



**ผลของระดับแคลเซียมและฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ต่อสมรรถภาพการผลิต คุณลักษณะกระดูก
และค่าการย่อยได้ของแร่ธาตุในไก่เนื้อที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริม 1,25(OH)₂D₃-glycoside**

อัญญา เอียววานิช¹ ขุนพล พงษ์มณี¹ เสกสม อาตมากร¹ และยุวเรศ เรืองพานิช^{1,*}

¹ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140 ประเทศไทย

บทคัดย่อ: การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของระดับแคลเซียม (Ca) และฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ (aP) ต่อสมรรถภาพการผลิต คุณลักษณะกระดูก และค่าการย่อยได้ของแร่ธาตุในไก่เนื้อที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริม 1,25(OH)₂D₃-glycoside ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 การทดลองย่อย การทดลองที่ 1 ทำการศึกษาสมรรถภาพการผลิตและคุณลักษณะกระดูก โดยใช้ไก่เนื้อสายพันธุ์ Ross 308 เพศผู้ จำนวน 270 ตัว แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม อาหารทดลองกลุ่มที่ 1 มีระดับ Ca และ aP เท่ากับ 0.77:0.48%, 0.69:0.43% และ 0.61:0.38% ในอาหารระยะเล็ก ระยะรุ่น และระยะก่อนส่งตลาด ตามลำดับ กลุ่มที่ 2 มีระดับ Ca และ aP เท่ากับ 0.69:0.43%, 0.61:0.38% และ 0.53:0.33% ในอาหารระยะเล็ก ระยะรุ่น และระยะก่อนส่งตลาด ตามลำดับ และกลุ่มที่ 3 มีระดับ Ca และ aP เท่ากับกลุ่มที่ 2 และเสริมด้วย 1,25(OH)₂D₃-glycoside 100 กรัม/ตัน แต่ละกลุ่มมี 6 ซ้ำ ซ้ำละ 15 ตัว อาหารทดลองทุกกลุ่มจะถูกคำนวณให้มีสัดส่วนของระดับแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ (Ca:aP) ในอาหารเท่ากับ 1.6:1 การทดลองที่ 2 ทำการศึกษาค่าการย่อยได้แบบปรากฏที่ลำไส้เล็กส่วนปลาย (apparent ileal digestibility; AID) ของ Ca และฟอสฟอรัส (P) โดยใช้ไก่เนื้อสายพันธุ์ Ross 308 เพศผู้ อายุ 21 วัน จำนวน 108 ตัว แบ่งเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 6 ซ้ำ ซ้ำละ 6 ตัว โดยไก่เนื้อจะได้รับอาหารทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 จากการศึกษาไม่พบความแตกต่างของสมรรถภาพการผลิต คุณลักษณะกระดูก และค่า AID ของ Ca และ P ในทุกกลุ่มการทดลอง ($P>0.05$) อย่างไรก็ตาม การทดลองครั้งนี้พบว่าการใช้ระดับ Ca และ aP ตามที่ระบุในกลุ่มที่ 2 และในอาหารมีสัดส่วนของ Ca:aP เท่ากับ 1.6:1 พบว่าไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ 1

คำสำคัญ: ไก่เนื้อ แคลเซียม ฟอสฟอรัส สมรรถภาพการผลิต ค่าการย่อยได้แบบปรากฏที่ลำไส้เล็กส่วนปลาย

*ผู้รับผิดชอบบทความ

สัตวแพทยมหาวิทยาลัย. 2564. 16(2): 187-197.

E-mail address: agryos@ku.ac.th

Effect of Calcium and Available Phosphorus Levels on Growth Performance, Bone Characteristic and Mineral Digestibility of Broilers Fed Diets Supplemented with 1,25(OH)₂D₃-glycoside

Ananya Aiaowanit¹, Koonphol Pongmanee¹, Seksom Attamangkune¹, and Yuwares Ruangpanit^{1#}

¹Department of Animal Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand

Abstract: Two experiments were conducted to study the effect of calcium (Ca) and available phosphorus (aP) levels in broiler fed diet containing 1,25(OH)₂D₃-glycoside on growth performance, bone characteristics and mineral digestibility using Completely Randomized Design (CRD). Experiment 1, growth performance and bone characteristics were studied using 270 male Ross 308 broilers. All birds were randomly divided into 3 dietary treatments with different Ca: and aP levels including, T1) 0.77:0.48%, 0.69:0.43% and 0.61:0.38% in starter, grower and finisher diets, respectively), T2) 0.69:0.43%, 0.61:0.38% and 0.53:0.33% in starter, grower and finisher diets, respectively) and T3 as T2 supplemented with 1,25(OH)₂D₃-glycoside 100 g/ton. Each treatment consisted of 6 replicates with 15 birds each. Ca:aP ratio of all diets were kept constant at 1.6:1. Experiment 2, apparent ileal digestibility (AID) of Ca and phosphorus (P) was studied using 108 male Ross 308 broilers. All birds were randomly divided into 3 dietary treatments like Experiment 1. Each treatment consisted of 6 replicates with 6 birds each. There was no significant difference on growth performance, bone characteristics and AID of Ca and P (P>0.05). However, the finding from these studies showed that the Ca and aP level in T2 with Ca:aP ratio was 1.6:1 that had no detrimental effect on modern broilers performance when compared to T1.

Keywords: Broiler, Calcium, Phosphorus, Performance, Apparent ileal digestibility

#Corresponding author

J. Mahanakorn Vet. Med. 2021 16(2): 187-197.

E-mail address: agryos@ku.ac.th

บทนำ

การคัดเลือกและปรับปรุงทางพันธุกรรมส่งผลให้ไก่เนื้อในปัจจุบันมีประสิทธิภาพในการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลาการเลี้ยงที่สั้นลง ซึ่งอาจส่งผล

ทำให้เกิดผลกระทบต่อสัตว์ เช่น เกิดความผิดปกติของกระบวนการเมแทบอลิซึม ระบบภูมิคุ้มกันบกพร่อง และความผิดปกติของกระดูก (Julian, 1998; Cheema et al., 2003) แร่ธาตุที่มีบทบาทและความสำคัญต่อการ

เจริญและการพัฒนาของกระดูกที่ต้องมีการจัดการทางโภชนาการที่เหมาะสม คือ แคลเซียม (Ca) และ ฟอสฟอรัส (P) ซึ่ง P มีบทบาทสำคัญในกระบวนการเมแทบอลิซึมของพลังงาน กรดอะมิโนและการสังเคราะห์โปรตีน การสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก โครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์ การรักษาสมดุลของแรงดันออสโมติกและสมดุลกรด-เบส รวมทั้งเป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์ นอกจากนี้ Ca มีบทบาทเป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์และมีความสำคัญในกระบวนการแข็งตัวของเลือด การหดตัวของกล้ามเนื้อ และการส่งกระแสประสาท (Saraiva et al., 2012; Li et al., 2016) ในกรณีที่ระดับ Ca และ P ในอาหารไก่เนื้อที่ไม่สมดุลอาจส่งผลให้การพัฒนาของกระดูกผิดปกติไปสู่อัตราการตายที่เพิ่มขึ้น (Sullivan, 1994; Li et al., 2012) รวมทั้งอาจมีการขับทิ้ง P มากขึ้น ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม (Li et al., 2016) การประกอบสูตรอาหารสัตว์ปีกควรคำนึงถึง 2 ปัจจัยหลัก คือ ระดับและสัดส่วนของแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ (Ca:aP) เนื่องจากสัดส่วนของ Ca:aP เป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลต่อการย่อยและการดูดซึม Ca และ P ในระบบทางเดินอาหาร (Adedokun and Adeola, 2013) อย่างไรก็ตามแร่ธาตุ P ในอาหารไก่เนื้อเป็นต้นทุนที่มีราคาแพง การเสริม P ในอาหารในระดับที่สูง จึงส่งผลให้ต้นทุนการผลิตอาหารเพิ่มสูงขึ้น (Gautier et al., 2017) การพยายามลดระดับของ Ca และ aP ในอาหารอาจเป็นทางเลือกที่สามารถทำให้ต้นทุนค่าอาหารลดลง แต่จะต้องไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิตและสุขภาพกระดูกของไก่เนื้อ Schoutten et al. (2003) พบว่าการเสริมเอนไซม์ไฟเตสในอาหารที่มีระดับ Ca และ aP เท่ากับ 0.67:0.42% โดยมีสัดส่วนของ Ca:aP เท่ากับ 1.6:1 ส่งผลให้ไก่เนื้อที่อายุ 21 วันมีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น และองค์ประกอบเถ้า Ca และ P ในกระดูกเพิ่มขึ้น และ Cardoso et al. (2018) พบว่าระดับ aP ในอาหารที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ไก่เนื้อที่มีปริมาณอาหารที่กินและน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นที่ดีขึ้น และ

การลดระดับ Ca และ aP ในอาหารไก่เนื้อ โดยยังคงให้มีสัดส่วนของ Ca:aP เท่ากับ 1.6:1 ส่งผลให้การสะสมแร่ธาตุในกระดูกของไก่เนื้อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหากในอาหารมีสัดส่วนของ Ca:aP เท่ากับ 1.6:1 การลดระดับ Ca และ aP ให้ต่ำลงนั้นจะไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิตและสุขภาพกระดูกของไก่เนื้อ

วิตามินดีเป็นสารอาหารที่มีผลต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมของ Ca และ P ในกระบวนการสร้างกระดูก โดยวิตามินดี 3 ในอาหารต้องถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูป 1,25(OH)₂D₃ (calcitriol) จึงเป็นรูปเมทาบอลิต์ที่พร้อมทำงาน (Veum, 2010) โดยปกติ 1,25(OH)₂D₃ จะเพิ่มการสังเคราะห์แคลบินดิน (calbindin) ที่เป็นโปรตีนตัวรับและตัวพา Ca และ P เข้าสู่เซลล์ลำไส้เล็กส่งผลให้มีการดูดซึมของ Ca จากอาหารที่ลำไส้เล็กเพิ่มขึ้นเพื่อเพิ่มระดับ Ca ในเลือด (Combs, 2008) Cheng et al. (2004) พบว่าการเสริม 1,25(OH)₂D₃ ในอาหารที่มีการลดระดับ Ca:aP ลงเป็น 0.56:0.28% ส่งผลทำให้สมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อดีขึ้น ซึ่ง 1,25(OH)₂D₃ ที่พบได้ในธรรมชาติ นั้น จะอยู่ในรูปสารเมทาบอลิต์ 1,25(OH)₂D₃-glycoside ในพืชที่มีชื่อว่า *Solanum glaucophyllum* (European Food Safety Authority, 2015) ดังนั้นการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการลดระดับ Ca และ aP ในอาหารที่ระดับต่างๆ โดยให้มีสัดส่วนของ Ca:aP ในอาหารคงที่เท่ากับ 1.6:1 ร่วมกับการเสริม 1,25(OH)₂D₃-glycoside ต่อสมรรถภาพการผลิต คุณลักษณะกระดูก และค่าการย่อยได้แบบปรากฏที่ลำไส้เล็กส่วนปลายของ Ca และ P ของไก่เนื้อ

อุปกรณ์และวิธีการ

สัตว์ทดลองและอาหารทดลอง

การทดลองที่ 1 การศึกษาสมรรถภาพการผลิตและคุณลักษณะกระดูก ใช้ไก่เนื้อสายพันธุ์ Ross 308 เพศผู้

อายุ 1 วัน จำนวน 270 ตัว แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 6 ซ้ำ ซ้ำละ 15 ตัว และการทดลองที่ 2 การศึกษาค่าการย่อยได้แบบปรากฏที่ลำไส้เล็กส่วนปลาย (apparent ileal digestibility; AID) ของ Ca และ P ใช้ไก่เนื้อสายพันธุ์ Ross 308 เพศผู้ อายุ 21 วัน จำนวนทั้งหมด 108 ตัว แบ่งเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 6 ซ้ำ ซ้ำละ 6 ตัว ทั้งสอง การทดลองใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD)

อาหารทดลองมีการคำนวณให้มีองค์ประกอบและปริมาณของโภชนาที่เหมาะสมกับช่วงอายุและการเจริญเติบโตของไก่เนื้อ (Aviagen, 2014) โดยกำหนดระยะการเจริญเติบโตเป็น 3 ระยะ คือ ไก่เล็ก (starter diet; อายุ 1-14 วัน) ไก่รุ่น (grower diet; อายุ 15-28 วัน) และไก่ก่อนส่งตลาด (finisher diet; อายุ 29-35 วัน) ซึ่งในการทดลองไก่เนื้อจะได้รับอาหารทดลองที่มีระดับ Ca และ aP แตกต่างกัน 3 กลุ่มทดลอง คือ กลุ่มที่ 1 ระดับ Ca และ aP เท่ากับ 0.77:0.48%, 0.69:0.43% และ 0.61:0.38% ในอาหารระยะเล็ก ระยะรุ่น และระยะก่อนส่งตลาด ตามลำดับ กลุ่มที่ 2 มีระดับ Ca และ aP เท่ากับ 0.69:0.43%, 0.61:0.38% และ 0.53:0.33% ในอาหารระยะเล็ก ระยะรุ่น และระยะก่อนส่งตลาด ตามลำดับ และ กลุ่มที่ 3 มีระดับ Ca และ aP เท่ากับ กลุ่มที่ 2 และเสริมด้วย 1,25(OH)₂D₃-glycoside 100 กรัม/ตัน (Table 1) โดยสัดส่วนของ Ca:aP ในอาหารทุกกลุ่มตลอดการทดลองจะมีค่าเท่ากัน คือเท่ากับ 1.6:1

วิธีการทดลอง

การทดลองที่ 1 ทำการเลี้ยงไก่เนื้อในโรงเรือนปิดที่ควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนด้วยระบบระบายไอน้ำ เป็นระยะเวลา 35 วัน ไก่ได้รับน้ำและอาหารทดลองในรูปแบบอาหารผงของแต่ละสูตรอย่างเต็มที่ (*ad libitum*) ตลอดการทดลอง ทำการบันทึกน้ำหนักตัว ปริมาณอาหารที่กิน และจำนวนไก่ตาย ที่อายุ 1, 14, 28 และ 35 วัน หลังจากนั้นนำข้อมูลที่บันทึกมาคำนวณหาปริมาณอาหารที่กิน (feed intake; FI) น้ำหนักตัวที่

เพิ่มขึ้น (body weight gain; BWG) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (feed conversion ratio; FCR) และอัตราการตาย (mortality rate) ของไก่เนื้อในแต่ละช่วงอายุ เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่อายุ 35 วัน ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างกระดูกขาส่วนทิเบีย (tibia) ข้างขวาของไก่ทดลองจากทุกซ้ำของกลุ่มทดลอง ซ้ำละ 2 ตัว และนำกระดูกไปวัดค่าความแข็งของกระดูก (bone breaking strength) ตามวิธีการของ ASAE (2005) และวิเคราะห์องค์ประกอบเถ้า Ca และ P ในกระดูกของไก่เนื้อตามวิธีการของ AOAC (2016)

การทดลองที่ 2 การศึกษา AID ของ Ca และ P ใช้ไก่เนื้อสายพันธุ์ Ross 308 เพศผู้ อายุ 1 วัน เลี้ยงปล่อยพื้นในโรงเรือนปิดที่มีการควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือนด้วยระบบระบายไอน้ำ ไก่ได้รับอาหารทางการค้าสำหรับไก่เนื้อระยะเล็กในช่วงอายุ 1-20 วัน และเมื่อไก่เนื้ออายุ 21 วันทำการนำไก่เนื้อมาเลี้ยงในกรงสำหรับศึกษาการย่อยได้ของโภชนา (metabolic cage) เป็นระยะเวลา 8 วัน โดยใช้อาหารทดลองที่มีส่วนประกอบและคุณค่าทางโภชนาสำหรับไก่เนื้อที่อายุ 15-28 วัน (Table 1) จำนวน 3 สูตรเช่นเดียวกับในการทดลองที่ 1 ในรูปแบบอาหารผง และใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) ที่ระดับ 0.3% เป็นตัวบ่งชี้ (indicator) เพื่อใช้ในการคำนวณ AID โดยให้สัตว์ทดลองได้รับน้ำและอาหารแต่ละสูตรแบบเต็มที่ (*ad libitum*) เมื่อไก่เนื้ออายุ 29 วัน ทำการเก็บตัวอย่างสิ่งย่อย (digesta) จากส่วนครึ่งท้ายของลำไส้เล็กส่วนปลาย (ตำแหน่งของลำไส้เล็กส่วนปลายเริ่มจากบริเวณ Meckel's diverticulum จนถึงตำแหน่ง 2 เซนติเมตร ก่อนถึง ileo-caeco-colonic-junction) และนำอาหารทดลองและสิ่งย่อยมาวิเคราะห์วัตถุแห้ง ความชื้น Ca และ P ตามวิธีของ AOAC (2016) และวิเคราะห์ TiO₂ ตามวิธีการของ Short et al. (1996) เพื่อนำไปคำนวณ AID ของ Ca และ P ตามวิธีการของ WPSA (2013)

$$\text{ค่าการย่อยได้ (\%)} = 100 - [100 \times (\text{M diet} \times \text{A digesta}) / (\text{M digesta} \times \text{A diet})]$$

เมื่อ M diet = ปริมาณของตัวบ่งชี้ที่ได้จากการวิเคราะห์ในอาหาร (กรัม/กิโลกรัมวัตถุดิบแห้ง)

M digesta = ปริมาณของตัวบ่งชี้ที่ได้จากการวิเคราะห์ในสิ่งย่อย (กรัม/กิโลกรัมวัตถุดิบแห้ง)

A diet = ปริมาณของ Ca หรือ P ที่ได้จากการวิเคราะห์ในอาหาร (กรัม/กิโลกรัมวัตถุดิบแห้ง)

A digesta = ปริมาณของ Ca หรือ P ที่ได้จากการวิเคราะห์ในสิ่งย่อย (กรัม/กิโลกรัมวัตถุดิบแห้ง)

Table 1 Ingredient and calculated nutritional composition of experimental diets.

Ingredient (%)	Treatments ^{1/}								
	Starter diet			Grower diet			Finisher diet		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Corn	29.52	14.53	14.53	46.55	15.56	15.56	09.60	78.60	78.60
Soybean oil	50.1	21.1	21.1	16.2	93.1	93.1	93.2	70.2	70.2
Soybean meal (46% CP)	19.32	05.32	05.32	95.26	83.26	83.26	93.21	81.21	81.21
Full fat soybean	00.10	00.10	00.10	00.12	00.12	00.12	00.12	00.12	00.12
L-lysine	23.0	24.0	24.0	20.0	21.0	21.0	19.0	19.0	19.0
DL-methionine	35.0	35.0	35.0	30.0	30.0	30.0	27.0	27.0	27.0
Choline Chloride (60%)	01.0	01.0	01.0	01.0	01.0	01.0	01.0	01.0	01.0
Calcium carbonate	95.0	89.0	89.0	91.0	79.0	79.0	82.0	07.0	07.0
Monocalcium Phosphate	69.1	33.1	33.1	35.1	12.1	12.1	15.1	92.0	92.0
Salt	54.0	54.0	54.0	41.0	41.0	41.0	36.0	36.0	36.0
Premix	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
1,25-(OH) ₂ D ₃ ^{2/}	-	-	+	-	-	+	-	-	+
Calculated nutrient composition (%)									
ME (kcal/kg)	3,000	3,000	3,000	3,100	3,100	3,100	3,200	3,200	3,200
CP	00.23	00.23	00.23	50.21	50.21	50.21	50.19	50.19	50.19
Calcium	77.0	69.0	69.0	69.0	61.0	61.0	61.0	53.0	53.0
Total phosphorus	80.0	72.0	72.0	71.0	65.0	65.0	64.0	58.0	58.0
Available phosphorus	48.0	43.0	43.0	43.0	38.0	38.0	38.0	33.0	33.0

^{1/}T1 (0.77:0.48%, 0.69:0.43% and 0.61:0.38% in starter, grower and finisher diets, respectively), T2 (0.69:0.43%, 0.61:0.38% and 0.53:0.33% in starter, grower and finisher diets, respectively), T3 (T2+1,25(OH)₂D₃-Glycoside 100 g/ton).

^{2/}1,25-(OH)₂D₃-glycoside 10g/ton from Panbonis® 100 g/ton

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) ของข้อมูลและเปรียบเทียบความ

แตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรม SAS University Edition (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)

ผลการทดลองและวิจารณ์

สมรรถภาพการผลิต

ผลจากการศึกษาพบว่าการลดระดับ Ca และ aP ในอาหารจาก 0.77:0.48%, 0.69:0.43% และ 0.61:0.38% (T1) เป็น 0.69:0.43%, 0.61:0.38% และ 0.53:0.33% (T2 และ T3) ในอาหารระยะเล็ก ระยะรุ่น และระยะก่อนส่งตลาด ตามลำดับ โดยมีสัดส่วนของ Ca:aP ในอาหารเท่ากับ 1.6:1 ไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพผลิต ($P>0.05$) และการเสริม 1,25(OH) $_2$ D $_3$ -glycoside ในอาหารที่มีระดับ Ca และ aP ลดลง (T3) ไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิตเช่นเดียวกัน ($P>0.05$) (Table 2) สอดคล้องกับ Roberson and Edwards (1996) ที่พบว่าการเสริม 1,25(OH) $_2$ D $_3$ ในอาหารที่มีระดับ Ca และ aP เท่ากับ 0.65:0.50% โดยมีสัดส่วนของ Ca:aP เท่ากับ 1.3:1 ไม่ส่งผลต่อน้ำหนักตัวและประสิทธิภาพการใช้อาหารของไก่เนื้อที่อายุ 21 วัน และ 35 วัน การลดระดับ Ca และ aP ในอาหารที่มีสัดส่วนของ Ca:aP เท่ากับ 1.6:1 อาจจะมีความสมดุลและปริมาณของแร่ธาตุเพียงพอต่อความต้องการของไก่เนื้อ รวมทั้งอาจเนื่องจากในอาหารมีระดับวิตามินดี 3 เพียงพอที่จะส่งผลให้การใช้ประโยชน์ของ Ca และ P สามารถเกิดขึ้นได้ในร่างกายสัตว์ในระดับที่เหมาะสม จึงส่งผลให้ไก่เนื้อสามารถปรับตัวต่อการได้รับอาหารที่มีระดับ Ca และ P ลดลงได้ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต และเมื่อทำการเสริม 1,25(OH) $_2$ D $_3$ -glycoside ในอาหาร จึงพบว่าการเสริม 1,25(OH) $_2$ D $_3$ -glycoside ไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิต ในสถานะที่ได้รับ Ca และ P เพียงพอต่อการรักษาสมดุลของการใช้ประโยชน์ของ Ca และ P การเสริม 1,25(OH) $_2$ D $_3$ -glycoside ส่งผลให้ระดับ 1,25(OH) $_2$ D $_3$ ในเลือดสูงขึ้น ซึ่งเมื่อระดับ 1,25(OH) $_2$ D $_3$ ในเลือดสูง ร่างกายจะมีการควบคุมแบบย้อนกลับ (negative feedback) โดยการขัดขวางการถอดรหัสยีนที่ผลิต PTH ส่งผลให้ลดการสังเคราะห์ PTH (Proszkiwiec-Weglarz

and Angel, 2013) ยับยั้งการทำงานของ 1-hydroxylase เพื่อลดการสังเคราะห์ 1,25(OH) $_2$ D $_3$ และกระตุ้นการทำงานของ 24-hydroxylase ให้มีการสังเคราะห์ 24,25(OH) $_2$ D $_3$ ซึ่งเป็นรูปเมทาบอลิต์ของวิตามินดีที่ไม่พร้อมทำงานแทน 1,25(OH) $_2$ D $_3$ ในสถานะที่สมดุลของ Ca เป็นปกติ เพื่อควบคุมระดับ 1,25(OH) $_2$ D $_3$ ในเลือด (Combs, 2008; Boontaveeyuwat, 2010; Proszkiwiec-Weglarz and Angel, 2013)

คุณลักษณะกระดูก

ผลจากการศึกษาพบว่าการลดระดับ Ca และ aP ในอาหารจาก 0.77:0.48%, 0.69:0.43% และ 0.61:0.38% (T1) เป็น 0.69:0.43%, 0.61:0.38% และ 0.53:0.33% (T2 และ T3) ในอาหารระยะเล็ก ระยะรุ่น และระยะก่อนส่งตลาด ตามลำดับ โดยคงสัดส่วนของ Ca:aP ในอาหารทุกกลุ่มเท่ากับ 1.6:1 ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะกระดูกของไก่เนื้อ ($P>0.05$) ทั้งนี้การเสริม 1,25(OH) $_2$ D $_3$ -glycoside ในอาหารที่มีการลดระดับ Ca และ aP (T3) นั้น ไม่ส่งผลต่อคุณลักษณะกระดูกเช่นเดียวกัน ($P>0.05$) (Table 3) สอดคล้องกับ Cardoso et al. (2018) ที่พบว่าเมื่อไก่เนื้อได้รับอาหารที่มีระดับ Ca และ aP เท่ากับ 0.61:0.39% โดยมีสัดส่วนของ Ca:aP เท่ากับ 1.6:1 มีแนวโน้มการสะสมแร่ธาตุในกระดูกเพิ่มขึ้น และ Rama Rao et al. (2003) ที่พบว่าเมื่อให้อาหารไก่เนื้อที่มีสัดส่วนของ Ca:aP ลดลงเป็น 1.5:1 ในไก่เนื้อระยะเล็ก (1-21 วัน) โดยมีระดับ Ca และ aP เท่ากับ 0.60:0.40% มีความแข็งแรงของกระดูกต่ำกว่าไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มีระดับ Ca และ aP เท่ากับ 0.70:0.45% แต่อย่างไรก็ตาม องค์ประกอบเถ้ากระดูกและคะแนนความผิดปกติของขาพบว่า ไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ Roberson and Edwards (1996) พบว่าการเสริม 1,25(OH) $_2$ D $_3$ ในอาหารที่มีระดับ Ca และ aP เท่ากับ 0.65:0.50% โดยมีสัดส่วนของ Ca:aP เท่ากับ 1.3:1 ไม่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์เถ้ากระดูกของไก่เนื้อที่อายุ 35 วัน

Table 2 Effect of calcium and available phosphorus levels on growth performance of broilers fed diets supplemented with 1,25(OH)₂D₃-glycoside

Parameter ^{2/}	Treatment ^{1/}			SEM	P-value
	T1	T2	T3		
----- 1-14 DOA -----					
FI (g/bird)	605.97	601.72	604.48	5.6088	0.9559
BWG (g/bird)	516.37	511.04	508.61	1.8791	0.2332
FCR	1.173	1.178	1.188	0.0100	0.8263
Mortality (%)	0.00	1.67	1.67	0.6553	0.4223
----- 15-28 DOA -----					
FI (g/bird)	1823.68	1819.75	1839.58	10.7119	0.7367
BWG (g/bird)	1314.67	1310.47	1317.62	6.6624	0.9118
FCR	1.387	1.389	1.389	0.0034	0.9744
Mortality (%)	0.00	0.00	1.14	0.3952	0.4103
----- 29-35 DOA -----					
FI (g/bird)	1445.07	1385.03	1408.75	12.4419	0.1392
BWG (g/bird)	822.54	811.09	812.45	5.9739	0.7121
FCR	1.724	1.707	1.735	0.0130	0.6848
Mortality (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0000
----- 1-35 DOA -----					
FI (g/bird)	3853.64	3826.31	3852.80	20.3077	0.8432
BWG (g/bird)	2640.99	2621.03	2638.67	9.9407	0.6883
FCR	1.450	1.453	1.453	0.0048	0.9557
Mortality (%)	0.00	0.00	1.14	0.3786	0.3847

^{1/}T1 (0.77:0.48%, 0.69:0.43% and 0.61:0.38% in starter, grower and finisher diets, respectively), T2 (0.69:0.43%, 0.61:0.38% and 0.53:0.33% in starter, grower and finisher diets, respectively), T3 (T2+1,25(OH)₂D₃-glycoside 100 g/ton).

^{2/}FI= feed intake; BWG = body weight gain; FCR = feed conversion ratio

เมื่ออาหารมีสัดส่วนของ Ca:aP ในอาหารเท่ากับ 1.6:1 การลดระดับ Ca และ aP จาก 0.77:0.48%, 0.69:0.43% และ 0.61:0.38% (T1) เป็น 0.69:0.43%, 0.61:0.38% และ 0.53:0.33% (T2 และ T3) ส่งผลให้ความแข็งแรงของกระดูกและ Ca ในกระดูกลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องจากการลดระดับ Ca และ P ในอาหารส่งผลให้ปริมาณ Ca และ P สุทธิที่ไก่เนื้อได้รับสำหรับการ

สะสมในกระดูกลดลง เมื่อไก่เนื้อได้รับ Ca และ P จากอาหารลดลง เนื่องจากอาหารมีระดับ Ca และ P ต่ำ ร่างกายจะสลาย Ca และ P จากกระดูก เพื่อรักษาสมดุลของระดับ Ca และ P ในเลือด และเพื่อลดผลกระทบของการได้รับปริมาณ Ca และ P ที่มีอย่างจำกัดต่อการเจริญเติบโต (Vieites et al., 2018) เพราะนอกเหนือจากการสร้างกระดูกแล้ว โดยปกติสัตว์ปีกต้องการแร่ธาตุทั้ง

Table 3 Effect of calcium and available phosphorus levels on bone characteristics and apparent ileal digestibility of broilers fed diets supplemented with 1,25(OH)₂D₃-glycoside

Parameter	Treatment ^{1/}			SEM	P-value
	T1	T2	T3		
Bone characteristics					
Breaking strength (N)	433.10	389.55	387.4	11.6019	0.1626
Ash (%DM)	53.83	53.30	53.46	0.3749	0.9353
Ca (%DM)	19.17	18.35	18.28	0.2433	0.3616
P (%DM)	9.93	9.76	9.66	0.1726	0.7884
Apparent ileal digestibility					
Ca (%)	50.77	46.44	47.53	2.8584	0.7864
P (%)	57.52	55.50	54.45	1.3080	0.6322

^{1/}T1 (0.77:0.48%, 0.69:0.43% and 0.61:0.38% in starter, grower and finisher diets, respectively), T2 (0.69:0.43%, 0.61:0.38% and 0.53:0.33% in starter, grower and finisher diets, respectively), T3 (T2+1,25(OH)₂D₃-glycoside 100 g/ton).

สองชนิดสำหรับกระบวนการเมแทบอลิซึมอื่นๆ ในร่างกายด้วย เช่น การทำงานของกล้ามเนื้อและการทำงานของเอนไซม์ (Underwood and Suttle, 1999) อย่างไรก็ตาม จากการที่แร่ธาตุทั้งสองชนิดเป็น สารอนินทรีย์ที่มีอยู่ในเนื้อกระดูกประมาณ 95% และมีความสำคัญต่อความแข็งแรงของกระดูก (Rath et al., 2000) เมื่อเกิดกระบวนการสลายกระดูกเพื่อรักษาระดับ Ca และ P ในกระแสเลือด จึงส่งผลให้องค์ประกอบของแร่ธาตุและความแข็งแรงของกระดูกลดลง

ค่าการย่อยได้แบบปรากฏที่ไล่เลี่ยกัน

ผลจากการศึกษาพบว่าการลดระดับ Ca และ aP ในอาหารจาก 0.69% (T1) เป็น 0.61:0.38% (T2 และ T3) โดยมีสัดส่วนของ Ca:aP ในอาหารเท่ากับ 1.6:1 ไม่ส่งผลกระทบต่อ AID ของ Ca และ P ($P>0.05$) แสดงให้เห็นว่าการมีสัดส่วนของ Ca:aP ที่ 1.6:1 นั้นไม่ส่งผลให้เกิดการขัดขวางการใช้ประโยชน์ซึ่งกันและกันระหว่างแร่ธาตุทั้งสองชนิด (antagonistic) และพบว่าการเสริม 1,25(OH)₂D₃-glycoside ในอาหารที่มีการลดระดับ Ca และ aP (T3) ไม่ส่งผลกระทบต่อ AID ของ Ca

และ P เช่นเดียวกัน ($P>0.05$) (Table 3) ทั้งนี้เนื่องจากอาหารมีระดับ Ca และ P ที่เหมาะสมต่อการรักษาสมดุลการใช้ประโยชน์ของแร่ธาตุทั้งสองชนิด และระดับวิตามินดี 3 ในอาหารมีเพียงพอที่จะส่งผลให้ไก่เนื้อสามารถปรับตัวต่อการได้รับอาหารที่มีระดับ Ca และ P ลดลง รวมทั้งสัดส่วนของ Ca:aP เท่ากับ 1.6:1 อาจจะไม่สูงเกินไปหรือต่ำเกินไปจนกระทบต่อการย่อยและการดูดซึม Ca และ P นอกจากนี้ Li et al. (2012) พบว่าอาหารที่มีสัดส่วนของ Ca:aP เท่ากับ 1.2:1 และ 2.2:1 ส่งผลให้ไก่เนื้อมีประสิทธิภาพการผลิต ความแข็งแรงของกระดูก องค์ประกอบเถ้าและ Ca ในกระดูกสูงกว่าไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วนของ Ca:aP เท่ากับ 4.1:1 และเมื่ออาหารมีสัดส่วนของ Ca:aP เท่ากับ 1.2:1 ส่งผลให้ไก่เนื้อ มี P ในกระดูกสูงกว่าไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วนของ Ca:aP เท่ากับ 2.2:1 และ 4.1:1 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอาหารที่มีระดับและสัดส่วนของ Ca:aP ที่ไม่สมดุลสามารถส่งผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์ของแร่ธาตุทั้งสองชนิดและนำไปสู่การสะสมแร่ธาตุในกระดูกของไก่เนื้อที่ผิดปกติได้

สรุป

การลดระดับ Ca และ aP ในอาหาร โดยให้มีสัดส่วนของ Ca:aP ในอาหารเท่ากับ 1.6:1 ร่วมกับการเสริม 1,25(OH)2D3-glycoside ไม่ส่งผลต่อสมรรถภาพการผลิต คุณลักษณะกระดูก และ AID ของ Ca และ P ของไก่เนื้อ อย่างไรก็ตาม การประกอบสูตรอาหารไก่เนื้อให้มีระดับ Ca และ aP เท่ากับ 0.69:0.43%, 0.61:0.38% และ 0.53:0.33% ในระยะเล็ก ระยะรุ่น และระยะก่อนส่งตลาด ตามลำดับ โดยมีสัดส่วนของ Ca:aP คงที่เท่ากับ 1.6:1 ไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิต และสามารถใช้เป็นทางเลือกในการลดต้นทุนอาหารไก่เนื้อได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์การเรียนรู้วิชาการด้านสัตวศาสตร์ และห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการดำเนินงานวิจัย และขอขอบคุณบริษัท Herbonis Animal Health GmbH ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ที่สนับสนุนงบประมาณและผลิตภัณฑ์ Panbonis® ในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Adedokun, S.A. and O. Adeola. 2013. Calcium and phosphorus digestibility: Metabolic limits¹. J. Appl. Poult. Res. 22: 600-608.
- ASAE. 2005. ASAE standards: Standard Engineering Practices Data. 52nd ed. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI.
- AOAC. 2016. Official Methods of Analysis of AOAC International. 20th ed. AOAC International, Maryland.
- Aviagen. 2014. ROSS 308 Broiler: (cited 14 July 2017). Nutrition Specifications. Available from: <http://www.aviagen.com>.
- Boontaveeyuwat, N. 2010. Nutritional Biochemistry. 2nd Chareondeemunkong Publication. Bangkok. (in Thai)
- Cardoso, E. F, J. L. Donzele, R. M. O. Donzele, E. M. Figueiredo, C. P. F. Azevedo, and B. L. Sufiate. 2018. Non-phytate phosphorus requirement for male broilers subjected to two calcium supply regimens from 8 to 21 days of age under thermoneutral environment conditions. Span. J. Agric. Res. 16(3): 1-8.
- Cheema, M., M. Qureshi, and G. Havenstein. 2003. A comparison of the immune response of a 2001 commercial broiler with a 1957 random bred broiler strain when fed representative 1957 and 2001 broiler diets. Poult. Sci. 82: 1519-1529.
- Cheng, Y. H., J. P. Goff, J. L. Sell, M. E. Dallorso, S. Gil, S. E. Pawlak, and R. L. Horst. 2004. Utilizing *Solanum glaucophyllum* alone or with phytase to improve phosphorus utilization in broilers. Poult. Sci. 83: 406-413.
- Combs, G. F. 2008. The Vitamins. 3rd ed. Elsevier Inc., California.
- Driver, J. P., G. M. Pesti, R. I. Bakalli, and H. M. Edwards, Jr. 2005. Calcium requirement of the modern broiler chicken as influenced by dietary protein and age. Poult. Sci. 84: 1629-1639.

- European Food Safety Authority. 2015. Scientific opinion on the safety of *Solanum glaucophyllum* standardized leaves as feed material. EFSA. J. 13 (1): 1-43.
- Gautier, A. E., C. L. Walk, and R. N. Dilger. 2017. Influence of dietary calcium concentrations and the calcium-to-non-phytate phosphorus ratio on growth performance, bone characteristics, and digestibility in broilers. Poult. Sci. 96: 2795-2803.
- Julian, R. J. 1998. Rapid growth problems: ascites and skeletal deformities in broilers. Poult. Sci. 77: 1773-1780.
- Li, J., J. Yuan, Y. Guo, Q. Sun, and X. Hu. 2012. Influence of dietary calcium and phosphorus imbalance on intestinal NaPi-IIb and calbindin mRNA expression and tibia parameters of broilers. Asian-Australas. J. Anim. Sci. 25: 552-558.
- Li, X., D. Zhang, and W. Bryden. 2016. Phosphorus bioavailability: A key aspect for conserving this critical animal feed resource with reference to broiler nutrition. Agriculture 6(2): 1-15.
- Proszkowiec-Weglarz, M. and R. Angel. 2013. Calcium and phosphorus metabolism in broilers: Effect of homeostatic mechanism on calcium and phosphorus digestibility. J. Appl. Poult. Res. 22: 609-627.
- Rama Rao, S. V., M. V. L. N. Raju, M. R. Reddy, P. Pavani, G. Shyam Sunder, and R. P. Sharma. 2003. Dietary calcium and non-phytin phosphorus interaction on growth, bone mineralization and mineral retention in broiler starter chicks. Asian-Australas. J. Anim. Sci. 16: 719-725.
- Rath, N. C., G. R. Huff, W. E. Huff, and J. M. Balog. 2000. Factors regulating bone maturity and strength in poultry. Poult. Sci. 79: 1024-1032.
- Roberson, K. D and H. M. Edwards, Jr. 1996. Effect of dietary 1,25-dihydroxycholecalciferol level on broiler performance. Poult. Sci. 75: 90-94.
- Short, F. J., P. Gorton, J. Wiseman, and K. N. Boorman. 1996. Determination of titanium dioxide added as an inert marker in chicken digestibility studies. Anim. Feed Sci. Technol. 59: 215-221.
- Schoulten, N. A., A. S. Teixeira, R. T. F. Freitas, A. G. Bertechini, A. J. Conte, and H. O. Silva. 2003. Levels of calcium in broiler diets supplemented with phytase in the initial phase. R. Bras. Zootec. 32(5): 1190-1197.
- Sullivan, T. W. 1994. Skeletal problems in poultry: Estimated annual cost and descriptions. Poult. Sci. 73:879-882.
- Underwood, E. J. and N. F. Suttle. 1999. The Mineral Nutrition of Livestock. 3rd ed. CAB International, Wallingford, UK.
- Veum, T. L. 2010. Phosphorus and calcium nutrition and metabolism. In: D. M. S. S. Vitti and E. Kebreab, editors. Phosphorus and Calcium Utilization and Requirements in Farm Animals. CAB International, Oxfordshire. p. 94-111.

- Vieites, F. M., E. Brusamarelo, B. S. Vieira, F. G. Saliva, C. S. Souza, G. S. S. Corrêa, J. G. Caramori. Jr., and G. H. K. Moraes. 2018. 1,25-dihydroxycholecalciferol from *Solanum glaucophyllum* supports normal growth and reduces the negative effects of calcium and phosphorus restriction on broilers' bone tissue. Semin. Cienc. Agrar. 39 (5): 2205-2214.
- WPSA. 2013. Determination of phosphorus availability in poultry. Worlds Poult. Sci. J. 69: 687-698.

