่างกาย ลดความเสี่ยงการเกิดภาวะร่างกายขาดแคลเซียม
4. ช่วยเพิ่มปริมาณ และคุณภาพไข่ไก่ และไข่เป็ด รวมถึงเพิ่มความแข็งแรงของเปลือกไข่ลดเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย
5. ช่วยกระตุ้น และปรับปรุงกระบวนการเมแทบแลซึมของแคลเซียมในร่างกาย
6. สามารถเพิ่มการดูดซึม และการนำไปใช้ประโยชน์ได้ของแคลเซียม มากกว่าแคลเซียมบริสุทธิ์

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์ใหม่ที่พัฒนามาจากผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารมีมูลค่ามาก (Rahaie et al., 2012) โดยเฉพาะอุตสาหกรรมการแปรรูปสัตว์น้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งปลาทูน่าบรรจุกระป๋องเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศ เนื่องจากสามารถสร้างรายได้ให้ประเทศเป็นมูลค่าหลายหมื่นล้านบาทต่อปี ซึ่งในระหว่างกระบวนการแปรรูปเป็นปลาทูน่าบรรจุกระป๋องนั้น ก่อให้เกิดวัสดุเศษเหลือหลายชนิดโดยเฉพาะอย่างยิ่งกระดูกปลาที่ผ่านการนึ่งสุก (Pre-Cooking) ซึ่งมีปริมาณสูงถึง 30-35 เปอร์เซ็นต์ ของวัสดุเศษเหลือทั้งหมด (สุทธวัฒน์, 2559) กระดูกปลาจัดเป็นวัตถุดิบที่น่าสนใจเนื่องจากในกระดูกปลามีปริมาณแคลเซียมสูงถึง 34-36 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าอาหารชนิดอื่นๆ (Hamada et al, 1995) และยังอุดมไปด้วยคอลลาเจนและคอนดรอยติน

ไบโอแคลเซียม (Bio-Calcium) ได้รับการพัฒนาจากผลพลอยได้จากการแปรรูปอาหาร เช่น เปลือกไข่และกระดูกปลา (Hassan, 2015; Benjakul et al, 2018; Idowu et al., 2020) โดยทั่วไป กระดูกปลาจะอุดมไปด้วยแคลเซียมและฟอสฟอรัส รวมทั้งธาตุอื่นๆ เช่น โซเดียม, แมกนีเซียม, และเหล็ก เป็นต้น นอกจากนี้กระบวนการเผากระดูกปลาที่อุณหภูมิสูงยังถูกนำมาใช้ในการผลิตไฮดรอกซีอะพาไทต์ Hydroxyapatite (HA: $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$), Ca:P = 1.67) โดยสารประกอบดังกล่าวได้รับการศึกษาอย่างกว้างขวางเนื่องจากความสามารถในการส่งเสริมกระบวนการสร้างกระดูก อีกทั้งปราศจากสารอินทรีย์ โดยเฉพาะเปปไทด์หรือโปรตีน ซึ่งอาจส่งผลต่อ

ความสามารถในการละลายในทางเดินอาหารได้ไม่ดี จึงส่งผลให้การดูดซึมลดลง (Idowu et al., 2020; Cheng et al., 2010)

จากการศึกษาที่ผ่านมา Jung, & Kim (2007) ได้ดำเนินการได้ดำเนินการเพื่อประเมินผลประโยชน์ของเปปไทด์ที่สกัดจากกระดูกปลา (Fish-Bone Peptide; FBP) เป็นสารเสริมในหนูทดลอง รายงานว่า

การศึกษาในหลอดทดลองชี้แจงว่า FBP II สามารถยับยั้งการก่อตัวของเกลือแคลเซียมที่ไม่ละลายน้ำใน pH ที่เป็นกลาง ผลกระทบในร่างกายของ FBP II ต่อการดูดซึมของแคลเซียมได้รับการตรวจสอบเพิ่มเติมในหนูที่ตัดรังไข่ โดยในระหว่างช่วงทดลองพบการสะสมแคลเซียมเพิ่มขึ้นและการสูญเสียแร่ธาตุกระดูกลดลงในกลุ่มที่เสริม FBP II หลังจากการรับประทานอาหารที่มีแคลเซียมต่ำ การเสริม FBP II ร่วมกับวิตามินดี จะลดการสูญเสียแคลเซียมในอุจจาระลงอย่างมีนัยสำคัญ และเพิ่มการสะสมแคลเซียมเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม และการเสริม FBP II สามารถเพิ่มระดับของแคลเซียมในกระดูกต้นขา (Femur) ความหนาแน่นของแร่ธาตุในกระดูก และความแข็งของกระดูก จากในการศึกษานี้สามารถพิสูจน์ผลลัพธ์ประโยชน์ของไบโอแคเซียมจากกระดูกปลาป่นในการป้องกันการขาดแคลเซียมในหนูทดลองอันเนื่องมาจากการดูดซึมแคลเซียมที่เพิ่มขึ้น โดยได้อธิบายไว้ว่าไบโอแคลเซียมที่ผลิตจากกระดูกปลามีฟอสโฟเปปไทด์ในปริมาณสูง ซึ่งให้เกลือแคลเซียมที่ละลายและดูดซึมได้ในสัดส่วนสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในทางเดินอาหารตลอดจนถึงลำไส้ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มการดูดซึมแคลเซียม

นอกจากนั้น Benjakul et al. (2018) รายงานว่า ไบโอแคลเซียม (BC) มีความสามารถในการละลายและการดูดซึมได้สูงกว่ากระดูกที่เผาด้วยอุณหภูมิสูง (CB) มีข้อเสนอแนะว่าเปปไทด์หรือโปรตีนที่เก็บรักษาไว้ใน BC มีบทบาทในการละลายที่เพิ่มขึ้น เปปไทด์สามารถทำหน้าที่เป็นตัวพาแคลเซียม ซึ่งจะเป็นการเพิ่มการดูดซึมแคลเซียมที่ลำไส้เล็ก เนื่องจากปริมาณ แคลเซียมของเป็ดถูกคูณด้วยเปอร์เซ็นต์ของแคลเซียมที่เผาผลาญได้

อีกทั้ง Malde et al. (2009) ได้ดำเนินการศึกษาการย่อยและการใช้ประโยชน์ได้ของแคลเซียมที่ผลิตจากกระดูกแซลมอนแอตแลนติกและปลาค็อดแอตแลนติที่สกัดโดยเอนไซม์โปรตีเอสในอาหารลูกสุกร โดยใช้แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) เป็นกลุ่มควบคุม พบว่าลูกสุกรที่ได้รับไบโอแคลเซียมจากกระดูกปลาแซลมอนมีความสามารถในการดูดซึมแคลเซียมที่สูงกว่าลูกสุกรที่ได้รับแคลเซียมคาร์บอเนตในสูตรอาหาร

วิตามิน (Vitamins)

วิตามิน เป็นกลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ เนื่องจากมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เป็นสารที่ร่างกายต้องการในปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับโภชนะอื่น ๆ (Micronutrient) เพื่อในใช้หน้าที่ที่จำเพาะของร่างกาย (Specific Body Function) และใช้ในการควบคุมปฏิกิริยาเคมีของร่างกาย โดยวิตามินแต่ละชนิดมีสูตรโครงสร้างและทำหน้าที่แตกต่างกัน วิตามินที่มีความจำเป็นต่อร่างกายในปัจจุบันพบว่ามี 18 ตัว โดยการทำงานของวิตามินจะมีปฏิสัมพันธ์ (Interact) กันและต้องการ “แร่ธาตุ” เพื่อทำให้สัตว์มีความสามารถในการต่อสู้กับความเครียด โรค และมีสุภาพที่สมบูรณ์แข็งแรง ทำให้เซลล์ต่าง ๆ เจริญเติบโตและทำหน้าที่ได้เป็นปกติ ซึ่งวิตามินเป็นสารอาหารที่ไม่ให้พลังงาน วิตามินเกือบทุกชนิดไม่สามารถสังเคราะห์ได้ในร่างกายของสัตว์ จำเป็นต้องได้รับจากอาหาร มีเพียงไม่กี่ชนิดเท่านั้นที่ร่างกายหรือแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในร่างกาย (Normal Flora) สามารถสังเคราะห์ได้ในปริมาณที่จำกัด และไม่เพียงพอต่อความต้องการ เช่น วิตามิน เค บี1 บี2 กรดโฟลิก และบี12 สำหรับวิตามินดีร่างกายสามารถสังเคราะห์ได้เมื่อผิวหนังได้รับแสดงแดด

การจำแนกวิตามิน วรรณพร ทะพิงค์แก (2560) ได้กล่าวไว้ว่า สามารถจำแนกได้ตามลักษณะการละลาย (Solubility) ได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1. วิตามินที่ละลายในไขมัน (Fat Soluble Vitamin)

วิตามินที่ละลายในไขมัน ได้แก่ วิตามินเอ (Vitamin A) วิตามินดี (Vitamin D) วิตามินอี (Vitamin E) และวิตามินเค (Vitamin K) ซึ่งวิตามินเอ และวิตามินอี ในสัตว์ทุกชนิดจำเป็นจะต้องได้รับจากอาหารเท่านั้น แต่สำหรับวิตามินดีร่างกายสามารถสร้างเองได้จากการได้รับแสงอาทิตย์ผ่านทางผิวหนัง และวิตามินเค ร่างกายได้รับจากการสังเคราะห์โดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในกระเพาะรูเมนหรือลำไส้ใหญ่ เนื่องจากวิตามินเหล่านี้มีการดูดซึมพร้อมกับไขมันผ่านทางระบบน้ำเหลือง (Lymph System) เมื่อเข้าสู่ร่างกายแล้ว ส่วนใหญ่จะไม่มีการขับถ่ายออกทางปัสสาวะ (ตาราง 6)

ตาราง 6 หน้าที่ของวิตามิน อาการขาดวิตามิน และแหล่งที่มาของวิตามินที่ละลายในไขมันต่อเป็ดไข่

Name	Functional	Symptoms	Sources
Vitamin A	จำเป็นสำหรับการทำงานของสายตา และระบบการแบ่งเซลล์ การพัฒนาของกระดูก ระบบภูมิคุ้มกัน และระบบการสืบพันธุ์	ส่งผลต่อประสิทธิภาพผลผลิตไข่และการเจริญเติบโตลดลง	พบมากในไขมันที่ได้จากนมและไข่แดง

Name	Functional	Symptoms	Sources
Vitamin D	ช่วยในการดูดซึม Ca และเกี่ยวข้องกับกระบวนการเมแทบอลิซึมของ Ca และ P	ส่งผลทำให้มีการเจริญเติบโตช้า เปลือกไข่บาง และเสี่ยงต่อโรคกระดูกอ่อน	แสงแดด หญ้าที่ได้รับแสงแดด และนมสด
Vitamin E	มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ	ส่งผลทำให้เกิดอาการข้อบวมโต (Enlarged Hock Joint) และโรคเกี่ยวกับสมองหรือประสาท (Encephalomalacia; Crazy Chick Disease)	เมล็ดธัญพืช หญ้าสด หญ้าแห้งคุณภาพดี และน้ำมันจากเมล็ดพืช
Vitamin K	เป็นส่วนประกอบของโปรทรอมบินและเกี่ยวกับกระบวนการแข็งตัวของเลือด	ส่งผลทำให้เกิดการแข็งตัวของเลือดเป็นเวลานาน และเลือดออกทางกล้ามเนื้อ	หญ้าสด หญ้าแห้งคุณภาพดี

ที่มา: ดัดแปลงจาก Perry et al. (2003)

2. วิตามินที่ละลายในน้ำ (Water Soluble Vitamin)

วิตามินที่ละลายในน้ำ ได้แก่ วิตามินซี (Vitamin C) และวิตามินบีรวม (B-Complex) สัตว์ทุกชนิดไม่สามารถสังเคราะห์ได้ ยกเว้น วิตามินบี ที่อาจได้รับจากจุลินทรีย์ โดยเฉพาะในสัตว์เคี้ยวเอื้องมีจุลินทรีย์อาศัยอยู่ในกระเพาะรูเมน ส่วนสัตว์เคี้ยวเอื้องเทียม การสังเคราะห์จะเกิดขึ้นในไส้ตัน (Caecum) วิตามินกลุ่มนี้ส่วนใหญ่จะทำหน้าที่เป็นโคเอนไซม์ เนื่องจากละลายในน้ำได้ดี และมีการขับออกทางปัสสาวะได้ง่าย จึงไม่มีการเก็บสะสมไว้มากในร่างกาย ฉะนั้นจึงพบภาวะพิษได้น้อยจากการได้รับวิตามินมากเกินไป (ตารางที่ 7)

ตาราง 7 หน้าที่ของวิตามิน อาการขาดวิตามิน และแหล่งที่มาของวิตามินที่ละลายในน้ำต่อเป็ดไข่

Name	Functional	Symptoms	Sources
Vitamin B1 (Thiamine)	เป็นโคเอนไซม์ในกระบวนการเมแทบอลิซึมของพลังงาน	กินอาหารลดลง อัตราการเจริญเติบโตต่ำ และเสียชีวิต	เมล็ดธัญพืชที่ไม่ขัดสี คัพภะของเมล็ดพืช หญ้าสด

Name	Functional	Symptoms	Sources
Vitamin B2 (Riboflavin)	ส่วนประกอบของเอนไซม์ที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต และโปรตีน	อัตราการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตต่ำ ปากอักเสบ ผิวหนังอักเสบ ตาผิดปกติ ท้องร่วงและขาผิดปกติ	นม หางนม และหญ้าสด
Niacin	ส่วนประกอบของเอนไซม์ที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับเมแทบอลิซึมของไขมัน คาร์โบไฮเดรต และโปรตีน	ระบบทางเดินอาหารผิดปกติ เบื่ออาหาร ผิวหนังอักเสบ น่องและลิ้นเกิดแผล	พบในอาหารสัตว์ทั่วไป แต่ในข้าวโพด ข้าวบาร์เลย์ ข้าวสาลี และข้าวฟ่าง ใช้ได้น้อย
Vitamin B6 (Pyridoxine)	เป็นโคเอนไซม์ในกระบวนการเมแทบอลิซึมของกรดอะมิโน และกรดไขมัน มีส่วนช่วยในการสร้างระบบภูมิคุ้มกัน	อัตราการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตต่ำ และเกิดโรคโลหิตจาง	พบในอาหารสัตว์ทั่วไป
Pantothenic Acid	เป็นส่วนประกอบของโคเอนไซม์เอ	เกิดแผลที่ปากและเท้า มีอาการเดินปัดไปมา และพบระบบทางเดินอาหารผิดปกติ	พบในอาหารสัตว์ทั่วไป แต่มีน้อยในข้าวโพด
Biotin	เกี่ยวข้องกับเมแทบอลิซึมของไขมัน และคาร์โบไฮเดรต	มักพบการอักเสบของผิวหนังลิ้นและช่องปาก เท้าแตก พบอัตราการเจริญเติบโตต่ำ ขนร่วง	พบในอาหารสัตว์ทั่วไป แต่มีน้อยในข้าวโพด

Name	Functional	Symptoms	Sources
Choline	เกี่ยวข้องกับเมแทบอลิซึมของไขมันในตับ	ส่งผลต่อการทำงานของระบบประสาทและประสิทธิภาพการให้ผลผลิตไข่	พบในอาหารสัตว์ทั่วไป
Folic Acid	มีความสำคัญต่อการสังเคราะห์ฮีโมโกลบิน	อัตราการเจริญเติบโตต่ำ โลหิตจาง ส่งผลต่อการเจริญของขน และการให้ผลผลิตไข่	พบในอาหารสัตว์ทั่วไป
Vitamin B12	เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์ฮีโมโกลบิน	การเจริญเติบโตลดลง ความสมบูรณ์พันธุ์ต่ำ เกิดโรคโลหิตจาง และการให้ผลผลิตไข่ลดลง	แหล่งโปรตีนจากเนื้อสัตว์และ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการหมัก
Vitamin C	เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย ลดความเครียดที่เกิดจากอากาศร้อนจัด	มักไม่พบการขาด	สัตว์สามารถสังเคราะห์เองได้จากเนื้อเยื่อ

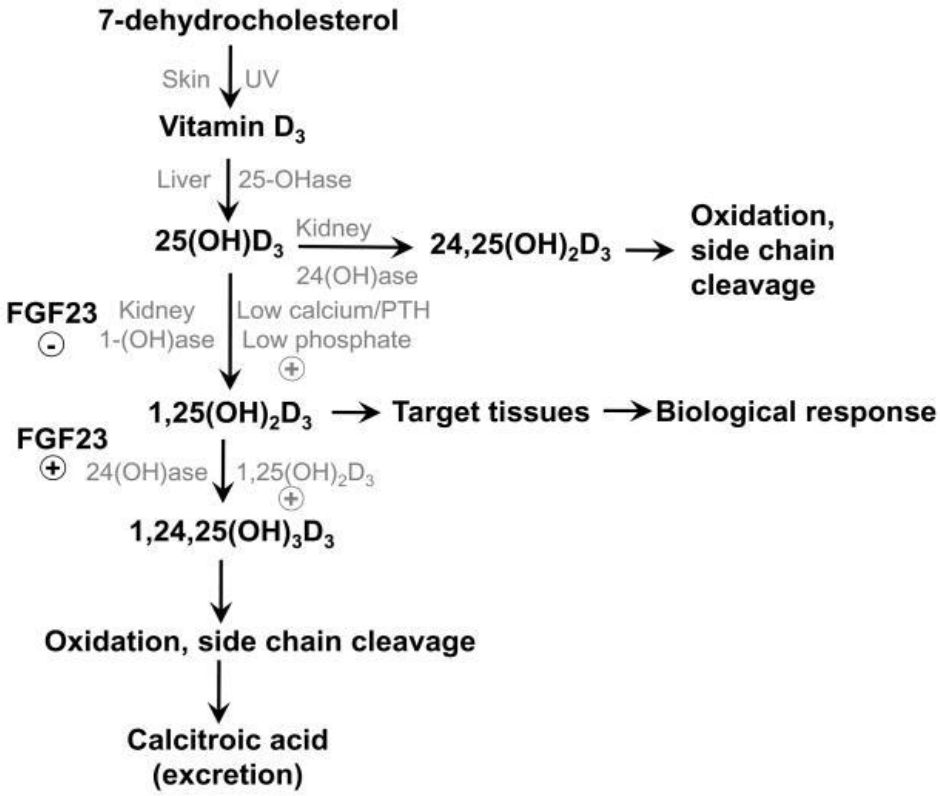
ที่มา: ดัดแปลงจาก Perry et al., 2003

วิตามินดี (Vitamin D)

วิตามินดี (Vitamin D) จัดเป็นวิตามินที่มีคุณสมบัติสามารถละลายได้ดีในไขมัน ซึ่งมีหน้าที่สำคัญในการควบคุมเมแทบอลิซึมของกระดูกและรักษาสมดุลของแคลเซียมและฟอสฟอรัสในกระแสเลือด (DeLuca, 1998) วิตามินดีในธรรมชาติ ประกอบด้วย 2 แหล่ง คือ วิตามินดี 3 (Cholecalciferol) ซึ่ง 90 เปอร์เซ็นต์ ของวิตามินดีในร่างกายถูกสังเคราะห์ขึ้นในผิวหนัง เมื่อได้รับรังสียูวีที่อยู่ในแสงอาทิตย์ (Maclaughlin et al., 1982; Holick et al., 2004) อีกทั้งยังพบมากในอาหารบางชนิด เช่น น้ำมันตับปลา ตับ ไข่แดง ปลาทู และปลาแซลมอน เป็นต้น (Moyad, 2008) ส่วนวิตามินที่พบจากแหล่งธรรมชาติอีกหนึ่งชนิด นั้นคือ วิตามินดี 2 (Ergocalciferol) เป็นวิตามินดีที่มักพบในพืช

ยีสต์ และเห็ดราบางชนิด ซึ่งวิตามินดีที่ร่างกายได้รับส่วนใหญ่มาจากการสังเคราะห์ในผิวหนังเป็นส่วนมาก ส่วนที่ได้รับจากอาหารจะมีเล็กน้อยเท่านั้น (Schwartz et al., 2005) ซึ่งหากมีการสังเคราะห์วิตามินดีที่ผิวหนังต่ำประกอบกับการรับประทานวิตามินดีน้อย อาจทำให้สัตว์เกิดภาวการณ์ขาดวิตามินดี ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อกระดูก

ภาพ 3 แสดง กลไกการสังเคราะห์วิตามินดี เริ่มต้นจากการที่สารตั้งต้นของวิตามินดี นั้นคือ 7-dehydrocholesterol (7DC) ในผิวหนังได้รับรังสียูวีบีจากแสงอาทิตย์ บริเวณชั้นผิวหนัง Epidermis และ Dermis (Norman, 1998) จากนั้นจะถูกเปลี่ยนเป็น Provitamin D_3 (Cholecalciferol) เข้าสู่กระแสเลือดโดยไปจับกับ Vitamin D Binding Protein (DBP) เพื่อเป็นตัวพาสำหรับการขนส่งวิตามินดีในกระแสเลือดเนื่องจากคุณสมบัติการละลายที่จำเป็นต้องละลายในไขมัน หรือสารไม่มีขั้ว ทำให้ไม่สามารถจับกับสารละลายมีขั้วหรือน้ำเลือดได้จึงต้องอาศัยโปรตีนตัวพาในการขนส่ง ทั้งวิตามินดี 2 และวิตามินดี 3 จะเข้าสู่ปฏิกิริยาการเติมน้ำ (Hydroxylation) ที่ตับโดยอาศัยเอนไซม์ 25–hydroxylase เปลี่ยนเป็น 25–hydroxycholecalciferol เข้าสู่การเติมน้ำอีกครั้ง ที่เซลล์ Proximal tubule ในไต โดยอาศัยเอนไซม์ 1α–hydroxylase เพื่อเปลี่ยนสารในรูป 25–hydroxycholecalciferol เป็น 1α,25–dihydroxycholecalciferol (Calcitriol) เป็น Biologically Active Form ของวิตามินดี (Jones , & Strugnell, 1998) และนอกจากนั้นกระบวนการเติมน้ำ ในไตนั้นยังมีเอนไซม์ 24 –hydroxylase เปลี่ยน 25–hydroxycholecalciferol ให้เป็น 24, 25 –dihydroxycholecalciferol ซึ่งอยู่ในรูปไม่พร้อมทำงาน (inactive form) ของวิตามินดี ที่มีความสำคัญในการรักษาสมดุลแคลเซียมในร่างกาย และป้องกันการเกิดภาวะ Hypercalcemia ที่เป็นผลมาจากการมีปริมาณของ Calcitriol ในเลือดสูงเกินไป ซึ่ง Calcitriol ($1,25(OH)_2D_3$) มีหน้าที่รักษาสมดุลของแคลเซียมและฟอสฟอรัสในร่างกาย เพิ่มการดูดซึมแคลเซียมและฟอสฟอรัสในลำไส้ ควบคุมการสร้างกระดูกและฟัน และควบคุมการทำงานของพาราไทรอยด์ (Cicarma *et al*., 2009) ส่วนวิตามินส่วนเกินจะถูกขับออกนอกร่างกายโดยเริ่มจาก Calcidiol และ Calcitriol ทำปฏิกิริยากับ $24,25(OH)D_3$ และ 1α,$24,25(OH)_2D_3$ และสุท้ายถูกเปลี่ยนเป็น Calcitroic acid ซึ่งเป็นสารที่สามารถละลายน้ำได้ และสามารถถูกขับออกนอกร่างกายได้ โดยผลการศึกษาก่อนหน้านี้ถึงระดับและรูปแบบการเสริมวิตามินดี 3 ในอาหารสัตว์ปีกประเภทให้ผลผลิตไข่ได้สรุปไว้ดังแสดงในตาราง 8



ภาพ 3 กลไกการเผาผลาญวิตามินดี 3 ในเป็ดไข่

ที่มา: ดัดแปลงจาก Nesterova et al., 2013

ตาราง 8 ระดับการเสริมวิตามินดีในอาหารสัตว์ปีกกระเภทไข่

Form/dietary level vitamin D3	Duration of study and studied characteristics	Results
Ergocalciferol (vitamin D2) or cholecalciferol (6,000/15,000 IU/kg)	20-68 w. Laying performance, egg quality, health status hens, vit D3 concentration egg yolks	Diet with cholecalciferol more efficiently increased vitamin D concentration in yolks than with ergocalciferol. None of studied vit D3 forms had negative effects on laying performance and egg quality

Form/dietary level vitamin D3	Duration of study and studied characteristics	Results
Cholecalciferol (1,500 IU/kg) substituted 25, 50, 75, 100% by 25-OH-D3	26-70 w. Laying performance, eggshell quality, tibia breaking strength	No differences between treatments in laying performance, tibia breaking strength. Positive effect cholecalciferol substitution by 25-OH-D3 on eggshell quality in older hens (66-70 w)
Cholecalciferol (2,756 IU/kg) substituted by 25-OH-D3	23-34 w. Laying performance, egg/shell quality, bone breaking strength/mineralisation, blood Ca content	Replacing cholecalciferol with 25- OH-D3 improved FCR and eggshell percentage and thickness, without any effect on the other analysed indices
Cholecalciferol (2,000/3,400IU/kg) or cholelciferol (2,000 IU/kg) + 25-OH-D3(35/ 69 μg/kg)	32-67 w (broiler breeder hens). Laying performance, eggshell quality, hatchability	Positive effect of 25-OH-D3 on eggshell quality at 60 w of age, without any influence on laying performance and hatchability
Cholecalciferol (3,000 IU/kg); cholecalciferol (1,500 IU/kg) + 25-25-OH-D3(80 μg/kg; or 25-OH-D3 (160 μg/kg)	54-60 w. Yolk vitamin D3 (25-OH-D3) concentration, aying performance, egg quality	Content of 25-OH-D3in yolks increased linearly with increasing 25-OH-D3dietary level. No effect of dietary treatments on performance and egg quality indices
Cholecalciferol (2,000 IU/kg) substituted by 25-OH-D3 or	80-94 w. Laying performance, eggshell quality, bone breaking strength, serum Ca	Negative effect of dietary 1,25(OH)2D3 on egg production and feed conversion ratio. Sources of

Form/dietary level vitamin D3	Duration of study and studied characteristics	Results
1,25(OH)2D3 in diets varying in Ca levels		vitamin D3 did not affect eggshell quality, bone breaking strength and Ca serum level

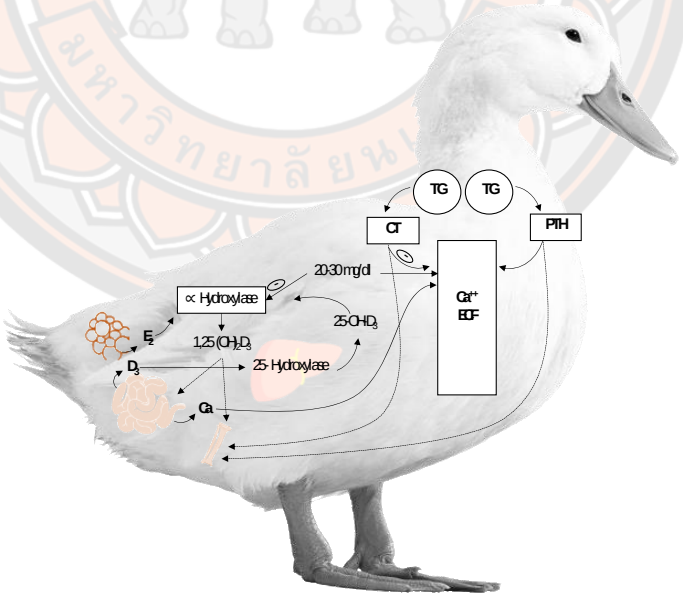
ที่มา: ดัดแปลงจาก Swiatkiewicz et al., 2017

การเผาผลาญวิตามินดี และภาวะสมดุลของแคลเซียม (Vitamin D Metabolism and Calcium Homeostasis)

จากรายงานของ Soares (1984) ได้ระบุว่า การเผาผลาญของวิตามินดีและแคลเซียมการควบคุมระดับของแคลเซียมให้คงที่ มีการแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าสัตว์ปีกสามารถเผาผลาญวิตามินดีได้อย่างมีประสิทธิภาพในรูป Cholecalciferol (D 3) โดยแหล่งวิตามินจากพืช องค์ประกอบส่วนใหญ่คือ วิตามินดี 2 โดยปกติแล้วสัตว์ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ ส่วนวิตามินดี 3 พบว่ามีเพียง 5% เท่านั้น (Valinietse , & Bauman, 1981) ถึงแม้ว่าเหตุผลนั้นจะยังไม่ชัดเจน แต่สิ่งที่สามารถอธิบายได้คือ วิตามินดี 2 จะเกิดการหมุนเวียนในร่างกายสัตว์อย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีระสิทธิภาพการจับกับโปรตีนขนส่งภายในพลาสมาน้อย (Belsey et al., 1974) และเป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าสัตว์สามารถใช้วิตามินดีในรูปของวิตามินดี 3 โดยสามารถผลิตขึ้นเองจากคอเรสเตอรอล (Cholesterol) ที่อยู่ภายในร่างกาย เมื่อได้รับรังสียูวีที่อยู่ในแสงอาทิตย์ คอเลสเตอรอลจะถูกเปลี่ยนเป็น 7-dehydrocholesterol (7DC) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของวิตามินดี 3 จากนั้น 7DC จะถูกเปลี่ยนเป็นวิตามินดี 3 ซึ่งทำให้ในบางครั้งอาจจะไม่จำเป็นต้องเสริมในอาหารสัตว์ เนื่องจากร่างกายสามารถสังเคราะห์เองได้ แต่ในกรณีศึกษานี้ เป็นการเลี้ยงเป็ดในพื้นที่กักขัง หรือโรงเรือนปิด ทำให้เป็ดไข่ไม่ได้รับรังสียูวีที่อยู่ในแสงอาทิตย์ ทำให้ปริมาณวิตามินดีไม่เพียงพอสำหรับใช้ในการเจริญเติบโต จึงจำเป็นต้องมีการเสริมวิตามินดีในอาหาร อีกทั้งช่วยลดการสูญเสียระหว่างกระบวนการที่ร่างกายของเป็ดต้องเมแทบอไลท์เพื่อนำวิตามินดี 3 ในร่างกายมาใช้ทดแทน โดยหน้าที่หลักของวิตามินดี 3 ในร่างกายของสัตว์ คือ รักษาสมดุลของแคลเซียมและฟอสฟอรัสในร่างกายสัตว์ โดยเพิ่มการดูดซึมของแคลเซียมบริเวณเยื่อบุผนังลำไส้เล็กพร้อมกับไขมันและเกลือน้ำดี ด้วยการกระตุ้นการสร้างโปรตีนที่จับกับแคลเซียม ส่งผลให้แคลเซียมในกระเสเลือดสัตว์เพิ่มขึ้น (Leeson, & Summers, 2001; Nascimento et al., 2014) ซึ่งจำเป็นต่อการสร้างกระดูก โดยส่งเสริมการสะสมแคลเซียมใน

กระดูก ช่วยให้กระดูกมีการเจริญเติบโต อีกทั้งส่งเสริมการนำแคลเซียมไปใช้ในกระบวนการสร้างไข่ เพิ่มความแข็งแรงของเปลือกไข่ในช่วงที่ให้ผลผลิต และที่สำคัญช่วยในการเตรียมความพร้อมให้เป็ดระยะก่อนไข่ ให้พร้อมสำหรับการเจริญเติบโต และการสร้างผลผลิต Chen (2000) ได้รายงานว่า การเสริมวิตามินดี 3 ปริมาณ 1000 และ 2000 ICU ต่อ กิโลกรัม ช่วยเพิ่มผลผลิตไข่ และความแข็งของเปลือกไข่ ในไข่เป็ด อีกทั้งการเสริมวิตามินดี 3 ยังสามารถเพิ่มความเข้มข้นของแคลเซียมในเลือดได้อีกด้วย

ภาพ 4 แสดงลักษณะสำคัญหลายประการของระบบการควบคุมระดับของแคลเซียมให้คงที่ (Calcium Homeostasis) เห็นได้ชัดว่ามีการควบคุมทั้งทางตรงและทางอ้อมของระบบต่อมไร้ท่อโดยปริมาณแคลเซียมและฟอสฟอรัสที่พบในพลาสมา เมื่อร่างกายของสัตว์อยู่ในสภาวะแคลเซียมในเลือดต่ำกว่าปกติ (Hypocalcemia) จะกระตุ้นการทำงานของ Alpha-hydroxylase ซึ่งส่งผลให้การสังเคราะห์วิตามินดี 3 รูป1,25-$(OH)_2D_3$ เพิ่มขึ้น (DeLuca, 1998) นอกจากนี้ฮอร์โมนพาราไทรอยด์ (Parathyroid Hormone; PTH) จากต่อมพาราไทรอยด์จะหลั่งออกมาเพื่อตอบสนองต่อปริมาณแคลเซียมในพลาสมาที่ต่ำ เชื่อกันว่าฮอร์โมนพาราไทรอยด์จะกระตุ้นระบบ Hydroxylase ของไตนอกเหนือจากเนื้อเยื่อเป้าหมายอื่น ๆ ที่น่าสนใจคือ 1,25-$(OH)_2D_3$ ในพลาสมาจะจับกับตัวรับในต่อมพาราไทรอยด์ และกระตุ้นการหลั่งของ PTH (Wecksler et al., 1977)



ภาพ 4 กลไกการเผาผลาญ และการรักษาสมดุลของวิตามินดี 3 และแคลเซียมในเป็ดไข่

ที่มา: ดัดแปลงจาก Soares, 1984

ในสภาวะแคลเซียมในเลือดต่ำกว่าปกติ (Hypocalcemia) วิตามินดี 3 ในรูป $1,25(OH)_2D_3$ จะทำหน้าที่เพิ่มการดูดซึมของแคลเซียมและฟอสฟอรัสในลำไส้ ภายใต้สภาวะที่มีแคลเซียมน้อยหรือต่ำ กลไกการดูดซึมแคลเซียมในร่างกายออกมาใช้ประโยชน์มีความสำคัญมากกว่าการรับจากอาหาร (Spencer et al., 1978; Rasmussen et al., 1979) ดังนั้น $1,25(OH)_2D$ จึงควบคุมกลไกการดูดซึมแคลเซียมทั้งแบบพาสซีฟและแอคทีฟ นอกนั้นในลำไส้ วิตามินดี 3 ในรูป $1,25(OH)_2D_3$ และ PTH ยังทำหน้าที่กระตุ้นเซลล์ Cell Lineage ที่อยู่ในไขกระดูกของระบบโครงร่าง เพื่อปลดปล่อยแคลเซียมและฟอสฟอรัสเข้าสู่การไหลเวียนของร่างกาย (Garabedian et al., 1974) เมื่อร่างกายกลับเข้าสู่ระดับของแคลเซียมปกติ Calcitonin จะถูกหลั่งออกมาจากต่อมไทยรอยด์เพื่อยับยังกระบวนการของวิตามินดี 3 และ PTH ในกระดูก

การควบสมดุลอิเล็คโทรไลท์ในร่างกาย

1. ระบบควบคุมอิเล็คโทรไลท์ในร่างกาย

เมื่อพิจารณาอย่างง่ายๆ จะพบว่าในระบบใดระบบหนึ่งที่เป็นระบบเปิดซึ่งสามารถติดต่อกับสิ่งแวดล้อมรอบ ๆ ตัวได้นั้น การคงตัวของตัวแปรใด ๆ ก็ตามในระบบขึ้นกับความสมดุลของ สิ่งที่เข้ามาในระบบ (Input) กับสิ่งที่ออกจากระบบ (Output) เมื่อพิจารณาถึงปริมาณของน้ำในร่างกายตลอดจนความเข้มข้นของอิเล็คโทรไลท์ พบว่าค่อนข้างคงที่อยู่ ตลอดเวลานั้นทั้งนี้ต้องเกิดจากการที่ร่างกายได้รับน้ำ และอิเล็คโทรไลท์ในอัตราที่เท่ากับร่างกายต้องเสียสารดังกล่าวนี้ไป (สัญญา ร้อยสมมุติ, 2534)

2. การได้รับน้ำและอิเล็คโทรไลท์

ช่องทางที่สารสามารถเข้า – ออกจากร่างกายเพื่อรักษาสมดุลของน้ำ และอิเล็คโทรไลท์ โดยสรุปมีดังนี้

2.1 การได้รับผ่านระบบทางเดินอาหารเป็นระบบที่สำคัญที่สุดในการได้รับน้ำและอิเล็คโทรไลท์ในภาวะปกติ

2.2 การให้สารเหลวทางหลอดเลือด เช่นการให้น้ำเกลือ และการฉีดยา

2.3 ได้รับจากกระบวนการเมแทบอลิซึมในร่างกาย เช่น กระบวนการเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต

การสูญเสียน้ำและอิเล็คโทรไลท์

1. การสูญเสียโดยผ่านระบบทางเดินอาหาร ในภาวะปกติจะออกมากับอุจจาระ ซึ่งเป็นทางที่เกิดการสูญเสียน้ำและอิเล็คโทรไลท์ได้ สำหรับปริมาณของน้ำและอิเล็คโทรไลท์ที่ร่างกายสูญเสียนั้นขึ้นอยู่กับความรุนแรงของความผิดปกติที่จะเกิดขึ้น และปริมาณของน้ำกับความเข้มข้นของ

อิเล็คโทรไลท์ ที่เป็นส่วนประกอบของของเหลวในกระเพาะและในลำไส้ ซึ่งในภาวะที่ผิดปกติ จะสูญเสียออกทางปากโดยการอาเจียนและการเสียออกทางทวารหนักในภาวะอุจจาระร่วง

2. การสูญเสียโดยผ่านระบบทางเดินหายใจ ปกติอากาศที่หายใจออกมานั้นจะอิ่มตัว ด้วยไอน้ำซึ่งมีค่าความดันไอน้ำประมาณ 47 มิลลิเมตรปรอท น้ำที่ออกจากการหายใจนั้นไม่มีส่วนประกอบของอิเล็คโทรไลท์ แต่อย่างใด ปริมาณของน้ำที่จะเสียไปทางระบบทางเดินหายใจ ขึ้นกับปริมาณการหายใจคล้ายกับการเสียน้ำทางเหงื่อ คือ ถ้าร่างกายมีอุณหภูมิสูง เช่น ขณะอุณหภูมิร่างกายสูง หรืออยู่ในสภาพอากาศร้อน จะมีปริมาณการหายใจสูงขึ้น ทำให้เสียน้ำไปได้มากขึ้นด้วย ผลที่ได้จะทำให้ร่างกายขาดน้ำและความเข้มข้นของเลือดสูงขึ้น

3. การสูญเสียโดยผ่านระบบขับถ่ายปัสสาวะ ปกติไตจะขับน้ำและอิเล็คโทรไลท์ ทิ้งด้วยปริมาณมากหรือน้อยขึ้นกับสภาวะของร่างกาย คือ ถ้าร่างกายขาดน้ำและอิเล็คโทรไลท์ จะมีการขับน้ำและอิเล็คโทรไลท์ ออกน้อยถ้าได้รับมากก็จะขับทิ้งมาก

ความสัมพันธ์ของอิเล็คโทรไลท์ต่อการย่อยและดูดซึมอาหาร

1. ความสัมพันธ์ของอิเล็คโทรไลท์ต่อการย่อยอาหาร

การย่อยอาหารในระบบทางเดินอาหารจำเป็นต้องอาศัยเอนไซม์ต่างๆ มาช่วยในการย่อยสารอาหารที่รับประทานเข้าไป เอนไซม์ต่างๆ ในบริเวณทางเดินอาหารจะทำหน้าที่ในการย่อยอาหารได้สมบูรณ์จำเป็นต้องอาศัยอิเล็คโทรไลท์ชนิดต่างๆ ที่หลั่งออกมาจากต่อมต่างๆภายในทางเดินอาหารโดยพบว่าหน้าที่ที่สำคัญของอิเล็คโทรไลท์ในทางเดินอาหารมีดังนี้

1.1 ช่วยปรับสภาวะความเป็นกรด-ด่างในแต่ละบริเวณของทางเดินอาหารทำให้มี pH ที่เหมาะสมแก่การทำงานของเอนไซม์ย่อยอาหารในบริเวณนั้น เช่น H^+ ไปทำให้เปปซิโนเจนเปลี่ยนไปเป็นเปปซิน และยังช่วยกระตุ้นการทำงานของเปปซินอีกด้วย นอกจากนี้ HCO^{-3} ที่หลั่งออกมาจากตับอ่อนและเซลล์เยื่อบุลำไส้เล็กส่วนต้นจะช่วยปรับสภาวะความเป็นกรด-ด่างของ อาหารที่เข้ามาและมีผลทำให้ทางเดินอาหารบริเวณลำไส้เล็กส่วนต้นมีความเป็นด่างเพื่อที่จะทำให้เอนไซม์ต่างๆ ในบริเวณดังกล่าวทำการย่อยได้เต็มที่

1.2 ทำหน้าที่เป็นตัวเร่ง (Catalyst) การทำงานของเอนไซม์ต่าง ๆ ที่หลั่งเข้าไปในบริเวณทางเดินอาหาร อิเล็คโทรไลท์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งที่สำคัญได้แก่ แคลเซียม สังกะสี คลอไรด์ แมกนีเซียม และแมงกานีส เป็นต้น

การปรับสมดุลสารละลายไฟฟ้าในอาหาร (dietary Electrolyte Balance; dEB)

ในภาวะที่เกิดความไม่สมดุลของกรด-ด่าง โดยการสูญเสียน้ำและอิเล็คโทรไลท์ ซึ่งในภาวะปกติร่างกายได้รับกรดเพิ่มขึ้นทั้งจากภายในและภายนอกร่างกาย แต่โดยทั่วไปปริมาณกรดที่เพิ่มมากขึ้นมิได้ทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของร่างกายเปลี่ยนไป ทั้งนี้เพราะร่างกายมีกลไกที่ช่วยควบคุมให้มีการกำจัดกรดเหล่านั้นออกจากร่างกายได้อย่างเหมาะสม กลไกเหล่านี้ได้แก่ การเป็นบัฟเฟอร์ทางเคมีโดยสารบัฟเฟอร์ต่างๆ ที่อยู่ในของเหลวนอกเซลล์และในเม็ด เลือดแดงโดยเฉพาะไบคาร์บอเนตบัฟเฟอร์และฮีโมโกลบินการทำงานของเนื้อเยื่อโดยการนำกรดเข้าหรือออกจากเซลล์อย่างเหมาะสม การทำงานของสองกระบวนการนี้ช่วยเพียงมิให้ pH เปลี่ยนแปลงมากเท่านั้นแต่มิได้เป็นการกำจัดกรดออกนอกร่างกายโดยตรงกระบวนการที่สามคือ การหายใจที่จะช่วยควบคุมการระบายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ออกนอกร่างกายให้ เหมาะสมกับการควบคุมสมดุลกรด-ด่าง กระบวนการนี้ถูกควบคุมโดยระบบควบคมการหายใจ ส่วนกระบวนการสุดท้ายซึ่งใช้เวลานานในการตอบสนองคือ การทำงานของไตซึ่งควบคุมการ ดูดกลับไบคาร์บอเนต การคัดหลั่งกรดและสร้างไบคาร์บอเนตขึ้นมาใหม่อย่างเหมาะสมกับภาวะกรด-ด่างของร่างกาย ไตเป็นอวัยวะเดียวที่ช่วยขับกรดทิ้งได้อย่างสมบูรณ์ที่สุด อย่างไรก็ตามการทำงานของทั้งสามกระบวนการนี้มีความเกี่ยวข้องกันอย่างใกล้ชิด ถ้าเกิดความผิดปกติของระบบการควบคุมสมดุลกรด-ด่างดังกล่าวอาจเกิดจากร่างกายมีความผิดปกติหรือได้รับกรด-ด่างมากขึ้น ทำให้สมดุลกรด-ด่างในร่างกายเสียไป ซึ่งในเป็ดไข่สามารถแยกสาเหตุที่ทำให้ร่างกายได้รับกรดเพิ่มขึ้นดังนี้ การเมแทบอลิซึมเป็ดได้รับอาหารที่มีระดับของแร่ธาตุที่สูงเกินไปทำให้ร่างกายเกิดการเผาผลาญมากขึ้น จึงต้องมีการระบายความร้อนออกมาซึ่งจะทำให้ร่างกายสูญเสียน้ำ (hypertonic dehydration) ส่งผลถึงภาวะความเป็นกรดในร่างกาย หรือแม้แต่ การลดระดับโปรตีนแล้วมีการเสริมกรดอะมิโนสังเคราะห์ ซึ่งเป็นกรอินทรีย์ ก็จะส่งผลให้ร่างกายมีภาวะความเป็นกรดเช่นกัน การคงสมดุลกรด-ด่างให้มีประจุเป็นกลางโดยใช้ค่า dietary Undetermined Anion; dUA ซึ่งแสดงไว้ในสมการ (Chan, 1974) สามารถคำนวณได้จาก

$$dUA = (Na^{+} + K^{+} + Ca^{++} + Mg^{++}) - (Cl^{-} + P^{2-} + S_{inorganic})$$

หรือจะใช้ค่าสารปรับสมดุลสารละลายไฟฟ้า (dietary Electrolyte Balance; dEB) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$dEB = Na^{+} + K^{+} - Cl^{-}$$

ส่วนใหญ่จะใช้ค่า dEB เนื่องจากง่ายและสะดวกในการวิเคราะห์แต่ผลที่ได้ก็ไม่มีความแตกต่างกัน (Patience, 1990) ในอาหารสัตว์ ที่ประกอบด้วยข้าวโพดและกากถั่วเหลืองจะมีค่า dEB ประมาณ 175 mEq ต่ออาหาร 1 กิโลกรัมปกติในอาหารจะมีประจุบวกมากกว่าประจุลบ

อย่างไรก็ตามการควบคุมปริมาณแร่ธาตุในอาหารเพื่อปรับสมดุลของแร่ธาตุให้มีความเหมาะสมต่อการทำหน้าที่ตามปกติของระบบต่าง ๆ โดยเฉพาะการปรับแร่ธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม และฟอสฟอรัสในสูตรอาหาร ให้เพียงพอต่อความต้องการของสัตว์สำหรับกระบวนการเมแทบอลิซึมของกระดูก ส่วนซัลเฟตก็มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการป้องกันการสลายตัวของเมทไธโอนีนจึงมีเพียงโซเดียม โพแทสเซียม และคลอไรด์เท่านั้นที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมดุลกรด-ด่างในร่างกาย ดังนั้น สมดุลของแร่ธาตุในอาหารที่แสดงถึงสภาพกรด-ด่างของร่างกานที่เหมาะสม ด้วยเหตุนี้ปริมาณแร่ธาตุในวัตถุดิบอาหารแต่ละชนิดที่นำมาใช้เลี้ยงสัตว์จึงมีผลต่อสัดส่วนของแร่ธาตุในสูตรอาหาร

ดังนั้น การปรับสมดุลสารละลายไฟฟ้าในอาหาร (dEB) จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อภาวะกรด-ด่างในร่างกายสัตว์สำหรับปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อภาวะความเป็นกรด-ด่างของสัตว์ ได้แก่ อาหารที่ได้รับ สภาวะอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมที่สูง หรือในภาวะความเจ็บป่วย ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีผลทำให้ความเป็นกรด-ด่างในร่างกายสัตว์สูญเสียไป ส่งผลทำให้การทำหน้าที่ของเอ็นไซม์ในกระบวนการต่าง ๆ ของร่างกายผิดปกติ

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

อุปกรณ์และสารเคมี

Ammonium sulfate / Merck

Autopipette 100, 500, และ 1,000 ไมโครลิตร

Beaker 80, 100, 250, และ 500 มิลลิลิตร

Boric acid / Sigma

Buchner funnel

Burette camp

Crucibles

Cylinder 10, 25, 50, 100, 250, และ 1000 มิลลิลิตร

Erlenmeyer flask 250 มิลลิลิตร

Gloves

Kjeldahl tube

Laboratory Bottle

Plate

Ring support

Silicon tube

Sodium hydroxide / Merck

Sodium thiopental

Soxhlet apparatus

Suction flask

Sulfuric acid / Merck

Tashiro indicator / Chemsolute

Tip tube 250 และ 1,000 มิลลิลิตร

Vacuum pump

Volumetric flask

น้ำยาฆ่าเชื้อ / Tornado

เครื่องมือ

1. Egg Multi-Tester (EMT-7300) \ Touhoku Rhythm co.ltd \ Japan
2. Energy dispersive X-ray spectrometer (Link ISIS300) \ Oxford Instruments Ltd. \ UK
3. External Micrometer (Moore & Wright MW200) \ Thailand
4. Hot air oven \ Shimadzu \ Japan
5. Scanning Electron Microscopy (JSM-5410LV model) \ JEOL Ltd. \ Japan
6. Texture Analyzer (model QTS25 \ Brookfield Engineering Labs., Inc. Middleboro, MA 02346 \ USA)
7. Universal Testing Machine (model 441) \ Instron, Ltd. \ England

วิธีการดำเนินงานวิจัยในสัตว์ทดลอง

1. สารเสริม BCD

สารเสริม BCD ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ เป็นส่วนผสมของไบโอแคลเซียมร่วมกับแร่ธาตุรองคีเลต (ทองแดง สังกะสี และ แมงกานีส) และวิตามินดี 3 ดังแสดงในตารางที่ 9 เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าที่มีชื่อว่า Biocalcio โดยได้รับอนุเคราะห์จาก บริษัท ออคต้าเมมโมเรียล จำกัด

ตาราง 9 องค์ประกอบของสารเสริม BCD

Ingredients	Ratio (g/kg)
Calcium (High Bioavailability)	50.0
Calcium (Other Sources)	110.0
Sodium	45.6
Chelated Manganese	18.0
Chelated Zinc	16.5
Chelated Copper	2.2
Vitamin C	5.0
Vitamin D_3 (IU)	2,500,000

2. การออกแบบการทดลองและสัตว์ทดลอง

การดำเนินงานวิจัยได้ดำเนินการภายใต้การกำกับดูแลให้เป็นไปตามหลักจรรยาบรรณ และตามหลักการใช้สัตว์ทดลองเพื่องานทางวิทยาศาสตร์ รวมถึงได้รับกำรรับรองจากคณะกรรมการกำกับดูแลการดำเนินการต่อสัตว์สัตว์ทดลองเพื่องานทางวิทยาศาสตร์ ของมหาวิทยาลัยนเรศวรเลขที่เอกสารรับรอง (NUAACUC; หมายเลข 62-01-003) งานทดลองนี้ออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomize Design) ซื้อเป็ดไข่ สายพันธุ์กากีแคมเบลล์ จากฟาร์มเอกชน (ปราณีฟาร์ม อ.บางระกำ จังหวัดพิษณุโลก) เมื่อเป็ดอายุครบ 30 สัปดาห์ ทำการคัดเลือกเป็ดไข่ที่มีน้ำหนักตัวใกล้เคียงกัน และมีเปอร์เซ็นต์ไข่ที่สม่ำเสมอ จำนวน 80 ตัว มาแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 4 ซ้ำ ซ้ำละ 5 ตัว เป็ดไข่ถูกเลี้ยงภายในโรงเรือนปิดระบบระเหยไอเย็น (Evaporative Cooling System) ทุกตัวได้รับอาหาร และน้ำให้กินอย่างเต็มที่ กำหนดให้มีโปรแกรมแสงสว่าง 17 ชั่วโมงต่อวัน ตลอดระยะเวลาการทดลอง 8 สัปดาห์ เป็ดทดลองแต่ละกลุ่มได้รับอาหารพื้นฐาน (ตารางที่ 10) ที่เสริม BCD ในระดับแตกต่างกัน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

กลุ่มที่ 1 อาหารพื้นฐาน (T1)
กลุ่มที่ 2 อาหารพื้นฐาน + BCD ที่ระดับ 0.05 เปอร์เซ็นต์ (T2)
กลุ่มที่ 3 อาหารพื้นฐาน + BCD ที่ระดับ 0.10 เปอร์เซ็นต์ (T3)
กลุ่มที่ 4 อาหารพื้นฐาน + BCD ที่ระดับ 0.20 เปอร์เซ็นต์ (T4)

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ทำการเก็บข้อมูลจำนวนไข่ และน้ำหนักไข่ของเป็ดแต่ละคอก เป็นประจำทุกวัน วันละ 2 ครั้ง (ช่วงเช้าและช่วงเย็น) และเก็บข้อมูลปริมาณอาหารที่กินของเป็ดแต่ละคอก สัปดาห์ละ 1 ครั้ง จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาสมรรถภาพการผลิต ดังนี้

$$\textbf{เปอร์เซ็นต์ไข่เฉลี่ยต่อวัน (\%)} = \frac{\text{จำนวนไข่ที่เก็บได้ทั้งหมด}}{\text{จำนวนตัว} \times \text{จำนวนวัน}} \times 100$$

$$\textbf{น้ำหนักไข่เฉลี่ย (กรัม)} = \frac{\text{น้ำหนักไข่ทั้งหมด}}{\text{จำนวนไข่ (ฟอง)}}$$

$$\textbf{มวลไข่ (กรัม/วัน)} = \frac{\text{เปอร์เซ็นต์ไข่เฉลี่ยต่อวัน (\%)} \times \text{น้ำหนักไข่เฉลี่ย (กรัม)}}{100}$$

$$\textbf{ปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยต่อวัน (กรัม/วัน} = \frac{\text{ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม)}}{\text{จำนวนตัว} \times \text{จำนวนวัน}}$$

$$\textbf{อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นผลผลิตไข่} = \frac{\text{ปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยต่อวัน (กรัม/วัน)}}{\text{มวลไข่ (กรัม/วัน)}}$$

ตาราง 10 ส่วนประกอบและองค์ประกอบทางเคมีจากการคำนวณของอาหารพื้นฐาน

Items	g/kg
Ingredients	
Corn	524.0
Cassava meal	30.0
Vegetable oils	20.0
Soybean meal (460 g/kg CP)	212.0
Full fat soybean	105.0
Dicalcium phosphate (180 g/kg P)	22.0
Calcium carbonate	75.5
Salt	3.0
Vitamin-mineral premix[1]	3.0
L-Lysine	1.0
DL-Methionine	2.5
Mycotoxin adsorbents[2]	1.9
Pigment	0.1
Total	1,000.0
Calculated chemical composition[3]	
Crude protein, %	17.50
Ether extract, %	6.12
Crude fiber, %	3.23
Calcium, %	3.51
Metabolizable energy, kcal/kg	2,850

หมายเหตุ: [1]Vitamin-mineral premix provided per kilogram of diet: vitamin A (trans-retinyl acetate), 12,000 IU; vitamin D3 (cholecalciferol), 3000 IU; vitamin E (all-rac-tocopherol-acetate), 12 mg; vitamin K3 (bisulphate menadione complex), 3.6 mg; vitamin B1, 1.4 mg; vitamin B2, 5.4 mg; vitamin B6 4.2 mg; vitamin B12 (Cyanocobalamin), 0.02 mg; nicotinic acid, 9 mg; pantothenic acid (D-calcium pantothenate), 9 mg; folic acid, 0.6 mg; biotin, 45 mg; choline chloride, 210 mg; selenium, 0.18 mg; cobalt, 0.3 mg; iodine, 1.08 mg; zinc, 60 mg; iron, 54 mg; manganese, 96 mg; copper, 12 mg.

[2]Mycotoxin adsorbents is mixture of bentonites, illites, and kaolites, which chemically contain as following: 63.90% SiO_2; 16.20% Al_2O_3; 1.95% CaO; 3.32% Fe_2O_3; 2.90% MgO; 3.90% Na_2O; and 0.80% K_2O.

[3]The nutrient values were calculated based on the analyzed nutrient values according to NRC (1994).

4. การวิเคราะห์คุณภาพไข่และเปลือกไข่

สุ่มเก็บตัวอย่างไข่เป็ด จำนวน 12 ฟอง/กลุ่ม รวมทั้งหมด 48 ฟอง เป็นประจำทุกสัปดาห์ ตลอดระยะเวลาการทดลอง 8 สัปดาห์ เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพไข่ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ไข่อัตโนมัติ (Egg Multi-Tester EMT-7300; Touhoku Rhythm co. ltd, Japan) เพื่อบันทึกข้อมูลดังต่อไปนี้

1. น้ำหนักไข่ (Egg Weight) ชั่งน้ำหนักทั้งฟองไข่

2. ความแข็งของเปลือกไข่ (Eggshell Breaking Strength) ด้วยเครื่อง Texture Analyzer Model QTS25(Brookfield Engineering Labs., Inc. Middleboro, MA 02346 USA)

3. วิเคราะห์ความเข้มสีไข่แดง (Yolk Color) วิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ไข่อัตโนมัติและเปรียบเทียบร่วมกับพัดสี (Roche Yolk Color Fan)

4. วิเคราะห์ความสูงของไข่ขาว (Albumen Height)

จากนั้นแยกไข่แดง และไข่ขาว เพื่อชั่งน้ำหนักไข่แดง (Yolk Weight) และไข่ขาว (Albumen Weight) โดยใช้ทศนิยม 2 ตำแหน่ง และทำการบันทึกน้ำหนักที่ได้ ส่วนเปลือกไข่ทำการแยกเยื่อผนังด้านในไข่ออก จากนั้นชั่งน้ำหนักเปลือกไข่ (Eggshell Weight) โดยใช้ทศนิยม 2 ตำแหน่ง และทำการวัดความหนาของเปลือกไข่ (Eggshell Thickness) ด้วยเครื่องไมโครมิเตอร์

(Micrometer Moore & Wright MW200; UK) ค่าตัวเลขที่แสดงออกมามีหน่วยเป็นมิลลิเมตร จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณค่าดังต่อไปนี้

4.1 สัดส่วนไข่แดง (Yolk Ratio) คำนวณได้จากสมการ ดังนี้

สัดส่วนไข่แดง = [น้ำหนักไข่แดง (กรัม) / น้ำหนักไข่ (กรัม)] x 100

4.2 สัดส่วนไข่ขาว (Albumen Ratio) คำนวณได้จากสมการ ดังนี้

สัดส่วนไข่ขาว = [น้ำหนักไข่ขาว (กรัม) / น้ำหนักไข่ (กรัม)] x 100

4.3 สัดส่วนเปลือกไข่ (Eggshell Ratio) คำนวณได้จากสมการ ดังนี้

สัดส่วนเปลือกไข่ = [น้ำหนักเปลือกไข่ (กรัม) / น้ำหนักไข่ (กรัม)] x 100

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างไข่ จำนวน 20 ฟอง/กลุ่ม รวมทั้งหมด 80 ฟอง นำเปลือกไข่มาแยกเยื่อผนังด้านในไข่ออก จากนั้นนำมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดไฟฟ้า และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.1 มิลลิเมตร เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณของแร่ธาตุ ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (Energy Dispersive X-ray Spectrometer) และสัณฐานวิทยาของเปลือกไข่ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy)

5. การประเมินความแข็งและองค์ประกอบแร่ธาตุของกระดูกแข้ง (Tibia)

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ทำการสุ่มเป็ดจำนวน 10 ตัว/กลุ่ม เพื่อทำให้สลบด้วย Sodium Thiopental จำนวน 100 mg/kg และทำการการุณยฆาตด้วยวิธีตัดเส้นเลือดใหญ่บริเวณลำคอ เพื่อทำการเก็บตัวอย่างกระดูกแข้ง โดยใช้มีดผ่าตัดเลาะแยกกระดูกแข้งออกจากกล้ามเนื้อด้วยความระมัดระวัง หลังจากนั้นนำตัวอย่างกระดูกที่ได้ ไปล้างทำความ จากนั้นนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อน (Shimadzu Corporation; Japan) ที่อุณหภูมิ 95oC เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ตามวิธีของ Incharoen et al. (2016) หลังจากนั้นนำตัวอย่างกระดูกที่ได้ไปวิเคราะห์ค่าความแข็งด้วยเครื่อง Universal Testing Machine (model 441, Instron, Ltd., England) ตามวิธีของ Nakhon et al. (2019) ทำการบันทึกค่า Maximum force (N) เพื่อใช้เป็นค่าความแข็งสูงสุดของกระดูกแข้ง ในแต่ละครั้งของการทดสอบการตอบสนองของกระดุกเมื่อมีแรงกด (compression force) มากระทำ หลังจากนั้นนำตัวอย่างกระดูกแข้งไปบดด้วยเครื่องบดหยาบผ่านตะแกรงร่อน ขนาด 1 มิลลิเมตร เพื่อนำไปวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณของแร่ธาตุ ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (Energy Dispersive X-ray Spectrometer) และสัณฐานวิทยาของกระดูกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy)

6. การศึกษาสัณฐานวิทยา และองค์ประกอบของแร่ธาตุในเปลือกไข่และกระดูกแข้ง

6.1 การเตรียมตัวอย่างเปลือกไข่ และกระดูกแข้ง

นำตัวอย่างเปลือกไข่และกระดูกแข้ง ที่ผ่านการบดละเอียด และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.1 มิลลิเมตร ไปทำการประเมิณลักษณะทางสัณฐานวิทยา และองค์ประกอบของแร่ธาตุ ด้วย

เทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในสถานะของแข็ง โดยจะวางตัวอย่างผงเปลือกไข่ และกระดูกบนแท่นชิ้นงาน (Specimen Stub) ซึ่งจัดวางให้อนุภาคเรียงตัวในลักษณะเดี่ยว ๆ ไม่เกาะกลุ่มกัน ทำการยึดติดโดยใช้เทปกาวสำหรับติดตัวอย่าง โดยเริ่มจากการใช้เทปติดบนแท่นติดชิ้นงาน จากนั้นใช้ไม้พันสำลีตักตัวอย่างแล้วเคาะเบา ๆ ให้ผงตัวอย่างกระจายตัวลงบนแท่นติดชิ้นงานเองตามแรงเคาะ แล้วคว่ำแท่นติดชิ้นงานที่ติดเทปกาวไว้ ให้ไปสัมผัสกับอนุภาคของตัวอย่าง โดยระวังอย่าให้แท่นติดชิ้นงานกดทับอนุภาคเพราะจะทำให้อนุภาคผิดรูปและจมได้ จากนั้นใช้ลูกยางเป่าฝุ่นหรืออนุภาคที่ไม่ติดออก แล้วนำไปฉาบผิวด้วยทองคำขาว

6.2 การตรวจสอบสัณฐานวิทยา

นำตัวอย่างเปลือกไข่ และกระดูก บนแท่นชิ้นงานที่เตรียมไว้มาตรวจสอบสัณฐานวิทยาและลักษณะพื้นผิว โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy JSM-5410LV; Jeol Ltd., Tokyo, Japan) โดยถ่ายภาพด้วยพลังงาน 20 kV ค่า resolution เท่ากับ 61 eV บันทึกภาพที่กำลังขยาย 1,000 เท่า

7. การตรวจสอบปริมาณแร่ธาตุ

นำตัวอย่างเปลือกไข่ และกระดูก บนแท่นชิ้นงานที่เตรียมไว้มาตรวจสอบปริมาณแร่ธาตุด้วยเครื่องวิเคราะห์แร่ธาตุเชิงพลังงาน (Energy Dispersive X-ray Spectrometer Link ISIS 300; Oxford Instruments Ltd., Abingdon, UK) โดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่มุม 2θ ระหว่าง 10 - 70 ความละเอียดในการสแกน 0.01 องศา ต่อวินาที โดยทำการวิเคราะห์แร่ธาตุโซเดียม (Na) จากอะตอมของโซเดียมออกไซด์ (Na_2O), แมกนีเซียม (Mg) จากอะตอมของแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO), ฟอสฟอรัส (P) จากอะตอมของ ฟอสฟอรัสเพนทอกไซด์ (P_2O_5), ซัลเฟอร์ (S) จากอะตอมของซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3), โพแทสเซียม (K) จากอะตอมของโปแตสเซียมออกไซด์ (K_2O) และ แคลเซียม (Ca) จากอะตอมของแคลเซียมออกไซด์ (CaO)

8. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลสมรรถภาพการผลิต ได้แก่ เปอร์เซ็นต์ไข่เฉลี่ยต่อวัน น้ำหนักไข่เฉลี่ย มวลไข่ ปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยต่อวัน และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นผลผลิตไข่ ข้อมูลคุณภาพไข่ ได้แก่ น้ำหนักไข่ สีของไข่แดง ความสูงของไข่ขาว ความหนาของเปลือกไข่ สัดส่วนไข่แดง สัดส่วนไข่ขาว และสัดส่วนเปลือกไข่ รวมไปถึงข้อมูลคุณภาพเปลือกไข่ ได้แก่ ความแข็งของเปลือกไข่ และปริมาณแร่ธาตุในเปลือกไข่ และข้อมูลคุณภาพกระดูกแข้ง ได้แก่ ความแข็งของกระดูก และปริมาณแร่ธาตุในกระดูก ไปวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างทรีทเมนต์ด้วยค่า F-test เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan’s New Multiple Range Tests ที่ระดับนัยสำคัญ $P<0.05$

สถานที่ทำการวิจัย

1. หน่วยวิจัยโภชนศาสตร์และทดสอบอาหารสัตว์ปีก คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร

2. ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพทางการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร

3. ห้องปฏิบัติการ บริษัท ธาราบิสสิเนส จำกัด 35/87 หมู่.2 ถ.เลียบคลองสาม ต.คลองสาม อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี

ระยะเวลาทำวิจัย

ช่วงเดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2562 - เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2563

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การเสริมไบโอแคลเซียมร่วมกับแร่ธาตุรองคีเลต และวิตามินดี 3 ในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตไข่ของเป็ดไข่

ผลของการเสริมไบโอแคลเซียมร่วมกับแร่ธาตุรองคีเลต และวิตามินดี 3 (BCD) ในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตไข่ของเป็ดไข่ แสดงในตารางที่ 11 พบว่า ปริมาณการกินอาหารเฉลี่ยต่อวันมีค่าสูงที่สุดในกลุ่มที่ได้รับ BCD ที่ระดับ 0.20 เปอร์เซ็นต์ ($P<0.05$) สอดคล้องกับการรายงานของ Gongruttananun (2011) ที่ได้ทำการศึกษาการเสริมแคลเซียมอินทรีย์ที่ผลิตจากเปลือกไข่ เพื่อทดแทนแคลเซียมอนินทรีย์จากแคลเซียมคาร์บอเนตในอาหารไก่ไข่ พบว่าการเสริมแคลเซียมอินทรีย์ทดแทนที่ 100 เปอร์เซ็นต์ ช่วยเพิ่มปริมาณการกินอาหารเฉลี่ยต่อวัน แต่ในทางตรงกันข้าม กลับพบว่าการเสริมแคลเซียมที่มีขนาดและชนิดแตกต่าง ไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณการกินอาหารเฉลี่ยต่อวันของเป็ดไข่ (Wang et al., 2014; Xia et al., 2015; Chen et al., 2020) แต่อย่างไรก็ดี องค์ประกอบของ BCD ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบหลัก และยังประกอบไปด้วยแร่ธาตุรองคีเลต (ทองแดง สังกะสี และ แมงกานีส) และวิตามินดี 3 จากการรายงานของ Lim , & Paik (2003) ได้ทำการศึกษาผลของการเสริมแร่ธาตุรองคีเลต (ทองแดง สังกะสี และ แมงกานีส) ในอาหารไก่ไข่ พบว่าการเสริมเพียงแร่ธาตุชนิดเดี่ยวไม่สามารถกระตุ้นปริมาณการกินอาหารเฉลี่ยต่อวัน เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่เสริมแร่ธาตุรองคีเลตร่วมกัน เช่นเดียวกับการรายงานของ Bao et al. (2010) พบว่า การเสริมแร่ธาตุรองในรูปอินทรีย์ในรูปแบบของส่วนผสม ช่วยกระตุ้นปริมาณการกินอาหารเฉลี่ยต่อวัน ของไก่ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มที่ได้รับการเสริมแร่ธาตุสังกะสี ร่วมกันแมงกานีส โดยแร่ธาตุรองคีเลตจะออกฤทธิ์เสริมกันกระตุ้นการเกิดโปรทีเนท (Proteinate) ส่งผลให้เกิดคีเลชั่น (Chelation) ของเกลือโลหะสามารถกระตุ้นการกินอาหาร และการเจริญเติบโตของไก่ได้ (Bao et al., 2009; Bao et al., 2010) นอกจากนั้น Wen et al. (2019) รายงานว่าการเสริมวิตามินดี 3 ที่ระดับ 18,348 IU/กิโลกรัมอาหาร ไก่มีปริมาณการกินอาหารเฉลี่ยต่อวันสูงที่สุด เช่นเดียวกับการศึกษาของ Adhikari et al. (2020) ที่รายงานว่า การเสริมวิตามินดี 3 ที่ระดับ 3,000 IU/กิโลกรัมอาหาร มีผลทำให้ปริมาณการกินอาหารเฉลี่ยต่อวันสูงที่สุด ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการเสริมแคลเซียมอินทรีย์ แร่ธาตุรองคีเลต และวิตามินดี 3 ร่วมกันอาจจะสามารถกระตุ้นปริมาณการกินอาหารเฉลี่ยต่อวันของเป็ดไข่ได้ ซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากการออกฤทธิ์เสริมกันของส่วนผสม BCD จึงส่งผลต่อการกระตุ้นปริมาณการกินอาหารของเป็ดไข่

แต่อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาสมรรถภาพการผลิตไข่ในเป็ดไข่ที่ได้รับอาหารเสริม BCD ในระดับแตกต่างกัน พบว่า การเสริม BCD ในอาหารเป็ดไข่ ไม่ส่งผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์ไข่ต่อวัน น้ำหนักไข่เฉลี่ย มวลไข่ และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นผลผลิตไข่ (P>0.05) ทั้งนี้จากการสืบค้นข้อมูลในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นการรายงานเพียงการใช้สารเสริมในอาหารสัตว์เป็นแบบเชิงเดี่ยว ซึ่งข้อมูลจากการรายงานผลการเสริมแคลเซียม แร่ธาตุรองคีเลต และวิตามินดี 3 ร่วมกันในอาหารสัตว์ปีก ยังมีไม่เพียงพอ ยกตัวอย่างเช่น จากการรายงานของ Wang et al. (2014) ได้ทำการศึกษาผลของการเสริมแหล่งแคลเซียมจากหินปูน (Limestone) และ เปลือกหอย (Oyster Shell) ในอาหารเป็ดสายพันธุ์ Longyan เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ พบว่าการเสริมแคลเซียมทั้ง 2 แหล่งไม่ส่งผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์ผลผลิตไข่ และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นผลผลิตไข่ เช่นเดียวกับการรายงานของ Ganjigohari et al., (2017) ซึ่งศึกษาการเสริมนาโนแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยเพื่อทดแทนแคลเซียมคาร์บอเนตในสูตรอาหารไก่ไข่ พบว่า การเสริมที่ระดับ 0.126–2.015 เปอร์เซ็นต์อาหาร ไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตไข่ และคุณภาพไข่ นอกจากนี้ Gongruttananun (2011) ได้รายงานว่า การใช้เปลือกไข่เป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับเป็นแหล่งแคลเซียมเสริมในอาหารสัตว์ ทั้งนี้นอกจากจะเป็นแหล่งแคลเซียมอินทรีย์ ยังไม่ส่งผลกระทบเชิงลบต่อประสิทธิภาพการผลิตไข่ ความสมดุลของแคลเซียมในเลือด การสะสมแร่ธาตุในกระดูก และประสิทธิภาพของระบบสืบพันธุ์

ส่วนการเสริมแร่ธาตุรองคีเลต ได้แก่ ทองแดง สังกะสี และ แมงกานีส ในอาหารสัตว์ปีกนั้นมีรายงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้แร่ธาตุคีเลตในอาหารสัตว์ อาทิเช่น Manangi et al. (2015) ได้รายงานว่า การเสริมแร่ธาตุรองคีเลตในอาหารไก่ไข่ ไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิตไข่ เช่นเดียวกับสมรรถภาพการเจริญเติบโตและการสะสมแร่ธาตุภายในอวัยวะของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารเสริมแร่ธาตุรองคีเลต ที่ไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุม แต่มีผลในการช่วยลดการขับทิ้งแร่ธาตุจากตัวสัตว์ออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ (Zhao et al., 2010) คล้ายคลึงกับ การเสริมทองแดง สังกะสี และ แมงกานีสในรูปแบบอินทรีย์ ที่พบว่าสามารถใช้ทดแทนแร่ธาตุอนินทรีย์ในอาหารไก่ไข่ได้ ซึ่งสามารถช่วยลดการขับทิ้งแร่ธาตุออกนอกร่างกายสัตว์ และลดผลกระทบเชิงลบต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการผลิตไข่ และคุณภาพเปลือกไข่ได้ (Carvalho et al., 2015) ยิ่งไปกว่านั้น Lim, & Paik (2003) รายงานว่า การเสริมทองแดง สังกะสี และ แมงกานีส ไม่สามารถกระตุ้นประสิทธิภาพการเจริญเติบโตได้นั้นเกิดขึ้นเนื่องจากแร่ธาตุรองคีเลตไม่มีคุณสมบัติการทำงานเพื่อเสริมฤทธิ์กัน จึงเกิดประสิทธิภาพเพียงเล็กน้อย ในขณะที่ผลของการเสริมวิตามินดีในสูตรอาหารสัตว์ปีก Adhikari et al. (2020) ได้รายงานว่าการเสริมวิตามินดีในรูปแบบต่าง ๆ ได้แก่ วิตามินดี 2 และ วิตามินดี 3 ในรูปแบบ 25-hydroxyvitamin D3 ไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตไข่ และมวลไข่ แต่ในทางกลับกัน การเสริมแคลเซียมร่วมกับวิตามินดี 3 สามารถช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตไข่ และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นผลผลิตไข่ (Rush et al., 2005; Nascimento et al., 2014)

ตาราง 11 การเสริมไบโอแคลเซียมร่วมกับแร่ธาตุรองคีเลต และวิตามินดี 3 ในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตไข่ของเป็ดไข่

Egg performance	BCD in diet (%)				Pooled SEM	P-value
	0	0.05	0.10	0.20		
Hen-day egg production (%)	75.80	81.00	84.30	84.30	1.39	0.081
Average egg weight (g/egg)	67.80	66.30	66.50	66.80	0.26	0.193
Egg mass (g/b/d)	51.30	53.70	56.00	56.30	1.01	0.283
ADFI (g/b/d)	137.52^{b}	139.18^{b}	141.21^{b}	154.95^{a}	2.56	0.036
FCR	2.70	2.60	2.50	2.80	0.05	0.303

หมายเหตุ: ^{a,b} Different superscripts in the same row indicate significant difference ($P<0.05$)

BCD: bio-calcium including chelated trace minerals and vitamin D3. SEM: standard error of mean, ADFI: Average daily feed intake, FCR: Feed conversion ratio.

การเสริมไบโอแคลเซียมร่วมกับแร่ธาตุรองคีเลต และวิตามินดี 3 ในอาหารต่อคุณภาพไข่ของเป็ดไข่

ผลของการเสริมไบโอแคลเซียมร่วมกับแร่ธาตุรองคีเลต และวิตามินดี 3 ในอาหารต่อคุณภาพไข่ของเป็ดไข่ แสดงในตารางที่ 12 พบว่า สีไข่แดง สัดส่วนไข่แดง สัดส่วนไข่แดง สัดส่วนเปลือกไข่ ความสูงไข่ขาว และความหนาของเปลือกไข่ ของเป็ดไข่กลุ่มที่ได้รับอาหารการเสริม BCD มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม อย่างไรก็ดี ในปัจจุบันข้อมูลทางวิชาการเกี่ยวกับการเสริมฤทธิ์ซึ่งกันและกันระหว่างส่วนผสมของไบโอแคลเซียม แร่ธาตุรองคีเลตและวิตามินดี 3 ยังมีอยู่ค่อนข้างน้อย โดยส่วนใหญ่แล้วมักจะเป็นการรายงานในรูปของผลกระทบที่เกิดขึ้นจากบทบาทของสารแต่ละตัว โดยที่ Ganjigohari et al. (2017) ได้รายงานว่า การเสริมแคลเซียมอินทรีย์ไม่ส่งผลต่อคุณภาพไข่ เช่นเดียวกับการรายงานของ Gongruttananun (2011) ที่ใช้เปลือกไข่เป็นแหล่งแคลเซียมในอาหารไก่ไข่ พบว่า ไม่ส่งผลกระทบเชิงลบต่อน้ำหนักไข่แดง น้ำหนักไข่ขาว น้ำหนักเปลือกไข่ สีของไข่แดง ความสูงของไข่ขาว และความหนาของเปลือกไข่ นอกจากนั้นแล้ว การเสริมแร่ธาตุรองคีเลต (ทองแดง สังกะสี และ แมงกานีส) ในอาหารไก่ไข่ ไม่ส่งผลกระทบเชิงลบต่อน้ำหนักไข่ ความสูงของไข่ขาว ค่าความสดของไข่ และความหนาของเปลือกไข่ (Lim, & Paik, 2003) เช่นเดียวกับรายงานของ Manangi et al. (2015) ที่ไม่พบความแตกต่างของการเสริมแร่ธาตุรอง

คีเลตในอาหารไก่ไข่ต่อคุณภาพไข่ และคุณภาพเปลือกไข่ อย่างไรก็ตาม การเสริมเพียงวิตามินดี 3 ไม่ส่งผลต่อคุณภาพไข่โดยตรง และจากการรายงานของ Ren et al. (2016) ซึ่งได้ดำเนินการศึกษาการเสริมวิตามินดี 3 ในรูป 25-hydroxycholecalciferol (25-OH-D_3) พบว่า การเสริมวิตามินดี 3 ไม่ส่งผลต่อลักษณะสีของไข่แดง ความสูงของไข่ขาว ค่าความสดของไข่ และรูปร่างของไข่ แต่อย่างไรก็ตาม Attia et al. (2020) ได้รายงานว่า การเสริมวิตามินดี 3 ร่วมกับแคลเซียมในระดับต่าง ๆ ในอาหารไก่ไข่ เกิดการเสริมฤทธิ์ซึ่งกันและกัน โดยมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์ไข่แดง ไข่ขาว และเปลือกไข่มีค่าเพิ่มสูงขึ้น

ตาราง 12 การเสริมไบโอแคลเซียมร่วมกับแร่ธาตุรองคีเลต และวิตามินดี 3 ในอาหารต่อคุณภาพไข่ของเป็ดไข่

Egg quality	BCD in diet (%)				Pooled SEM	P-value
	0	0.05	0.10	0.20		
Yolk color	12.70	12.30	12.60	12.30	0.11	0.397
Yolk ratio (%)	31.40	31.80	31.40	32.40	0.21	0.287
Albumen ratio (%)	56.60	56.00	56.50	55.30	0.23	0.152
Albumen height (mm)	5.22	5.13	5.20	5.19	0.06	0.918
Eggshell ratio (%)	12.20	12.20	12.10	12.30	0.07	0.798
Eggshell thickness (mm)	0.35	0.35	0.36	0.35	0.01	0.848

หมายเหตุ: BCD: bio-calcium including chelated trace minerals and vitamin D3. SEM: standard error of mean.

การเสริมไบโอแคลเซียมร่วมกับแร่ธาตุรองคีเลต และวิตามินดี 3 ในอาหารต่อความแข็งและปริมาณแร่ธาตุในเปลือกไข่ของเป็ดไข่

ผลของการเสริมไบโอแคลเซียมร่วมกับแร่ธาตุรองคีเลต และวิตามินดี 3 ในอาหารต่อความแข็งของเปลือกไข่ และปริมาณแร่ธาตุในเปลือกไข่ของเป็ดไข่ แสดงในตารางที่ 13 พบว่า ความแข็งของเปลือกไข่ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริม BCD และมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) ในกลุ่มที่ได้รับ BCD ที่ระดับ 0.20 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการเสริม BCD มีความสำคัญสำหรับกระบวนการสร้าง และการพัฒนาเปลือกไข่ (Costa et al., 2008; Nascimento et al., 2014) เช่นเดียวกับการรายงานของ Bölükbasi et al. (2005) รายงานว่าการเสริมแคลเซียมร่วมกับวิตามินดี 3 ในรูปแบบออกฤทธิ์ได้

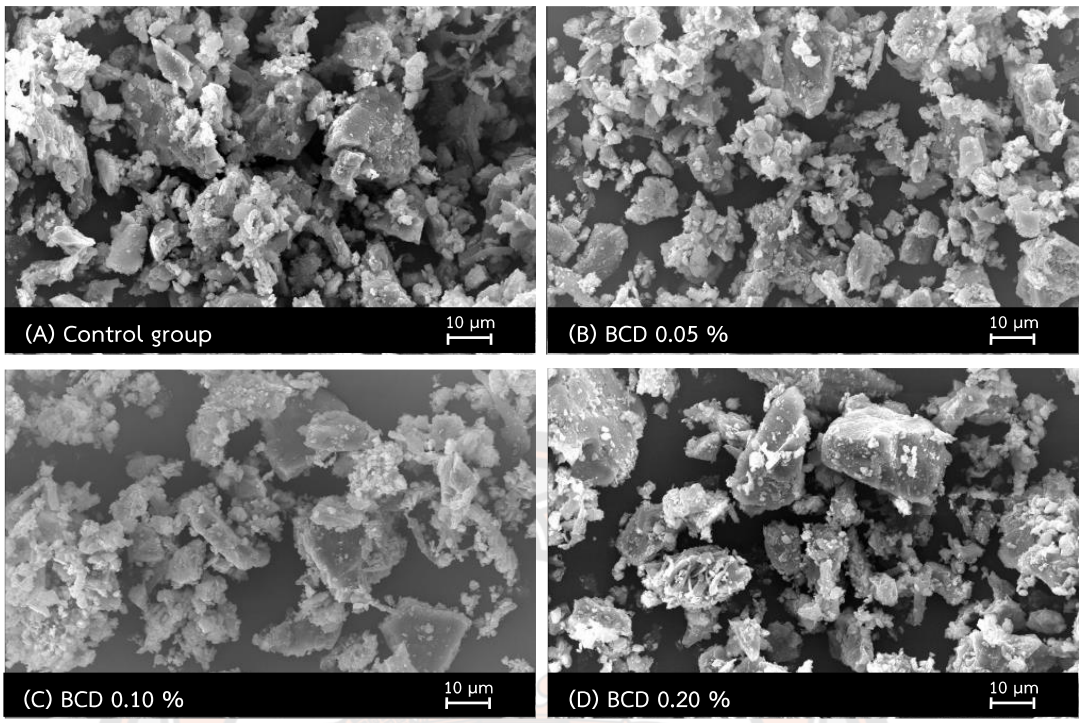
ทันที (Active Form) ส่งผลต่อการดูดซึมแคลเซียมในร่างกายสัตว์สำหรับกระบวนการพัฒนาเปลือกไข่ และความแข็งแรงของเปลือกไข่ ดังนั้นแคลเซียมจึงมีความสำคัญมากในสัตว์ปีก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสัตว์ปีกที่ให้ไข่ อย่างไรก็ตามสารอาหารที่สำคัญต่อลักษณะของเปลือกไข่ไม่ได้มีเพียงแค่แคลเซียมเท่านั้น แต่ยังรวมถึงแร่ธาตุอื่น ๆ เช่น แมงกานีส สังกะสี และทองแดง แร่ธาตุรองเหล่านี้มีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการเผาผลาญในร่างกายของสัตว์ โดยแร่ธาตุรองส่วนใหญ่ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางเคมีของร่างกายสัตว์ นอกจากนั้นยังมีบทบาทเป็นองค์ประกอบที่สำคัญสำหรับการสร้างเปลือกไข่ (Lim, & Paik, 2003; Manangi et al., 2015) เนื่องจากแร่ธาตุรองมีอิทธิพลโดยตรงต่อเอนไซม์ที่จำเป็นสำหรับกระบวนการสร้างเปลือกไข่ และสะสมแร่ธาตุในเปลือกไข่ จากการศึกษาของ Manangi et al. (2015) ได้รายงานว่าการเสริมแร่ธาตุรองคีเลตในอาหารไก่ไข่ระยะท้าย สามารถเพิ่มความแข็งของเปลือกไข่ได้ ลดอัตราการสูญเสียไข่ เนื่องจากแร่ธาตุรองคีเลตมีประสิทธิภาพในการดูดซึมที่ดีกว่าแร่ธาตุอนินทรีย์ แต่อย่างไรก็ตาม จากการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ และโพแทสเซียมในเปลือกไข่ ของทุกกลุ่มทดลอง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างกลุ่มทดลอง นอกจากนั้นแล้ว ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเปลือกไข่ของเป็ดไข่ที่ได้รับอาหารเสริม BCD แสดงในภาพที่ 5 พบว่า ผลึกแคลเซียมมีขนาดอนุภาคที่ใกล้เคียงกัน และมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งสอดคล้องกับผลการสะสมแร่ธาตุในเปลือกไข่ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Chen , & Shen (2000) จากการศึกษาแบบจำลองการสะสมแร่ธาตุแมกนีเซียมและแคลเซียมในเปลือกไข่ และโครงสร้างแบบตัดขวางของเปลือกไข่ พบว่าการสะสมแร่ธาตุแมกนีเซียมและแคลเซียมจะส่งผลต่อการสร้างเปลือกไข่ในระยะเริ่มต้นเท่านั้น ซึ่งจะไม่พบความแตกต่างของโครงสร้างของเปลือกไข่เป็ดในระยะท้าย นอกจากนั้นจากการรายงานของ Wei , & Shen (1991) ได้บันทึกว่าการเสริมแคลเซียมในสูตรอาหารเป็ดไม่เกิน 1% ไม่ส่งผลต่อลักษณะโครงสร้างของเปลือกไข่ แต่หากเสริมเกิน 1% จะส่งผลกระทบต่อการเจริญของต่อมสร้างเปลือกไข่ (Shell Gland) ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อลักษณะสัณฐานวิทยาของเปลือกไข่ นอกจากนั้นความจำเพาะในการกระตุ้นกิจกรรมเอนไซม์ Carbonic Anhydrase ในกระบวนการสร้างเปลือกไข่ในเป็ดไข่มีมากกว่าไก่ไข่ ดังนั้นการเสริมแร่ธาตุรองคีเลตเพื่อกระตุ้นการสร้างเปลือกไข่ในเป็ดจึงจำเป็นต้องใช้มากกว่าการเสริมในไก่ไข่ จึงเป็นเหตุให้ไม่พบความแตกต่างของอนุภาคในโครงสร้างของเป็ดไข่ที่ได้รับการเสริม BCD ในสูตรอาหาร (Shen, & Chen, 2013)

ตาราง 13 การเสริมไบโอแคลเซียมร่วมกับแร่ธาตุรองคีเลต และวิตามินดี 3 ในอาหารต่อความแข็งและปริมาณแร่ธาตุในเปลือกไข่ของเป็ดไข่

Items	BCD in diet (%)				Pooled SEM	P-value
	0	0.05	0.10	0.20		
Eggshell strength (N)	38.78[b]	41.60[ab]	41.18[ab]	43.90[a]	0.52	0.006
Mineral content (%)						
Calcium	69.95	66.66	67.66	70.03	0.66	0.180
Magnesium	0.19	0.22	0.25	0.13	0.02	0.273
Phosphorus	0.39	0.98	1.06	0.48	0.16	0.389
Sulfur	0.20	1.35	0.82	0.15	0.20	0.100
Potassium	0.37	0.46	0.49	0.29	0.05	0.557

หมายเหตุ: [a,b] Different superscripts in the same row indicate significant difference ($P<0.05$).

BCD: bio-calcium including chelated trace minerals and vitamin D3. SEM: standard error of mean.



ภาพ 5 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเปลือกไข่ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ของเป็ดไข่ที่ได้รับการเสริมไบโอแคลเซียมร่วมกับแร่ธาตุรองคีเลต และวิตามินดี 3 (BCD) ในอาหารที่ระดับ 0.05 (B), 0.10 (C) และ 0.20 (D) เปอร์เซ็นต์ ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า

การเสริมไบโอแคลเซียมร่วมกับแร่ธาตุรองคีเลต และวิตามินดี 3 ในอาหารต่อความแข็ง และปริมาณแร่ธาตุในกระดูกแข้งของเป็ดไข่

ผลของการเสริมไบโอแคลเซียมร่วมกับแร่ธาตุรองคีเลต และวิตามินดี 3 ในอาหารต่อความแข็ง และปริมาณแร่ธาตุในกระดูกแข้งของเป็ดไข่ แสดงในตารางที่ 14 พบว่า น้ำหนัก และความยาวของกระดูกแข้ง รวมไปถึงปริมาณการสะสมแร่ธาตุในกระดูกแข้งของทุกกลุ่มการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ยกเว้น ความแข็งของกระดูกที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริม BCD และมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) ในกลุ่มที่ได้รับ BCD ที่ระดับ 0.20 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม จากผลการทดลองนี้ สามารถยืนยันได้ถึงประสิทธิภาพของการออกเสริมฤทธิ์กันระหว่างไบโอแคลเซียม แร่ธาตุรองคีเลต และวิตามินดี 3 ต่อความแข็งของเปลือกไข่ และกระดูก BCD อาจมีบทบาทสำคัญในกระบวนการสร้างกระดูก (Calcification) ของเป็ดไข่ เนื่องจากองค์ประกอบของ BCD ประกอบด้วยไบโอแคลเซียมที่ผลิตจากกระดูกปลา ซึ่งแคลเซียมอินทรีย์ที่ได้จากกระดูกปลา มีประสิทธิภาพในการดูดซึมในลำไส้สูงกว่าแคลเซียมอนินทรีย์ สามารถกระตุ้นสมรรถภาพการเจริญเติบโต รักษาสมดุลของระดับของแคลเซียมในเลือด และน้ำหนักแข้งของ

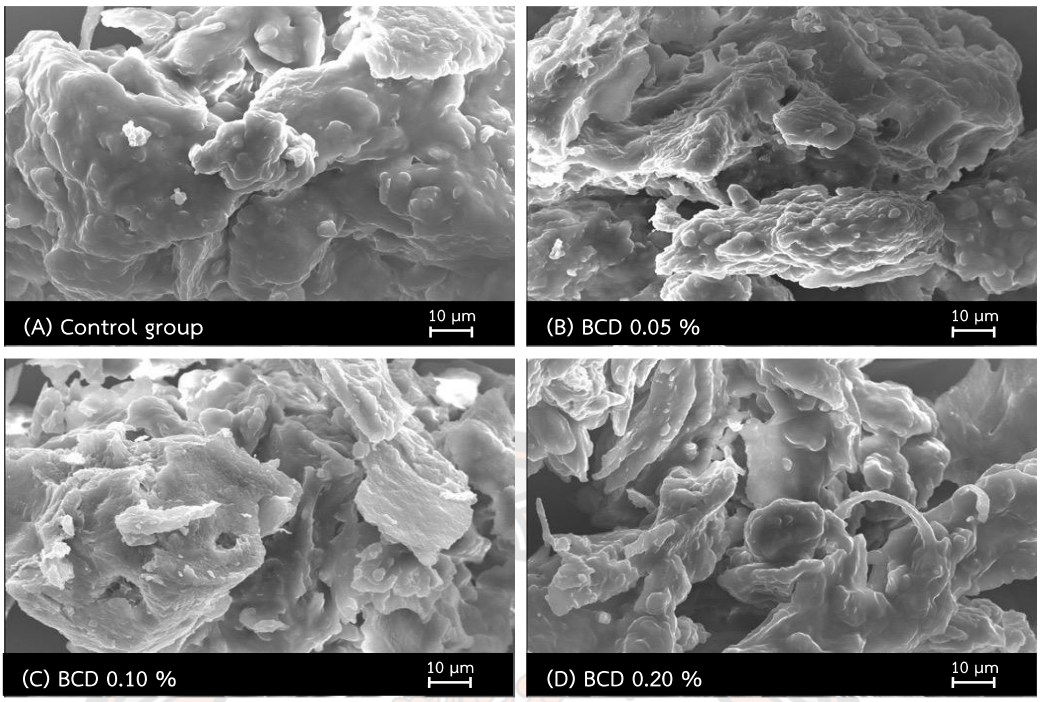
กระดูกหนูทดลองที่ขาดแคลเซียม (Tang et al., 2018) นอกจากนั้น Jung, & Kim (2007) ได้ตั้งข้อสังเกตว่าผงกระดูกปลา สามารถใช้เป็นแหล่งแคลเซียมอินทรีย์ได้ดี เนื่องจากกระดูกปลามีความสามารถในการละลายและดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้สูงกว่าแคลเซียมอนินทรีย์ ในขณะเดียวกันลูกสุกรที่เลี้ยงด้วยกระดูกปลาแซลมอนป่นมีประสิทธิภาพในการดูดซึมแคลเซียมสูงกว่าลูกสุกรที่เลี้ยงด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต นอกจากนั้น Vieira (2008) ได้รายงานถึงการเสริมแร่ธาตุคีเลต (แมงกานีส สังกะสี และทองแดง) ร่วมกับวิตามินซี ไม่ส่งผลกระทบเชิงลบต่อความเสถียร และการพัฒนาของเส้นใยคอลลาเจนในกระดูก ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อลักษณะโครงสร้างอินทรีย์ในกระดูก ส่งผลทำให้เกิดการพัฒนาโครงสร้างกระดูกที่ดีขึ้น ในทำนองเดียวกัน วิตามินดี 3 มักนิยมเสริมในอาหารสัตว์เพื่อช่วยในกระบวนการเผาผลาญแร่ธาตุแคลเซียมและฟอสฟอรัสในร่างกาย อีกทั้งช่วยในกระบวนการพัฒนาโครงสร้างของกระดูก โดยวิตามินดี 3 มีบทบาทสำคัญสำหรับการดูดซึมของแคลเซียม และการสะสมของแคลเซียมในกระดูก ตลอดจนการรักษาสมดุลของแคลเซียมและฟอสฟอรัสในร่างกายของสัตว์ (Rush et al., 2005; Bouillon, & Suda, 2014; Geng et al., 2018) ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของกระดูกแข้งของเป็ดไข่ที่ได้รับอาหารเสริม BCD แสดงในภาพที่ 6 พบว่า โครงสร้างของแคลเซียมมีการจัดเรียงตัวและผสานกันเป็นผลึกที่มีขนาดสม่ำเสมอ และผลึกมีขนาดใกล้เคียง มีโครงสร้างที่เป็นรูพรุนคล้ายคลึงกัน โดย Chen et al. (2020) ได้รายงานว่า ถึงแม้ว่าปริมาณและความหนาแน่นของกระดูกเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการพัฒนาความแข็งของกระดูก แต่ทั้งนี้ปัจจัยเหล่านี้ไม่ได้พิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของกระดูก โดยจากการศึกษาแบบจำลอง *in vitro* avian model แสดงให้เห็นว่าการสูญเสียโครงสร้าง Trabecular ของกระดูกมากกว่า 10% อาจส่งผลกระทบโดยตรงต่อกระบวนการสร้างกระดูก โดยโครงสร้าง Trabecular ของกระดูกมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อลักษณะความแข็งของกระดูก ซึ่งการเสริมวิตามินดี 3 ในสูตรอาหาร จะช่วยพัฒนาโครงสร้าง Trabecular ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับเป็ดไข่ในช่วงการให้ผลผลิตไข่ ซึ่งมักจะทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุในโครงสร้าง Trabecular และ cortical ของกระดูก ในขณะเดียวกันการรักษาโครงร้างกระดูกในช่วงการให้ผลผลิตไข่นอกจากจะขึ้นอยู่กับการได้รับวิตามินดี 3 ยังขึ้นอยู่กับสมดุลของการสะสมแร่ธาตุในกระดูกและเปลือกไข่ (Bar, 2008) การสะสมแร่ธาตุที่เพิ่มขึ้นในกระดูกในชั้น Cortical และ Medullary จะส่งผลโดยตรงต่อการสร้างกระดูก และลักษณะโครงสร้างของกระดูก (Baldock et al., 2006) แต่ทั้งนี้จากการศึกษาไม่พบความแตกต่างของการสะสมแร่ธาตุในกระดูก จึงไม่พบความแตกต่างของโครงร้าง และอนุภาคของกระดูกในเป็ดไข่

ตาราง 14 การเสริมไบโอแคลเซียมร่วมกับแร่ธาตุรองคีเลต และวิตามินดี 3 ในอาหารต่อความแข็ง และปริมาณแร่ธาตุในกระดูกแข้งของเป็ดไข่

Items	BCD in diet (%)				Pooled	P-value
	0	0.05	0.10	0.20	SEM	
Tibia weight (g)	4.76	4.57	5.34	4.49	0.13	0.093
Length of tibia (cm)	9.52	9.47	9.68	9.67	0.62	0.593
TBBS (N force)	119.49^{b}	122.75^{b}	140.33^{ab}	155.80^{a}	5.22	0.025
Mineral content (%)						
Calcium	41.57	39.21	39.31	35.45	0.96	0.150
Sodium	0.50	0.60	0.51	0.80	0.05	0.085
Magnesium	0.38	0.30	0.33	0.50	0.04	0.275
Phosphorus	16.38	16.24	16.43	17.64	0.40	0.613
Sulfur	0.76	1.91	1.71	2.35	0.21	0.051
Potassium	0.91	1.55	1.54	1.84	0.14	0.117

หมายเหตุ: ^{a,b} Different superscripts in the same row indicate significant difference ($P<0.05$).

BCD: bio-calcium including chelated trace minerals and vitamin D3. SEM: standard error of mean, TBBS: Tibia bone breaking strength.



ภาพ 6 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของกระดูกแข้ง (Tibia) ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของเป็ดไข่ (อายุ 30 ถึง 38 สัปดาห์) ที่ได้รับอาหารไบโอแคลเซียมร่วมกับแร่ธาตุรองคีเลต และวิตามินดี 3 (BCD) ที่ระดับ 0.05 (B), 0.10 (C) และ 0.20 (D) เปอร์เซ็นต์ ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า

บทที่ 5

บทสรุป

สรุปผลการวิจัย

การเสริมไบโอแคลเซียมร่วมกับแร่ธาตุรองคีเลต และวิตามินดี 3 ในอาหารเป็ดไข่ สามารถช่วยเพิ่มความแข็งของกระดูกแข้งและเปลือกไข่ได้ การใช้ในสูตรอาหารพื้นฐาน ที่ระดับ 0.20 เปอร์เซ็นต์ เป็นระดับที่แนะนำสำหรับเสริมในอาหารเป็ดไข่ระยะให้ผลผลิต โดยไม่ส่งผลกระทบเชิงลบต่อสมรรถภาพการผลิตไข่และคุณภาพไข่โดยรวม

ข้อเสนอแนะ

1. ควรเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองให้นานขึ้น เพื่อศึกษาผลกระทบในระยะยาวต่อสมรรถภาพการผลิตไข่และคุณภาพไข่
2. การเสริมไบโอแคลเซียมร่วมกับแร่ธาตุรองคีเลต และวิตามินดี 3 ในอาหารเป็ดระยะให้ไข่ ที่ระดับ 0.20 เปอร์เซ็นต์ เป็นระดับที่แนะนำของการศึกษานี้ ดังนั้นควรทำการทดลองในระดับการใช้ที่เพิ่มสูงขึ้น เพื่อศึกษาดูระดับการเสริมที่เหมาะสมที่สุด

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

กรมปศุสัตว์. (2555). *ยุทธศาสตร์ไก่พื้นเมืองและเป็ดไล่ทุ่ง.* สืบค้น 12 มกราคม 2561, จาก http://planning.dld.go

กรมปศุสัตว์. (2559). *คู่มือการเลี้ยงเป็ด.* กรุงเทพฯ. โรงพิมพ์ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

กรมปศุสัตว์. (**2561).** *ยุทธศาสตร์กรมปศุสัตว์ พ.ศ. 2561-2565.* กรุงเทพฯ. กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ร่วมกับศูนย์บริการวิชาการ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

บุญล้อม ชีวอิสระกุล. (2541). *โภชนศาสตร์สัตว์* (พิมพ์ครั้งที่ 6). เชียงใหม่**:** ธรรมบรรณการพิมพ์.

ปฐม เลาหะเกษตร. (2540). *การเลี้ยงสัตว์ปีก.* ชลบุรี. โรงพิมพ์สหมิตรออฟเซต.

พันทิพา พงษ์เพียจันทร์. (2538). หลักโภชนศาสตร์และการประยุกต์ (พิมพ์ครั้งที่ 2) กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร

พิมลรัตน์ ยะสะนพ. (2546). *ผลของการใช้วัตถุดิบเป็นแหล่งแคลเซียมในอาหารต่อผลผลิต คุณภาพเปลือกไข่และปริมาณเถ้าในกระดูกน่องของไก่ไข่* (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). สงขลา**:** มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วรรณพร ทะพิงค์แก. (2560). *อาหารและการให้อาหารสัตว์.* เชียงใหม่. สำนักพิมพ์ศูนย์บริหารงานวิจัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สัญญา ร้อยสมมุติ. (2534). *ของเหลวในร่างกายมนุษย์.* ขอนแก่น: ภาควิชาสรีรวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

อรวรรณ ชินราศี. (2547). *เทคโนโลยีการผลิตสัตว์ปีก.* มหาสารคาม: อภิชาตการพิมพ์.

อาวุธ ตันโช. (2540). การผลิตสัตว์ปีก. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

Adhikari, R., White, D., House, J.D., & Kim, W.K. (2020). Effects of additional dosage of vitamin D3, vitamin D2, and 25-hydroxyvitamin D3 on calcium and phosphorus utilization, egg quality and bone mineralization in laying hens. *Poult. Sci., 99*(1), 364-373.

AOAC. (2001). Association of Official Analytical Chemists. In Horwitz W. (ed.). *International Official Methods of Analysis* (17th ed.) Arlington, USA.: AOAC Int.

Attia, Y.A., Al-Harthi, M.A., & Abo El-Maaty, H.M. (2020). Calcium and cholecalciferol levels in late-phase laying hens: effects on productive traits, egg quality, bloo biochemistry, and immune responses. *Front. vet. Sci., 7,* 389-395.

Backyard Poultry Contributor. (2019). *Breed Profile: Khaki Campbell Duck.* Retrieved June 13, 2021, from https://backyardpoultry.iamcountryside. com/poultry-101/khaki-campbell-duck-breed-spotlight/

Baldock, P.A., Thomas, G.P., Hodge, J.M., Baker, S.U., Dressel, U., O'Loughlin, P.D., Nicholson, G.C., Briffa, K.H., Eisman, J.A., & Gardiner, E.M. (2006). Vitamin D action and regulation of bone remodeling: suppression of osteoclastogenesis by the mature osteoblast. J. Bone. *Miner. Res., 21,* 1618–1626.

Bao, Y.M., Choct, M., Iji, P.A., & Bruerton, K. (2009) Optimal dietary inclusion of organically complexed zinc for broiler chickens. Br. Poult. Sci. 50, 95–102.

Bao, Y.M., Choct, M., Iji, P. A., & Bruerton, K. (2010). Trace mineral interactions in broiler chicken diets. Br. *Poult. Sci., 51*(1), 109-117.

Bar, A. (2008). Calcium homeostasis and vitamin D metabolism and expression in strongly calcifying laying birds. Comp. Biochem. *Physiol. A. Mol. Integr. Physiol, 151,* 477–490.

Barbara, D., Marta, J., Beata, S. M., & Florian, R. (2016). Use of eggshells as a raw material for production of calcium preparations. *Czech. J. Food Sci., 34*(4), 313-317.

Baumgartner, S., Brown, D.J., Salvsky, E., & Leach, R.M. (1978). Copper deficiency in the laying hen*. J. Nutr., 108,* 804–811.

Belsey, R. F., DeLuca, H. F., & Potts, J. T. (1974). Selective binding properties of vitamin D transport protein in chick plasma *in vitro*. *Nature, 247,* 208-209.

Benjakul, S., Karnjanapratum, S., & Visessanguan, W. (2018). Hydrolyzed collagen from Lates calcarifer skin: its acute toxicity and impact on cell proliferation and collagen production of fibroblasts. *J. Food Sci. Technol, 53*(8), 1-9.

Bölükbasi, S. C., Celebi, S., & Utlu, N. (2005). The effects of calcium and vitamin d3 in diet on plasma calcium and phosphorus, eggshell calcium and phosphorus levels of laying hens in late laying production period. *Int. J. Poult. Sci, 4*(8), 600-603.

Bouillon, R., & Suda, T. (2014). Vitamin D: calcium and bone homeostasis during evolution. *BoneKEy reports, 3,* 256-261.

Bubel, F., Dobrzanski, Z., Bykowski, P. J., Chojnacka, K., Opaliinski, S., & Trziszka, T. (2015). Production of calcium preparations by technology of saltwater fish by product processing. *Open Chem, 13*(1), 1333-1340.

Carvalho, L. S. S., Rosa, D. R. V., Litz, F. H., Fagundes, N. S. abd Fernandes, E. A. (2015). Effect of the inclusion of organic copper, manganese, and zinc in the diet of layers on mineral excretion, egg production, and eggshell quality. *Braz. J. Poult. Sci., 17,* 87-92.

Chen, C., Turner, B. Applegate, T.J., Litta, G., & Kim, W. K. (2020). Role of long-term supplementation of 25-hydroxyvitamin D3 on laying hen bone 3-dimensional structural development. *Poult. Sci. 99,* 5771–5782.

Chen, T.F. (2000). Effects of vitamin D3 supplementation on laying performance and eggshell quality of laying Tsaiya ducks. Asian-australas. *J. Anim. Sci. 13,* 131-133.

Chen, W. L., & Shen, T. F. (2000). Comparisons of ultrastructure and crystal structure in eggshells between brown Tsaiya duck and white Leghorn hen. *J. Chinese Soc. Anim. Sci., 29,* 345-355.

Chen, W., Xia, W.G., Ruan, D., Wang, S., Abouelezz, K. F. M., Wang, S. L. N., Zhang, & Zheng, C. T. (2020). Dietary calcium deficiency suppresses follicle selection in laying ducks through mechanism involving cyclic adenosine monophosphate-mediated signaling pathway. *Animal. 14*(10), 2100-2108.

Chen, W., Zhao, F., Z. M., Zhang, H. X., Ruan, D., Li, Y., Wang, S., Zheng, C. T., & Lin, Y. C. (2015). Dietary calcium deficiency in laying ducks impairs eggshell quality by suppressing shell biomineralization. *J. Exp. Biol. 218,* 3336-3343.

Cicarma, E., Tuorkey, M., Juzeniene, A., Ma, L. W., & Moan J. (2009). Calcitriol treatment improves methyl aminolaevulinate-based photodynamic therapy in human squamous cell carcinoma A431 cells. *Br. J. Dermatol. 161,* 413–418.

Cooper, T. (2021). *Breed Profile: Indian Runner Duck.* Retrieved June 13, 2021, from https://backyardpoultry.iamcountryside.com/poultry-101/indian-runner-duck-breed-profile/.

Cordeiro, C. M., & Hincke, M. T. (2011). Recent patents on eggshell: shell and membrane applications. *Recent. Pat. Food Nutr. Agric., 3*(1), 1-8.

Costa, F. G. P, Oliveira, C. F. S., Dourado, L. R. B, Neto, R. C. L, Campos, M. A. S. F., & Lima, A. G. V. O. (2008). Níveis de cálcio em dietas para poedeiras semipesadas após o pico de postura. *R. Bras. Zootec, 37*(4), 624-628.

Dean, W. F. (1973). Recent findings in duck nutrition. Proceedings Cornell *Nutrition Conference* (pp. 77–85). N.P.: n.p.

DeLuca, H. F. (1998). The vitamin D story: a collaborative effort of basic science and clinical medicine. *FASEB J., 2,* 224-36.

Fassani, J. E., Bertechini, A. G., Oliveira, B. L. de, Goncalves, B. L., & Fialho, E. T. (2000). Manganese in nutrition of the leghorn hens in the second cycle of production (in Portuguese). *Revista Ciencia e Agrotecnologia, 24,* 468–478

Fouad, A. M., Ruan, D., Wang, S., Chen, W., Weiguang, X., & Zheng, C. (2018). Nutritional requirements of meat-type and egg-type ducks: what do we know. *J. Anim. Sci. Biotechnol, 9*(1), 1-11.

Ganjigohari, S., Ziaei, N., Ramazani Ghara, A., & Tasharrofi, S. (2017). Nano-calcium carbonate: Effect on performance traits and egg quality in laying hens. *J. livest. sci. Technol, 6*(1), 49-56.

Garabedian, M. Tanaka, Y., Holick, M. F., & DeLuca, H. F. (1974). Response of intestinal calcium transport and bone calcium mobilization of 1,25-dihydroxyvitamin D in thyroparathyroidectomized rats. *Endocrinol, 94,* 1022-1027.

Geng, Y., Ma, Q., Wang, Z., & Guo, Y. (2018). Dietary vitamin D 3 supplementation protects laying hens against lipopolysaccharide-induced immunological stress. *J. Nutr. Metab, 15*(1), 1-14.

Gildberg, A., Arnesen, J. A., & Carlehög, M. (2002). Utilisation of cod backbone by biochemical fractionation. *Process Biochem, 38,* 475-480.

Gongruttananun, N. (2011). Effects of eggshell calcium on productive performance, plasma calcium, bone mineralization, and gonadal characteristics in laying hens. *Poult. Sci, 90,* 524-529.

Hamada, M., Nagai, T., Kai, N., Tanoue, Y., & Mae, H. (1995). Inorganic constituents of bone of fish. *Fisheries Sci, 61,* 517–520.

Hanson, C. (2016). Calcium supplements–An overview. *S Afr Pharm J., 83(*7), 22-28.

Hassan, N. M. M. (2015). Chicken eggshell powder as dietary calcium source in biscuits*. World J. Dairy. Food Sci., 10,* 199–206.

Holick, M. F. (2004). Vitamin D: A millennium perspective. *J. Cell Biochem, 88,* 296-307.

Hu, X., Cheng, H., He, S., & Zhai, G. (2018). Progress in the study of calcium formulations. Res. Rev. Drug. Deliv. 2(2), 1-12.

Huang, X., Li, C., Jiang, G., Zhang, X., Wang, X., & Dai, Q. (2016). Dietary calcium requirement of Linwu ducks in early laying period. *Chin. J. Anim. Nutr, 28,* 3437–3444

Huang, X., Li, C., Zhang, X., Jiang, G., Wang, X., Hu, Y., & Dai. Q. (2017). Effect of dietary calcium level on laying performance, egg quality and serum biochemical indexes of Linwu duck at the peak of laying period. *China Feed, 17,* 24–27.

Incharoen, T., Laorodpun N., Treetan S., & Khoktean W. (2016.) Influence of dietary fermented banana peel with yeast on egg performance and quality of laying ducks*. Khon Kaen Agr. J., 44* (1), 432-436. (In Thai)

Jang, S. Y., Jeong, Y. J., Kwon, T. K., & Seo, J.H. (2010). Effects of water-soluble calcium supplements made from eggshells and oyster shells on the calcium metabolism of growing rats. *J Food Sci Nutr, 15*(1), 78-82.

Jang, Y. S., Jo, Y. K., Sim, J. J., Ji, E., Jeong, K. Y., & Kim, H. M. (2016). Lactate calcium salt affects the viability of colorectal cancer cells via betaine homeostasis. *Life Sci., 147,* 71-76.

Jung, W. J., & Kim, S. K. (2007). Calcium-binding peptide derived from pepsinolytic hydrolysates of hoki (*Johnius belengerii*) frame. Eur. Food Res. Technol. 224, 763–767.

Jung, W.K., Lee, B.J. , & Kim, S.K. (2006). Fish-bone peptide increases calcium solubility and bioavailability in ovariectomised rats. Br. J. Nutr. 95(1), 124–128.

Krause, M., Keller, J., Beil, B., van Driel, I., Zustin, J., Barvencik, F., Schinke, T., & Amling, M. (2015). Calcium gluconate supplementation is effective to balance calcium homeostasis in patients with gastrectomy. *Osteoporos Int, 26*(3), 987-995.

Lamy, O., & Burckhardt, P. (2013). Calcium revisited: Part II calcium supplements and their effects. *Bonekey Rep, 3,* 579-586.

Leach, R. M., & Gross., J. R. (1983). The effect of manganese deficiency upon the ultrastructure of the eggshell. *Poult. Sci, 62,* 499–504.

Leclercq, B., , & De Carville, A. (1979). Effect of six levels of dietary phosphorus on performance of guinea-fowl breeders. *Annales-de-Zootechnie. (France), 28*(1), 109-119.

Lee, Y. K., Lee, M. Y., Kim, M. K., Choe, W. K., & Kim, S. D. (2004). Effects of calcium lactate and chungkukjang on calcium status in rat. *J. Food Sci. Nutr, 9*(1), 45-52.

Leeson, S., & Summers, J. D. (2001). *Nutrition of the chicken* (4th ed.) Guelph: University Books.

Lim, H. S., & Paik, I. K. (2003). Effects of supplementary mineral methionine chelates (Zn, Cu, Mn) on the performance and eggshell quality of laying hens. Asian-australas. *J. Anim. Sci, 16*(12), 1804-1808.

Lin, I.M., , & Shen, T.F. (1979). Studies on duck nutrition. II. calcium and phosphorus requirements of mule ducklings. *Poult. Sci, 58,* 124-130.

Maclaughlin, J., & Holick, M. F. (1982). Aging decreases the capacity of human skin to produce vitamin D_3. *J. Clin Invest, 76,* 1536-1538.

Malde, M., Graff, I., Siljander-Rasi, H., Venäläinen, E., Julshamn, K., Pedersen, J., , & Valaja, J. (2009). Fish bones – a highly available calcium source for growing pigs. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr, 94*(5), 66-76

Manangi, M. K., Vazques-Anon, M., Richards, J. D., Carter, S., & Knight, C. D. (2015). The impact of feeding supplemental chelated trace minerals on shell quality, tibia breaking strength, and immune response in laying hens. *J. Appl. Poult. Res. 24,* 316–326.

Masuda, Y. (2005). Hen's eggshell calcium. *Clin Calcium, 15*(1), 95-100.

Mcdowell, L.R. (1992). *Minerals in animal and human nutrition*. San Diego, C.A.: Academic Press.

Meiron O. E., Bar-David, E., Aflalo, E. D., Shechter, A., Stepensky, D., Berman, A., & Sagi, A. (2011). Solubility and bioavailability of stabilized amorphous calcium carbonate. *J. Bone Miner. Res, 26*(2), 364–372.

Nakhon, S., Numthuam, S., Charoensook, R., Tartrakoon, W., Incharoen, P. Incharoen, T. (2019). Growth performance, meat quality, and bone-breaking strength in broilers fed dietary rice hull silicon. *Anim. Nutr, 5,* 152-155.

Nascimento, D. R., Murakami, A. E., Guerra, A. F. Q. M., Ospinas-Rojas, I. C., Ferreira, M. F. Z., & Fanhani, J. C. (2014). Effect of different vitamin D sources and calcium levels in the diet of layers in the second laying cycle. *Braz. J. Poultry sci, 16*(2), 37-42.

Nesterova, G., Malicdan, M. C., Yasuda, K., Sakaki, T., Vilboux, T., Ciccone, C., ..., Gahl, W.A. (2013). 1,25-$(OH)_2$d-24 hydroxylase (cyp24a1) deficiency as a cause of nephrolithiasis. *Clin. J. Am. Soc. Nephrol, 8,* 649–657.

Norman, A. W. (1998). Receptors for 1alpha,25$(OH)_2D_3$: past, present, and future. *J Bone Miner Res, 13,* 1360-1369.

Nys, Y., Gautron, J., Garcia-Ruiz, J. M., & Hincke, M. T. (2004). Avian eggshell mineralization: biochemical and functional characterization of matrix proteins. *C. R. Palevol, 3,* 549-562.

Nys, Y., Hincke, M. T., Arias, J. L., Garcia-Ruiz, J. M. , & Solomon, S.E. (1999). Avian eggshell mineralization. *Poult. Avian Biol. Rev, 10,* 143-166.

Perry, T. W., Cullison, A. E., & Lowrey. R. S. (2003). *Feeds and Feeding* (6th ed.) New Jersey: Pearson Education,

Rahaie, S., Gharibzahedi, S. M. T., Razavai, S. H., & Jafari, S. M. (2012). Recent developments on new formulations based on nutrient-dense ingredients for the production of healthy-functional bread: A review. *J. Food Sci. Technol, 51,* 2896–2906.

Rasmussen, H., Fontaine, O., Max, E. E., & Goodman, D. B. P. (1979). The effect of la-hydroxyvitamin D3 administration on calcium transport in chick intestine brush border membrane vesicles. *J. Biol. Chem, 254,* 2993-2999.

Reinwald, S., Weaver, C. M., & Kester, J. J. (2008). The health benefits of calcium citrate malate: A review of the supporting science. *Adv Food Nutr Res. 54,* 219-346.

Ren, Z., Jiang, S., Zeng, Q., Ding, X., Bai, S., Wang, J., Luo, Y., Su, Z., Xuan, Y., Yao, B., Cisneros, F., & Zhang, K. (2016). Effect of dietary canthaxanthin and 25-hydroxycholecalciferol supplementation on the performance of duck breeders under two different vitamin regimens. *J. Anim. Sci. Biotechnol, 7*(1), 1-9.

Rush, J. K., Angel, C. R., Banks, K. M., Thompson, K. L., & Applegate, T. J. (2005). Effect of dietary calcium and vitamin D3 on calcium and phosphorus retention in white Pekin ducklings. *Poult. Sci, 84,* 561–570.

Rush. J. K., Angel, C. R., Banks, K. M., Thompson, K. L., & Applegate T. J. (2011). Effect of dietary calcium and vitamin D3 on calcium and phosphorus retention in white pekin ducklings. *Poult. Sci, 84,* 561–570

Saldanha, E. S. P. B., Garcia, E. A., Pizzolante, C. C., Faittarone, A. B. G., Sechinato, A., Molino, A. B., & Laganá, C. (2009). Effect of organic mineral supplementation on the egg quality of semi-heavy layers in their second cycle of lay. *Braz. J. Poult. Sci, 11,* 215–229.

Schaafsma, A. (2000). Mineral, amino acid, and hormonal composition of chicken eggshell powder and the evaluation of its use in human nutrition. *Poult Sci., 79*(12), 1833-1838.

Schwartz, G. G., Hall, M. C., Stindt, D., Patton, S., Lovato, J. , & Torti, F.M. (2005). Phase I/II study of 19-nor-1alpha-25-dihydroxyvitamin D_2 (paricalcitol) in advanced, androgen-insensitive prostate cancer. *Clin Cancer Res, 11*(1), 8680-8685.

Shafey, T. M. (1993). Calcium toluene of growing chicken: effect of ratio of dietary calcium to available phosphorus. *World's Poultry Sci, 45,* 5-18.

Shen, T. F., & Chen, W. L. (2013). The role of magnesium and calcium in eggshell formation in Tsaiya ducks and Leghorn hens. *Asian-Aust. J. Anim. Sci, 16*(2), 290-296.

Soares, J. H. (1984). Calcium metabolism and its control-A review. *Poult. Sci, 63,* 2075-2083.

Spencer, R., Charman, M., Wilson, P. W., & Lawson, D. E. M. (1978). The relationship between vitamin D stimulated calcium transport and intestinal calcium-binding protein in the chicken. *Biochem. J., 170,* 93-101.

Stefanello, C., Santos, T. C., Murakami, A. E., Martins, E. N., & Carneiro, T. C. (2014). Productive performance, eggshell quality, and eggshell ultrastructure of laying hens fed diets supplemented with organic trace minerals. *Poult. Sci, 93*(1), 104-113.

Straub, D. A. (2007). Calcium supplementation in clinical practice: A review of forms, doses, and indications. *Nutr Clin Pract, 22*(3), 286-296.

Suttle, N. F. (2010). Mineral Nutrition of Livestock (4th ed.). USA.: CSBI Publishing.

Tamim, N. M., & Angel, R. (2003). Phytate phosphorus hydrolysis as influenced by dietary calcium and micro-mineral source in broiler diets. *J. Agric. Food Chem, 51,* 4687–4693.

Tang, S., Dong, S., Chen, M., Gao, R., Chen, S., Zhao, Y., Liu, Z., & Sun, B. (2018). Preparation of a fermentation solution of grass fish bones and its calcium bioavailability in rats. *Food Funct, 9*(8), 4135-4142.

Valinietse, M. Yu, & Bauman, V. K. (1981). Comparative antirachitic activity of vitamin D2 and D3 in chicks. *Appl. Biochem. Microb, 17,* 531—537.

Vieira, S. L. (2008). Chelated minerals for poultry. *Braz. J. Poult. Sci, 10* (2), 73-79.

Wang, S., Chen, W., Zhang, H. X., Ruan, D., & Lin, Y. C. (2014). Influence of particle size and calcium source on production performance, egg quality, and bone parameters in laying ducks. *Poult. Sci, 93,* 2560-2566.

Wecksler, W. R., Henry, H. L., & Norman, A. W. (1977). Studies on the mode of action of calciferol. Arch. *Biochem. Biophys, 183,* 168-175.

Wen, J., Livingston, K. A., & Persia, M. E. (2019). Effect of high concentrations of dietary vitamin D3 on pullet and laying hen performance, skeleton health, eggshell quality, and yolk vitamin D3 content when fed to W36 laying hens from day of hatch until 68 wk of age. *Poult. Sci, 98*(12), 6713-6720.

White-Stevens, R. H., Pensack, J. M., & Stokstad, E. L. R. (1960). The calcium and phosphorus requirement of the chick. *Poult. Sci, 39*(1), 1305-1310.

Wise, A., & Gilbert, D. J. (1982). Phytate hydrolysis by germfree and conventional rats: Phytate synthesis, nutrient availability, heavy metal toxicity. Appl. Environ. *Microbiol, 43,* 753–756.

Wodzinski, R. J., & Ullah, A. H. J. (1996). *Phytase. Pages 263–302 in Advances in Applied Microbiology*. New York: Academic Press.

Wei, H. W., & Shen, T. F. (1991). The effects of dietary calcium level on the activity of carbonic anhydrase in shell gland mucosa of laying Tsaiya duck and Leghorn hen. *J. Agr. Assoc. China, 156,* 103-114.

Xia, W. G., Zhang, H. X., Lin, Y. C., & Zheng, C. T. (2015). Evaluation of dietary calcium requirements for laying Longyan shelducks. *Poult. Sci, 94*(12), 2932-2937.

Xie, M., Wang, S., Hou, S., & Huang, W. (2009a). Interaction between dietary calcium and non-phytate phosphorus on growth performance and bone ash in early White Pekin ducklings. *Anim. Feed Sci. Technol., 151,* 161–166.

Xie, M., Wang, S., Hou, S., Huang, W., Zhao, L., & Yu, J. (2009b). Calcium and phosphorus requirements of pekin ducks from 3 to 6 week of age. *Chin. J. Anim. Nutr, 21,* 25–30.

Zhang, H., Zeng, Q., Bai, S., Wang, J., Ding, X., Xuan, Y., Su, Z., & Zhang, K. (2018). Effect of graded calcium supplementation in low-nutrient density feed on tibia composition and bone turnover in meat ducks. *Br. J. Nutr, 120,* 1217–1229.

Zhang, Y., Ni, L., Wang, X., Jiang, R., Liu, L., Ye, C., Xia, W., & Han, C. (2014). Clinical arterial infusion of calcium gluconate: the preferred method for treating hydrofluoric acid burns of distal human limbs. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health, 27*(1), 104-113.

Zhu, Y., Jiang, X., Wen, J., Wang, W., & Yang, L. (2019). Dietary calcium requirements of Sheldrake ducklings from 1 to 21 days of age. *Anim. Prod. Sci, 59*, 887–890.

Zhu, Y.W., Wen, J., Jiang, X. X., Wang, W. C., & Yang, L. (2018). High calcium to phosphorus ratio impairs growth and bone mineralization in Pekin ducklings. *Poult. Sci, 97,* 1163–1169.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก การเตรียมสารเคมี

ผลิตภัณฑ์ไบโอแคลเซียมร่วมกับแร่ธาตุรองคีเลตและวิตามินดี 3 (Biocalcio Premix)

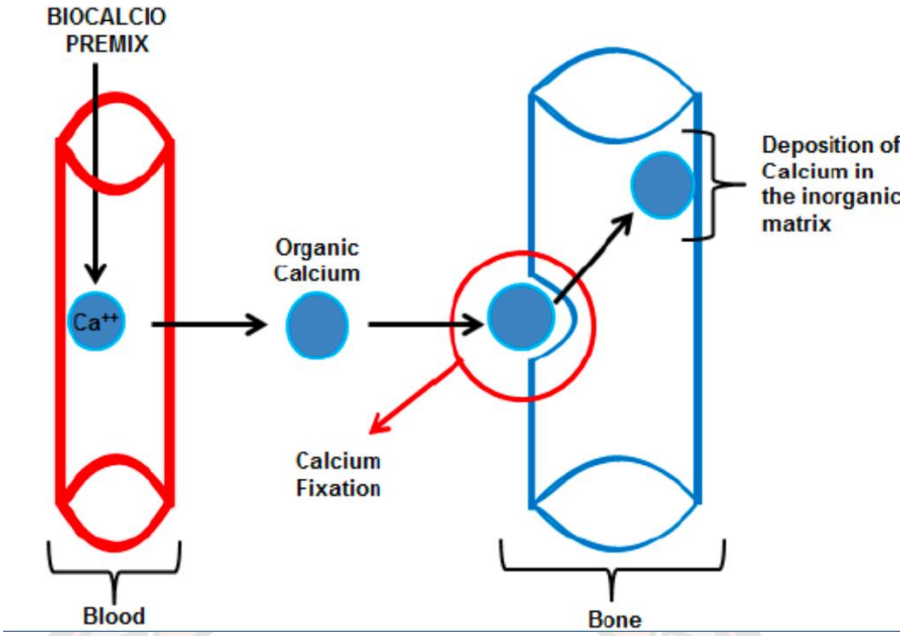
ไบโอแคลซิโอ พรีมิกซ์ (Biocalcio Premix) ประกอบด้วยแหล่งแคลเซียมที่มีความคงตัวสูงในกระดูกเช่น แคลเซียมซิเตรต (Calcium Citrate) แคลเซียมแลคเตท (Calcium lactate) และแคลเซียมกลูโคเนต (Calcium Gluconate) โซเดียมไบคาร์บอเนต (Sodium bicarbonate) แร่ธาตุคีเลต (แมงกานีส (Manganese) ทองแดง (Copper) และสังกะสี (Zinc)) วิตามิน C และ D3

ส่วนประกอบใน 1 กิโลกรัม

แคลเซียม	197	กรัม
โซเดียม	46.5	กรัม
แมงกานีส	18	กรัม
สังกะสี	16.5	กรัม
ทองแดง	2.25	กรัม
วิตามินซี	5	กรัม
วิตามินดี3	2,500,000	หน่วยสากล

การทำงานของไบโอแคลซิโอ

แร่ธาตุที่มีอยู่ในไบโอแคลซิโอ พรีมิกซ์ เป็นประเภทแร่ธาตุอินทรีย์และเกลือของแร่ธาตุรอง สิ่งเหล่านี้มีคุณสมบัติการดูดซึมสูงและยึดติดกับกระดูกได้ง่าย ดังแดงใน ภาพที่ 7 เมื่อแคลเซียมถูกยึดเข้ากับกระดูกแล้วจะถูกจัดวางในเมทริกซ์อนินทรีย์ (Organic Matrix)ของกระดูก กรดที่มีอยู่ใน Biocalcio จะสะสมอยู่ในเมทริกซ์อินทรีย์เคลือบและป้องกันกระดูก

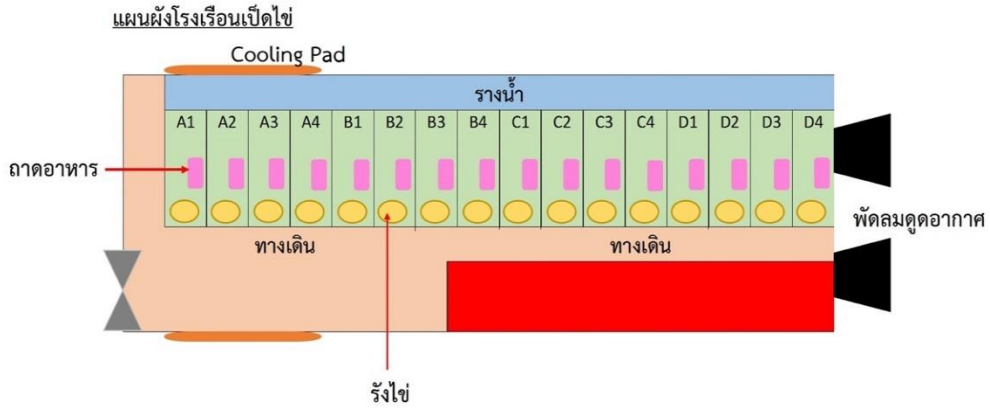


ภาพ 7 กลไกการทำงานของผลิตภัณฑ์เสริมไบโอแคลเซียมร่วมกับแร่ธาตุรองคีเลตและวิตามินดี 3 (Biocalcio Premix)

ภาพ 8 ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ Biocalcio Premix

ภาคผนวก ข การเตรียมโรงเรือน

ภาพ 9 การเตรียมโรงเรือนสำหรับการเลี้ยงเป็ดไข่



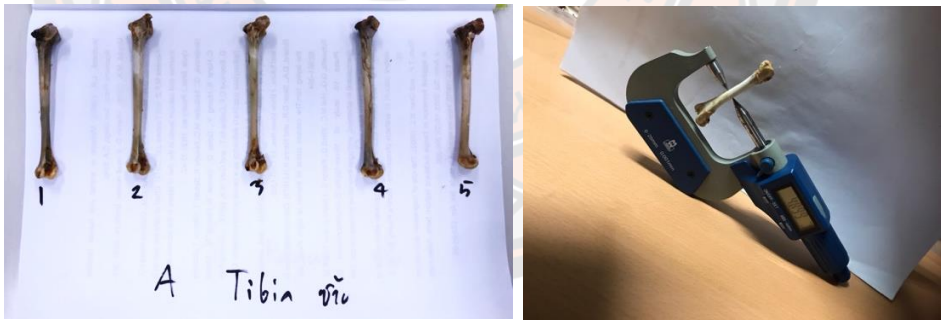
ภาพ 10 การออกแบบและการวางแผนผังโรงเรือนสำหรับการเลี้ยงเป็ดไข่ด้วยระบบการทำความเย็นด้วยการระเหยของน้ำ

ภาพ 11 ลักษณะการเลี้ยงและการจัดการคอกทดลอง

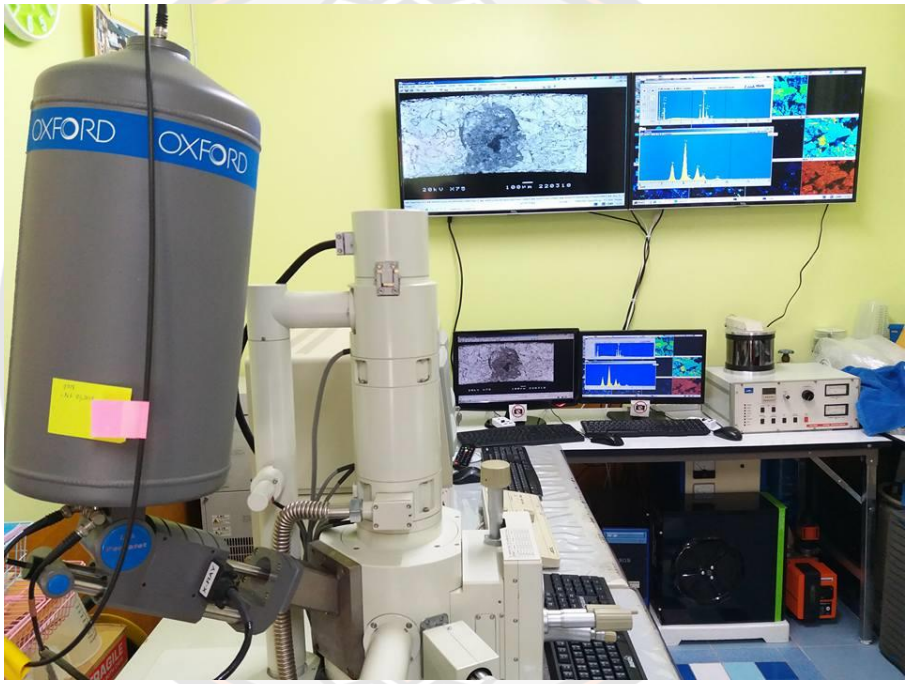
ภาพ 12 การวิเคราะห์คุณภาพไข่

ภาพ 13 การวิเคราะห์ความหนาของเปลือกไข่

ภาพ 14 การวิเคราะห์ความแข็งของกระดูกแข้ง



ภาพ 15 การวิเคราะห์ลักษณะภายนอกทั่วไปของกระดูกแข้งของเป็ดไข่



ภาพ 16 การศึกษาสัณฐานวิทยาและองค์ประกอบของแร่ธาตุ ในเปลือกไข่และกระดูกแข้งด้วยกล้องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

อภิธานศัพท์

$1,25(OH)_2D_3$	=	Calcitriol (Vitamin D_3 active from)
7DC	=	7-dehydrocholesterol สารตั้งต้นของวิตามินดี
Albumen height	=	ความสูงของไข่ขาว
Albumen ratio	=	สัดส่วนไข่ขาว
Albumen weight	=	น้ำหนักไข่ขาว
Average daily feed intake	=	ปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยต่อวัน
Biocalcio	=	ผลิตภัณฑ์สารเสริมสุขภาพสัตว์จากไบโอแคลเซียมและ
Ca	=	แคลเซียม
DBP	=	vitamin D binding protein
EDS	=	Energy Dispersive X-ray Spectrometer
Egg mass	=	มวลไข่ (g/day)
Average egg weight	=	น้ำหนักไข่เฉลี่ย
Egg weight	=	น้ำหนักไข่
Eggshell hardness	=	ความแข็งของเปลือกไข่
Eggshell ratio	=	สัดส่วนเปลือกไข่
Eggshell thickness	=	ความหนาของเปลือกไข่
eV	=	Electric Vehicle
Feed conversion ratio	=	อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นผลผลิตไข่
Feed intake	=	ปริมาณอาหารที่กินต่อตัว
Hen-day production	=	ผลผลิตไข่
Hypocalcemia	=	สภาวะแคลเซียมในเลือดต่ำ
K	=	โพแทสเซียม
K_2O	=	โปแตสเซียมออกไซด์
kV	=	Kilovolt หรือ กิโลโวลต์
Mg	=	แมกนีเซียม
MgO	=	แมกนีเซียมออกไซด์
Na_2O	=	โซเดียมออกไซด์
P	=	ฟอสฟอรัส

P_2O_5	=	ฟอสฟอรัสเพนทอกไซด์
Provitamin D_3	=	Cholecalciferol
PTH	=	parathyroid hormone
S	=	ซัลเฟอร์
SEM	=	Scanning Electron Microscopy
SO_3	=	ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์
Specimen Stub	=	กระดูกบนแท่นชิ้นงาน
Tibia	=	กระดูกแข้ง
XRD	=	X-ray Diffractometer
Yolk color	=	ความเข้มสีไข่แดง
Yolk ratio	=	สัดส่วนไข่แดง
Yolk weight	=	น้ำหนักไข่แดง