

ความต้องการพลังงานและโปรตีนเพื่อการดำรงชีพและการเจริญเติบโตของไก่เหลืองหางขาวกบินทร์บุรีระยะแรกเกิดถึง 28 วัน

ธนภุต อ่อนจันทร์^{1/} จีระศักดิ์ ขอบแต่ง^{2/} ศุภลักษณ์ ศรีจันดี^{1/} ศศนันท์ คฤหเดช^{3/} แพรวพรรณ ชูช่วย^{4/}

บทคัดย่อ

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (net energy requirement for maintenance, NE_m) และโปรตีนสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (net protein requirement for maintenance, NP_m) และความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการเจริญเติบโต (net energy requirement for growth, NE_g) และโปรตีนสุทธิเพื่อการเจริญเติบโต (net protein requirement for growth, NP_g) ของไก่เหลืองหางขาวกบินทร์บุรี คณะแพศ ระยะแรกเกิดถึง 28 วัน ที่มีน้ำหนักเมแทบอลิกไม่รวมเศษอาหาร (metabolic empty bodyweight, $EBW^{0.75}$) ต่าง ๆ โดยใช้วิธีการศึกษาซากเชิงเปรียบเทียบ (comparative slaughtering technique) วางแผนการทดลองแบบแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design) มี 4 ซ้ำ สิ่งทดลอง คือ ระดับการให้อาหาร 4 ระดับ ได้แก่ 1) ให้อาหารแบบเต็มที่ (ad libitum, AL) 2) ให้อาหารในระดับ 80 เปอร์เซ็นต์ของระดับ AL (80%AL) 3) ให้อาหารในระดับ 60 เปอร์เซ็นต์ของระดับ AL (60%AL) และ 4) ให้อาหารในระดับ 40 เปอร์เซ็นต์ของระดับ AL (40%AL) ใช้ไก่เหลืองหางกบินทร์บุรีอายุ 1 วัน จำนวน 450 ตัว

ผลการทดลอง พบว่า ไก่เหลืองหางขาวกบินทร์บุรีมีค่า NE_m เท่ากับ 54.74 kcal/kg $EBW^{0.75}/d$ และค่า NP_m เท่ากับ 1.38 g/kg $EBW^{0.75}/d$ มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพื่อการดำรงชีพ (K_m) เท่ากับ 0.49 และสมการสำหรับใช้ในประเมินความต้องการพลังงานสุทธิและโปรตีนสุทธิเพื่อการเจริญเติบโตในการเพิ่มน้ำหนักตัวไม่รวมเศษอาหาร (empty body weight gain, EBG) 1 กรัม ดังนี้ NE_g (kcal/g EBG) = $1.27 \times EBW^{-0.04}$ และ NP_g (g/g EBG) = $0.21 \times EBW^{0.04}$ ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพื่อการเจริญเติบโต (K_g) เท่ากับ 0.31

คำสำคัญ: ไก่เหลืองหางขาวกบินทร์บุรี ความต้องการโภชนะ โปรตีน พลังงาน

เลขทะเบียนวิชาการ : 65(2)-0214-104

^{1/} ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์สระแก้ว อ.คลองหาด จ. สระแก้ว 27260.

^{2/} สำนักพัฒนาอาหารสัตว์ อ.เมือง จ.ปทุมธานี 10200.

^{3/} ศูนย์วิจัยและพัฒนาสัตว์ปีก อ.กบินทร์บุรี จ.ปราจีนบุรี 25110.

^{4/} ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์นครราชสีมา อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา 30130.

Energy and protein requirements for maintenance and growth of Lueng Hang Kao Kabinburi Chicks from hatch to 28 days

Tanakit Onjun^{1/} Jeerasak Chobtang^{2/} Supalak Srijundee^{1/} Sosanun Karuhadej^{3/}
Phrawphan Chuchua^{4/}

Abstract

The objective of the present study was to assess the net energy (NE_m) and net protein requirements (NP_m) for maintenance and net energy (NE_g) and net protein requirements (NP_g) for growth of Lueng Hang Kao Kabinburi chicks from hatch to 28 days of age at different metabolic empty body weights ($EBW^{0.75}$), using a comparative slaughtering technique. A completely randomized design with four replications was used. The experiment comprised four feeding allowance levels: (1) *Ad libitum* (AL), (2) Feeding allowance at a level of 80% AL, (3) Feeding allowance at a level of 60% AL, and (4) Feeding allowance at a level of 40% AL. A total of 450 Lueng Hang Kao Kabinburi chicks were used.

Results showed that the NE_m and NP_m were 54.74 kcal/kg $EBW^{0.75}/d$ and 1.38 g/kg $EBW^{0.75}/d$, respectively, the with coefficient of energy use efficiency for maintenance of 0.49. In addition, the equations for use to estimate net energy and net protein requirements for 1 gram of empty body weight gain (EBG) were NE_g (kcal/g EBG) = $1.27 \times EBW^{-0.04}$ and NP_g (g/g EBG) = $0.21 \times EBW^{0.04}$, respectively, with the coefficient of energy use efficiency for growth of 0.31.

Keywords: Lueng Hang Kao Kabinburi chick, Nutrient requirements, Protein, Energy

Registered No.: 65(2)-0214-104

^{1/} Sakaeo Animal Nutrition Research and Development Center, Khong Had, Sakaeo, 27260.

^{2/} Bureau of Animal Nutrition Development, Muang, Pathumthani, 10200.

^{3/} Poultry Research and Development Center, Kabin Buri, Prachinburi, 25110.

^{4/} Nakornrachasima Animal Nutrition Research and Development Center, Pak Chong, Nakornrachasima, 30130.

บทนำ

ไก่เหลืองหางขาวกบินทร์บุรี (Lueng Hang Kao Kabinburi) เป็นไก่พันธุ์พื้นเมืองไทยที่ได้รับการพัฒนาพันธุ์โดยศูนย์วิจัยและบำรุงพันธุ์สัตว์กบินทร์บุรี อำเภอกบินทร์บุรี จังหวัดปราจีนบุรี มีการเลี้ยงมากในพื้นที่ภาคตะวันออกของประเทศไทย ลักษณะเด่นของไก่พันธุ์นี้ได้แก่ ขยายพันธุ์ได้ง่าย ทนต่อสภาพอากาศร้อน มีศักยภาพในการผลิตทั้งในด้านการเจริญเติบโต การให้ผลผลิต และการอยู่รอดสูงภายใต้การจัดการฟาร์มของเกษตรกร นอกจากนี้ เนื้อไก่มีรสชาติดีจึงเป็นที่ต้องการของตลาดซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากข้อมูลสถิติปี 2561 ประเทศไทยมีไก่พื้นเมืองมากกว่า 91 ล้านตัว และมีเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่ ประมาณ 2.6 ล้านราย ไก่พันธุ์เหลืองหางขาวกบินทร์บุรีมีน้ำหนักเมื่อโตเต็มที่ เพศผู้ 3.14 กิโลกรัม เพศเมีย 2.28 กิโลกรัม (สำนักพัฒนาพันธุ์สัตว์, 2557)

การยกระดับการเลี้ยงสู่ระบบการผลิตแบบประณีตจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเลี้ยงและเพิ่มจำนวนไก่สู่ตลาดผู้บริโภคมากขึ้น การจัดการอาหารสัตว์เพื่อให้ไก่ได้รับโภชนาการสอดคล้องกับสมรรถนะทางพันธุกรรมของไก่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตตลอดจนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหาร (Zuidhof et al., 2017) นอกจากนี้ ปริมาณโภชนาที่เหมาะสมจะช่วยให้การขับถ่ายของเสียจากฟาร์มสู่สิ่งแวดล้อมลดลงและเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร (Zuidhof et al., 2020; Moss et al., 2021) อย่างไรก็ตาม ข้อมูลความต้องการโภชนาของไก่เหลืองหางขาวกบินทร์บุรีนั้นยังมีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความต้องการพลังงานสุทธิและโปรตีนสุทธิเพื่อการดำรงชีพและการเจริญเติบโตของไก่เหลืองหางขาวกบินทร์บุรี คณะแพทยศาสตร์ระยะแรกเกิดถึง 28 วัน

อุปกรณ์และวิธีการ

ดำเนินการทดลองที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์สระแก้ว อำเภอลองหาด จังหวัดสระแก้ว ระหว่างเดือนเมษายน 2562 ถึง กันยายน 2562 และวิเคราะห์ทางเคมีที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์นครราชสีมา อำเภอบำเหน็จณรงค์ จังหวัดนครราชสีมา และกลุ่มวิจัยและพัฒนาการวิเคราะห์อาหารสัตว์ อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี และประเมินความต้องการโภชนาของไก่โดยใช้วิธีการชำแหละซากเชิงเปรียบเทียบ (comparative slaughter technique) (Lofgreen and Garrett, 1968)

แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design) มี 4 ซ้ำ สิ่งทดลอง คือ ระดับการให้อาหาร 4 ระดับ ได้แก่ 1) ให้อาหารแบบเต็มที่ (*ad libitum*, AL) 2) ให้อาหารในระดับ 80 เปอร์เซ็นต์ของ AL (80%AL) 3) ให้อาหารในระดับ 60 เปอร์เซ็นต์ของ AL (60%AL) และ 4) ให้อาหารในระดับ 40 เปอร์เซ็นต์ของ AL (40%AL)

สัตว์ทดลองและการจัดการ

ไก่เหลืองหางขาวกบินทร์บุรี คณะแพทยศาสตร์ อายุ 1 วัน จำนวน 450 ตัว ไก่ได้รับวัคซีนตามโปรแกรมของกรมปศุสัตว์ จากนั้น สุ่มแบ่งไก่ออกเป็น 5 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มฐาน ใช้ลูกไก่จำนวน 30 ตัว แบ่งออกเป็น 10 กลุ่ม ๆ ละ 3 ตัว และใช้เป็นข้อมูลในการสร้างสมการถดถอยอย่างง่าย (simple linear regression) สำหรับใช้ทำนายน้ำหนักตัวและส่วนประกอบทางเคมีของไก่ทดลองอื่น ๆ ได้แก่ โปรตีนและพลังงาน ไก่กลุ่มนี้จะทำการศึกษาซากในวันแรกของการทดลอง

กลุ่มที่ 2 เป็นไก่ทดลองที่จะเลี้ยงโดยให้กินอาหารแบบเต็มที่ (*ad libitum*, AL) จำนวน 240 ตัว โดยจะสุ่มออกเป็น 4 กลุ่มย่อย ๆ ละ 60 ตัว จากนั้น จะสุ่มแบ่งไก่ในแต่ละกลุ่มย่อยออกเป็น 4 กลุ่ม (ซ้ำ) ๆ ละ 15 ตัว ทำการสุ่มไก่จากคอกย่อยสัปดาห์ละ 4 คอก เพื่อศึกษาซากสำหรับใช้ในการประเมินการสะสมโภชนาและใช้เป็นข้อมูลในการประเมินความต้องการโภชนาเพื่อการเจริญเติบโต

กลุ่มที่ 3 4 และ 5 จำนวนกลุ่มละ 60 ตัว (แบ่งไก่ในแต่ละกลุ่มย่อยออกเป็น 4 กลุ่ม (ซ้ำ) ๆ ละ 15 ตัว) โดยไก่ในกลุ่มที่ 3 4 และ 5 จะได้รับอาหารแบบจำกัดในระดับ 80 60 และ 40 เปอร์เซ็นต์ ของ AL ตามลำดับ ทำการศึกษาซากเพื่อประเมินการสะสมไขมันของไก่ทั้ง 3 กลุ่ม ในวันสุดท้ายของการเลี้ยงหรือเมื่อไก่อายุได้ 28 วัน และใช้เป็นข้อมูลในการประเมินความต้องการไขมันเพื่อการดำรงชีพ

เลี้ยงไก่แต่ละซ้ำในคอกย่อยขนาด 2 × 2 ตารางเมตร โดยมีรางอาหารและรางน้ำที่ไก่สามารถเข้ากินอาหารและน้ำสะอาดได้สะดวก

อาหารและการให้อาหาร

ประกอบสูตรอาหารสัตว์ที่มีคุณค่าทางโภชนาการเพียงพอสำหรับเลี้ยงไก่พื้นเมืองไทยอายุแรกเกิดถึง 28 วัน ตามคำแนะนำของเครือข่ายความร่วมมือด้านงานวิจัยสาขาโภชนาการศาสตร์สัตว์ (2560) สูตรอาหารและองค์ประกอบทางเคมีของอาหารสัตว์แสดงในตารางที่ 1

บันทึกปริมาณอาหารที่ไก่กินทุกวัน ปริมาณอาหารที่จะใช้เลี้ยงลูกไก่ในกลุ่มที่ได้รับอาหารแบบจำกัดจะคำนวณจากปริมาณอาหารเฉลี่ยที่ลูกไก่ในกลุ่มที่ได้รับอาหารแบบเต็มทีในวันก่อนหน้า 1 วัน สุ่มตัวอย่างอาหารสัตว์และวัตถุดิบอาหารสัตว์สำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

ตารางที่ 1 สูตรอาหารและองค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง

วัตถุดิบอาหารสัตว์	ร้อยละ
ข้าวโพดบด	55.00
กากถั่วเหลืองโปรตีนมากกว่าร้อยละ 44	33.45
ปลาป่นโปรตีนมากกว่าร้อยละ 65	3.00
รำละเอียด	2.00
น้ำมันถั่วเหลือง	3.00
กรดอะมิโนเมทไธโอนีน	0.15
เกลือ	0.20
ไดแคลเซียมฟอสเฟต พี 18	2.70
พรีมิกซ์ (วิตามิน+แร่ธาตุ)*	0.50
รวม	100
องค์ประกอบทางเคมี (%)	
วัตถุดิบแห้ง	89.91
โปรตีน	21.18
ไขมัน	6.00
เยื่อใย	1.61
แคลเซียม**	1.09
ฟอสฟอรัสทั้งหมด**	0.96
ฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้**	0.52
กรดอะมิโนไลซีน**	1.31
กรดอะมิโนเมทไธโอนีน**	0.54
กรดอะมิโนเมทไธโอนีน+ซิสทีน**	0.88
พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)**	3,000

* พรีมิกซ์ ส่วนประกอบใน 1 กก. ประกอบด้วย วิตามินเอ 2,000,000 หน่วยสากล วิตามินดี3 250,000 หน่วยสากล วิตามินอี 4000 หน่วยสากล วิตามินเค3 0.80 กรัม วิตามินบี1 0.83 กรัม วิตามินบี2 1.60 กรัม วิตามินบี6 1.81 กรัม วิตามินบี12 3.00 มิลลิกรัม โคเลีน 240 กรัม ไนอาซิน 12 กรัม กรดเพนโทธีนิก 5 กรัม แมกนีเซียม 5.34 กรัม แมงกานีส 24.80 กรัม เหล็ก 22.50 กรัม สังกะสี 18 กรัม ทองแดง 2.25 กรัม ซีลีเนียม 0.06 กรัม สารธรมคุณภาพอาหารสัตว์ 2.50 กรัม เติมน้ำจืด 1 กิโลกรัม

** ค่าจากการคำนวณ

การประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของอาหารสัตว์

ประเมินคุณค่าโภชนะของอาหารทดลอง โดยวิธี total collection ในช่วง 7 วันสุดท้ายของการทดลอง โดยสุ่มไก่จากคอก AL คอก 80%AL คอก 60%AL และคอก 40%AL มาคอกละ 2 ตัว เพื่อใช้เป็นตัวแทนในการศึกษาเพื่อประเมินคุณค่าทางโภชนะของอาหารสัตว์ เลี้ยงไก่ทดลองในคอกเมแทบอลิซึม (metabolism cage) นาน 7 วัน บันทึกปริมาณการกินอาหารและปริมาณมูล และสุ่มเก็บตัวอย่างอาหารสัตว์และตัวอย่างมูลติดต่อกัน ในช่วง 5 วันสุดท้ายของการทดลอง ในช่วงการเก็บมูลจะใช้กรดซัลฟูริกเข้มข้น 20% ฉีดพ่นบนมูลในถาดเก็บมูล จำนวน 10 มิลลิลิตรต่อวัน เพื่อการตรึงไนโตรเจนและหยุดการทำงานของจุลินทรีย์ โดยแบ่งออกเป็น 5 ครั้ง ๆ ละ 2 มิลลิลิตร นำตัวอย่างอาหารและมูลมาอบโดยใช้ตู้อบชนิดเป่าลมร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง จากนั้น นำไปบดผ่านตะแกรงที่มีรูขนาด 1 มิลลิเมตร สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ทางเคมี

ประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (metabolizable energy, ME) ของอาหารโดยใช้สมการดังนี้ $ME (kcal/kg DM) = (GEI - GEE)/DMI$ (Lammers et al., 2008) โดยที่ GEI (kcal/d) หมายถึง ปริมาณพลังงานรวมที่สัตว์กิน GEE (kcal/d) หมายถึง ปริมาณพลังงานรวมที่สัตว์ขับถ่าย และ DMI หมายถึง ปริมาณวัตถุดิบที่สัตว์กิน (kg/d)

ประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ไม่รวมพลังงานจากการกักเก็บไนโตรเจน (ME_n) โดยใช้สมการดังนี้ $ME_n (kcal/kg DM) = AME - [8.22 \times (NI - NEx)/DMI]$ (Lammers et al., 2008) โดยที่ NI (g/d) หมายถึง ปริมาณไนโตรเจนที่สัตว์กิน และ NEx (g/d) หมายถึง ปริมาณไนโตรเจนที่สัตว์ขับถ่าย และประเมินค่าพลังงานที่กินได้ (metabolizable energy intake, MEI) โดยใช้สมการ $MEI = ME_n \times DMI$ โดยที่ DMI หมายถึง ปริมาณวัตถุดิบที่ไก่กิน

การศึกษาซากและการสุ่มตัวอย่างซากไก่

ชั่งน้ำหนักก่อนฆ่า จากนั้น ฆ่าไก่โดยใช้วิธีการตีกระดูกข้อต่อระหว่างหัวและกระดูกคอ เปิดซากแล้วเอาเศษอาหารที่เหลืออยู่ในระบบทางเดินอาหารออกทั้งหมดจะได้น้ำหนักซากไม่รวมเศษอาหาร (empty bodyweight, EBW) นำซากไก่ทั้งหมดมาสับเป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วนำไปบดโดยใช้เครื่องบดที่มีรูขนาด 5 มิลลิเมตร จำนวน 3 รอบ สุ่มตัวอย่างซากไก่แล้วนำมาอบโดยใช้ตู้อบชนิดเป่าลมร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่ แล้วนำไปบดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ทางเคมี

การวิเคราะห์ทางเคมี

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างอาหารสัตว์ มูลและเนื้อเยื่อต่าง ๆ ของไก่ ได้แก่ วัตถุดิบ (dry matter, DM) โดยการอบด้วยตู้อบชนิด force-air oven ที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ตามวิธีที่ 930.15 (AOAC, 2016) วิเคราะห์หาโปรตีนด้วยการหาไนโตรเจนด้วยวิธี Kjeldahl แล้วใช้แฟกเตอร์ 6.25 ตามวิธีที่ 5983-2 (ISO, 2009) ไขมัน (ether extract, EE) โดยใช้ปิโตรเลียมอีเธอร์ตามวิธีที่ 2003.05 (AOAC, 2016) เถ้า (Ash) โดยเผาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ตามวิธีที่ 942.05 (AOAC, 2016) วิเคราะห์เยื่อใยหยาบ (crude fiber, CF) โดยใช้เครื่อง Fibertec ตามวิธี ISO 6865 (ISO, 2009) และวิเคราะห์ค่าพลังงานรวม (gross energy, GE) โดยเครื่อง automatic isoperibol calorimeter (6400; Parr, Molin, Illinois, USA) ตามวิธีของ DIN 51900-2 (2003-05)

ความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ

ประเมินค่า NE_m (ความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ; net energy requirement for maintenance) จากการศึกษาของ Lofgreen and Garrett (1968) และ Sakomura et al. (2005) โดยใช้สมการ exponential ดังนี้ $HP = \alpha \times e^{(\beta \times MEI)}$ โดยที่ ค่า e หมายถึง ค่า Euler's number (~2.718281) ส่วนค่า α และ β เป็นค่าคงที่ของสมการ และจะได้ความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (NE_m) เมื่อแทนค่า MEI ด้วย ศูนย์ ($MEI = 0$) หรือ การสูญเสียพลังงานความร้อนโดยที่สัตว์ไม่ได้กินอาหาร

ความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการเจริญเติบโต

ประเมินค่า NE_g (ความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการเจริญเติบโต; net energy requirement for growth) หรือพลังงานสุทธิสำหรับใช้ในการเพิ่มน้ำหนักตัวไม่รวมเศษอาหารในระบบทางเดินอาหาร (empty body weight gain, EBG) 1 กรัม โดยใช้เฉพาะข้อมูลจากไก่กลุ่มที่กินอาหารแบบเต็มที (AL) ทั้ง 5 ระยะ นำมาสร้างสมการ allometry (ARC, 1980) ดังนี้ $EY = \alpha \times EBW^\beta$ โดยที่ EY (energy yield) หมายถึง ปริมาณพลังงาน (kcal) ทั้งหมดในตัวไก่ และ EBW (empty body weight) หมายถึง น้ำหนักตัวไม่รวมเศษอาหารในระบบทางเดินอาหารของไก่ (กรัม) ส่วนค่า α และ β เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ การประเมินค่า NE_g ที่น้ำหนักตัว (EBW) ต่าง ๆ ของไก่โดยใช้อนุพันธ์ลำดับที่ 1 (1^{st} derivatives) ของสมการ allometry จะได้สมการดังนี้ NE_g (Mcal/g EBG) = $\alpha \times \beta \times EBW^{(\beta-1)}$ (Lofgreen and Garrett, 1968; ARC, 1980)

คำนวณปริมาณการผลิตพลังงานความร้อน (heat production, HP, kcal/kg $EBW^{0.75}/d$) โดยใช้สมการของ Lofgreen and Garrett, (1968) ดังนี้ $HP = MEI - RE$ โดยที่ RE (retained energy) หมายถึง ปริมาณการสะสมพลังงานในร่างกายของสัตว์ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยการหักลบปริมาณพลังงานในร่างกายสัตว์เมื่อเริ่มต้นการทดลองออกจากปริมาณพลังงานในร่างกายสัตว์เมื่อสิ้นสุดการทดลองในแต่ละช่วง

ประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพื่อการดำรงชีพ (K_m)

คำนวณประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพื่อการดำรงชีพ (K_m) ได้ดังนี้ $K_m = NE_m/ME_m$ (ARC, 1980) โดย ME_m (ความต้องการพลังงานใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ) โดยใช้สมการ $HP = \alpha \times e^{(\beta \times MEI)}$ และจะได้ค่า ME_m ก็ต่อเมื่อดุลสมการจนค่า $HP = MEI$ (Lofgreen and Garrett, 1968; Sakomura et al. 2005)

ประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพื่อการเจริญเติบโต (K_g)

ประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพื่อการเจริญเติบโต ซึ่งได้จากค่าความชัน (slope) ของสมการถดถอยอย่างง่ายระหว่างปริมาณการกินพลังงานใช้ประโยชน์ได้เพื่อการเจริญเติบโต (MEI_g , kcal/kg $EBW^{0.75}/d$) [โดยที่ MEI_g (kcal/kg $EBW^{0.75}/d$) = MEI (kcal/kg $EBW^{0.75}/d$) - ME_m (kcal/kg $EBW^{0.75}/d$)] และอัตราการกักเก็บพลังงานในร่างกาย (RE , kcal/kg $EBW^{0.75}/d$) จากการแนะนำของ Tedeschi et al. (2002)

โปรตีนสุทธิเพื่อการดำรงชีพ

ประเมินค่า NP_m (net protein requirement for maintenance; ความต้องการโปรตีนสุทธิเพื่อการดำรงชีพ) โดยใช้สมการเลขชี้กำลังระหว่างปริมาณการกินไนโตรเจน (nitrogen intake, NI, g/kg $EBW^{0.75}/d$) หรือไนโตรเจนที่กิน (nitrogen intake) และปริมาณการสูญเสียไนโตรเจน (nitrogen loss, NL, g/kg $EBW^{0.75}/d$) โดยที่ค่า NL หมายถึง ปริมาณไนโตรเจนที่มีสูญเสียออกจากร่างกาย ($NL = NI - NR$) ดังต่อไปนี้ $NL = \alpha \times e^{(\beta \times NI)}$ โดยที่ ค่า e หมายถึง ค่า Euler's number (~2.718281) ส่วนค่า α และ β เป็นค่าคงที่ของสมการ ทั้งนี้ ค่า α หมายถึง ปริมาณไนโตรเจนที่ขับออกเมื่อค่า $NI = 0$ หรือ หมายถึง ความต้องการไนโตรเจนสุทธิเพื่อการดำรงชีพแล้วคูณด้วยแฟกเตอร์ 6.25 จะได้ค่าความต้องการโปรตีนสุทธิเพื่อการดำรงชีพ

โปรตีนสุทธิเพื่อการเจริญเติบโต

ประเมินค่า NP_g (net protein requirement for growth) หรือโปรตีนสุทธิสำหรับการเพิ่มน้ำหนักตัวไม่รวมเศษอาหาร (empty body weight gain, EBG) จำนวน 1 กรัม โดยใช้เฉพาะข้อมูลจากไก่ กลุ่มที่กินอาหารแบบเต็มทีทั้ง 5 ระยะ สำหรับใช้ในการสร้างสมการ allometry (Lofgreen and Garrett, 1968; ARC, 1980) ดังนี้ $EP = \alpha \times EBW^\beta$ โดยที่ EP หมายถึง ปริมาณโปรตีน (กรัม) และ EBW หมายถึง น้ำหนักตัวไม่รวมเศษอาหารในระบบทางเดินอาหารของไก่ (กรัม) ส่วนค่า α และ β เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ

ประเมินการกักเก็บไนโตรเจน (nitrogen retention, NR, g/kg BW^{0.75}/d) โดยใช้ปริมาณไนโตรเจนในตัวไก่เมื่อเริ่มต้นการทดลอง (g/kg BW^{0.75}) หักลบออกจากปริมาณไนโตรเจนในตัวไก่เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (g/kg BW^{0.75})

ประเมินค่า NP_g ที่น้ำหนักตัว (EBW) ต่าง ๆ ของไก่โดยใช้สูตรอันดับที่ 1 ของสมการ allometry ได้สมการดังนี้ NP_g (g/kg EBG) = $\alpha \times \beta \times EBW^{(\beta-1)}$ (Lofgreen and Garrett, 1968; ARC, 1980)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

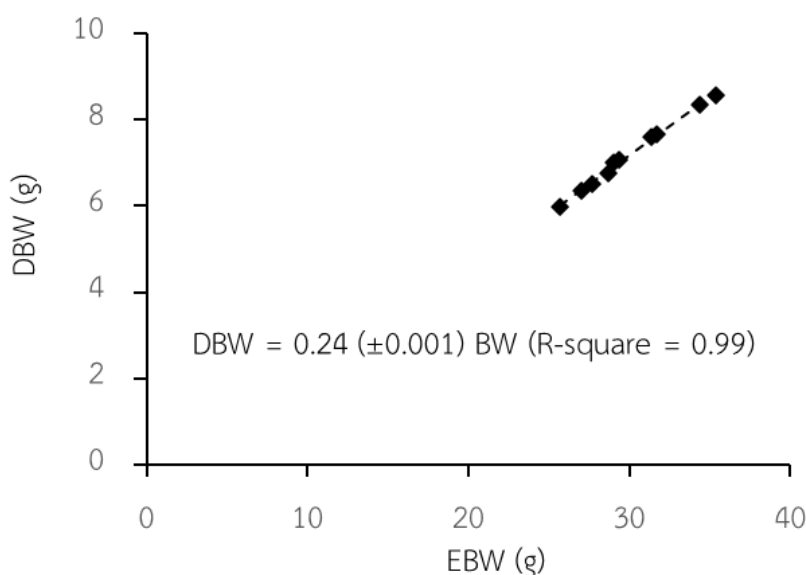
วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มทดลองโดยวิธี Duncan's new multiple range test (Steel and Torries, 1980) ส่วนน้ำหนักตัว น้ำหนักตัวไม่รวมเศษอาหาร องค์ประกอบทางเคมีและพลังงานของไก่กลุ่มฐาน นำมาใช้สร้างสมการถดถอยอย่างง่าย (simple linear regression) สำหรับใช้ในประเมินน้ำหนักตัวไม่รวมเศษอาหารในระบบทางเดินอาหารและพลังงานในซากไก่ทดลอง

ผลการทดลองและวิจารณ์

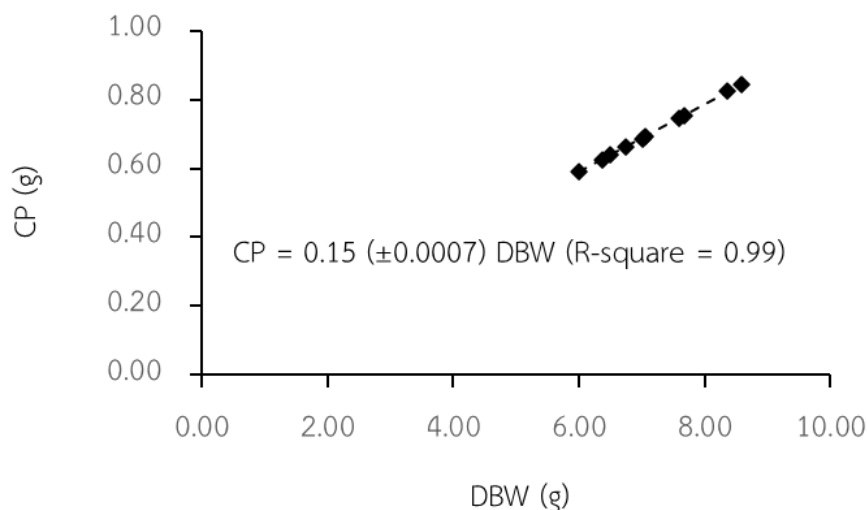
ไก่ทดลองกลุ่มฐาน

ไก่อกลุ่มฐานมีน้ำหนักตัวมีชีวิตเท่ากับ 30.00 ± 3.13 กรัม คิกเป็นน้ำหนักแห้ง 7.24 ± 0.95 กรัม และมีโปรตีน 4.43 ± 0.59 กรัม ไขมัน 1.79 ± 0.20 กรัม เถ้า 0.56 ± 0.06 กรัม และมีพลังงาน 41.08 ± 5.43 กิโลแคลอรี น้ำหนักตัวมีชีวิตแรกเกิดของไก่ทดลองนี้อยู่ในช่วงน้ำหนักตัวปกติของไก่เหลืองหางขาวบินทร์บุรีซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 29-34 กรัม (สุรศักดิ์และธีระชัย, 2561)

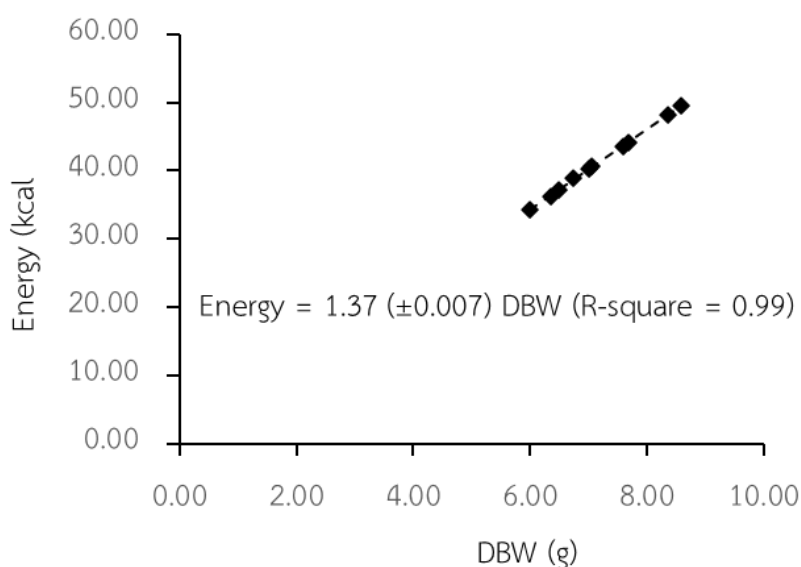
ข้อมูลของไก่อกลุ่มฐานเป็นสมการถดถอยอย่างง่ายสำหรับใช้ทำนายลักษณะต่าง ๆ ของไก่ทดลองได้อย่างมีนัยสำคัญ เช่น น้ำหนักแห้ง (ภาพที่ 1) ปริมาณโปรตีน (ภาพที่ 2) และปริมาณพลังงาน (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักตัวไม่รวมเศษอาหาร (EBW) และน้ำหนักแห้ง (DBW)



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้ง (DBW) และน้ำหนักโปรตีน (CP)



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้ง (DBW) และปริมาณพลังงาน (Energy)

สมรรถนะการผลิตของไก่เหลืองหางขาวกบินทร์บุรี

สมรรถนะการผลิตของไก่เหลืองหางขาวกบินทร์บุรี ได้แก่ น้ำหนักสิ้นสุด อัตราการเจริญเติบโต และปริมาณการกินอาหารลดลง ($p < 0.05$) ตามระดับการจำกัดอาหารที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 2) โดยไก่ที่ได้รับอาหารเต็มที่ (AL) มีอัตราการเจริญเติบโตไม่แตกต่าง ($p > 0.05$) กับไก่ที่ได้รับอาหาร 80%AL แต่สูงกว่า ($p < 0.05$) ไก่ที่ได้รับระดับการให้อาหาร 60%AL และ 40%AL

วัฒนา และคณะ (2560) รายงานว่า สมรรถนะการเจริญเติบโตของไก่เหลืองหางขาวมีความแตกต่างกันมากขึ้นอยู่กับคุณภาพอาหารสัตว์ รูปแบบการเลี้ยงและสภาพแวดล้อม โดยไก่ในช่วงอายุนี้อัตราการเจริญเติบโตได้ถึง 10 กรัมต่อวัน อย่างไรก็ตาม อัตราการเจริญเติบโตของไก่เหลืองหางขาวกลุ่มที่ได้รับอาหารแบบเต็มที่จากการทดลองนี้ค่อนข้างต่ำโดยมีอัตราการเจริญเติบโตเพียง 2.37 กรัมต่อวัน เท่านั้น

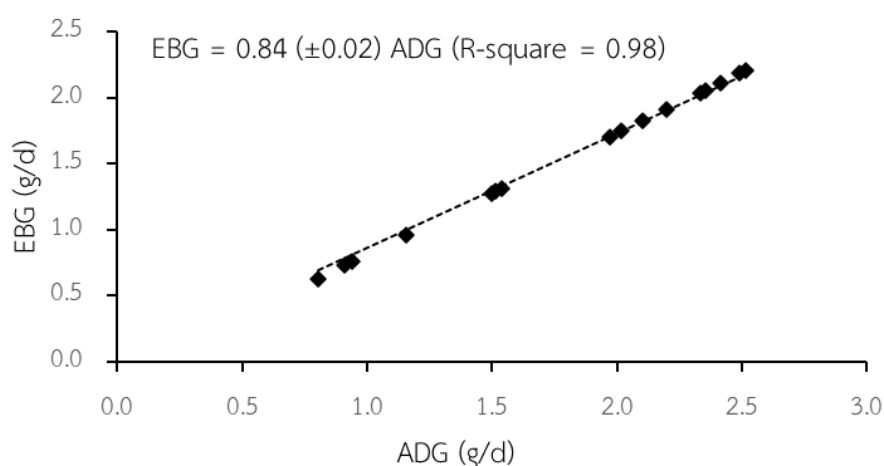
ตารางที่ 2 สมรรถนะการผลิต ปริมาณการกินและสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของอาหารสัตว์ของไก่เหลืองหางขาว กบินทร์บุรี อายุ 1 – 28 วัน ที่ได้รับอาหารในปริมาณแตกต่างกัน

รายการ	ระดับการให้อาหาร				SEM	p-value
	AL	80%AL	60%AL	40%AL		
น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)	30.03	30.95	29.91	30.87	0.24	-
น้ำหนักสิ้นสุด (กรัม)	96.39 ^a	91.66 ^a	75.86 ^b	57.67 ^c	2.79	<0.0001
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน)	2.37 ^a	2.17 ^a	1.64 ^b	0.96 ^c	0.10	<0.0001
ปริมาณการกิน						
- วัตถุดิบ (กรัม/kg EBW ^{0.75} /วัน)	40.70 ^a	32.62 ^b	28.75 ^c	22.14 ^d	0.53	<0.0001
- โปรตีน (กรัม/kg EBW ^{0.75} /วัน)	7.25 ^a	5.83 ^b	5.14 ^c	3.95 ^d	0.09	<0.0001
- พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (kcal/kg EBW ^{0.75} /วัน)	576.21 ^a	425.14 ^b	392.29 ^c	297.22 ^d	7.19	<0.0001

SEM=standard error of the means; ตัวอักษร ^{a, b, c} ที่กำกับค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันแตกต่างกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างทางสถิติ (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

อาหารที่ใช้มีค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ไม่รวมค่าพลังงานจากการสะสมไนโตรเจน (ME_n) เฉลี่ยเท่ากับ 3,243 kcal/kg DM ซึ่งสูงกว่าที่คำนวณไว้

อัตราการเพิ่มน้ำหนักตัวไม่รวมเศษอาหารของไก่เหลืองหางขาวกบินทร์บุรีคิดเป็น 84 เปอร์เซ็นต์ของ อัตราการเจริญเติบโต (ภาพที่ 4)

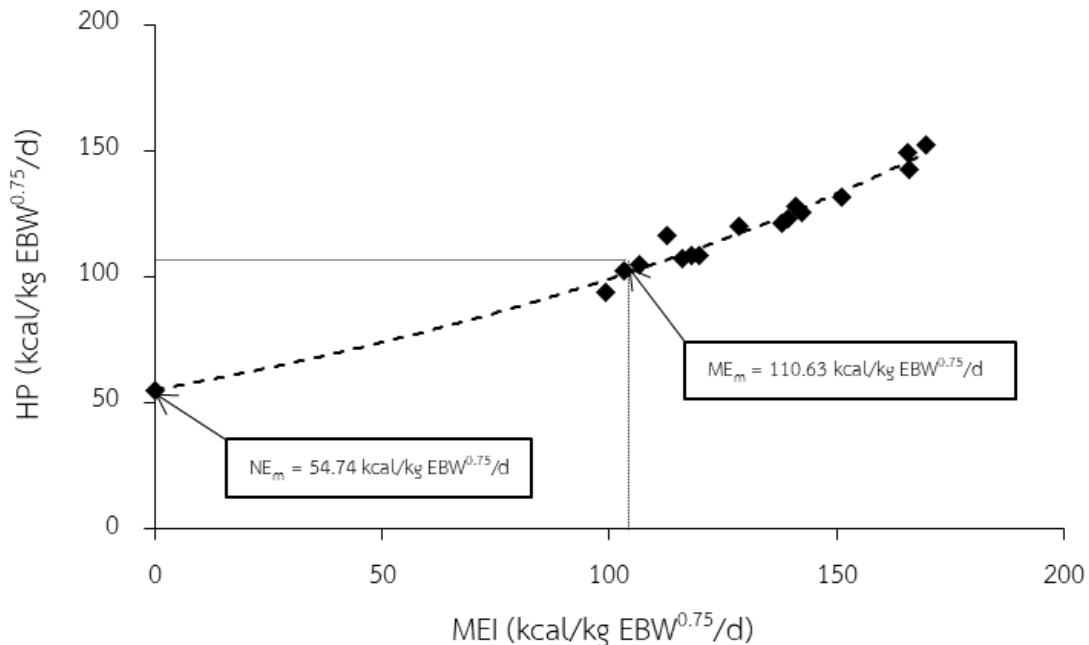


ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโต (ADG) และอัตราการเพิ่มน้ำหนักตัวไม่รวมเศษอาหาร (EBG) ของไก่ทดลอง

ความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (NE_m)

ค่า NE_m ของไก่เท่ากับ 54.74 kcal/kg EBW^{0.75}/d (ภาพที่ 5) สำหรับความต้องการพลังงานใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ (ME_m) ของไก่มีค่าเท่ากับ 110.63 kcal/kg EBW^{0.75}/d ซึ่งได้จากการคูณสมการ $HP = \alpha \times e^{(\beta \times MEI)}$ และจะได้ค่า ME_m ก็ต่อเมื่อค่า $HP = MEI$ ดังนั้น ค่า K_m หรือค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพื่อการดำรงชีพ ($K_m = NE_m/ME_m$) เท่ากับ 0.49

ความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพของสัตว์ปีกจะมีความแตกต่างกันไปตาม พันธุ์ เพศ ช่วงอายุ และการให้ผลผลิต อย่างไรก็ตาม ค่า NE_m และค่า K_m ของไก่เหลืองหางขาวระยะแรกเกิด - 28 วัน ที่ได้จากการทดลองนี้มีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับไก่เบตงอายุ 28-56 วัน เพศผู้ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 79.69 และ 0.56 ตามลำดับ และไก่เบตงเพศเมีย มีค่าเท่ากับ 75.26 และ 0.57 ตามลำดับ (อานุภาพ และคณะ 2564) และต่ำกว่าของไก่เนื้อพันธุ์ Arbor Acres อายุ 15 - 21 วัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 110.42 และ 0.75 ตามลำดับ (Liu et al., 2017)



ภาพที่ 5 แสดงการประเมินค่า NE_m และค่า ME_m โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการกินพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (MEI) และการผลิตพลังงานความร้อน (HP) เป็นสมการเลขชี้กำลังดังนี้ $HP = 54.74 (\pm 1.79) \times e^{(0.0061 (\pm 0.0001) \times MEI)}$ ($R^2 = 0.99$) เมื่อค่าพลังงานความร้อนที่สัตว์ผลิตขึ้นเมื่อค่า $MEI = 0$ จะได้ค่า $NE_m = 54.74$ kcal/kg $EBW^{0.75}/d$ การประเมินค่า ME_m โดยใช้สมการ $HP = \alpha \times e^{(\beta \times MEI)}$ จะได้ค่า ME_m ก็ต่อเมื่อค่า $HP = MEI$ ซึ่งจะได้ค่า $ME_m = 110.63$ kcal/kg $EBW^{0.75}/d$

ความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการเจริญเติบโต (NE_g)

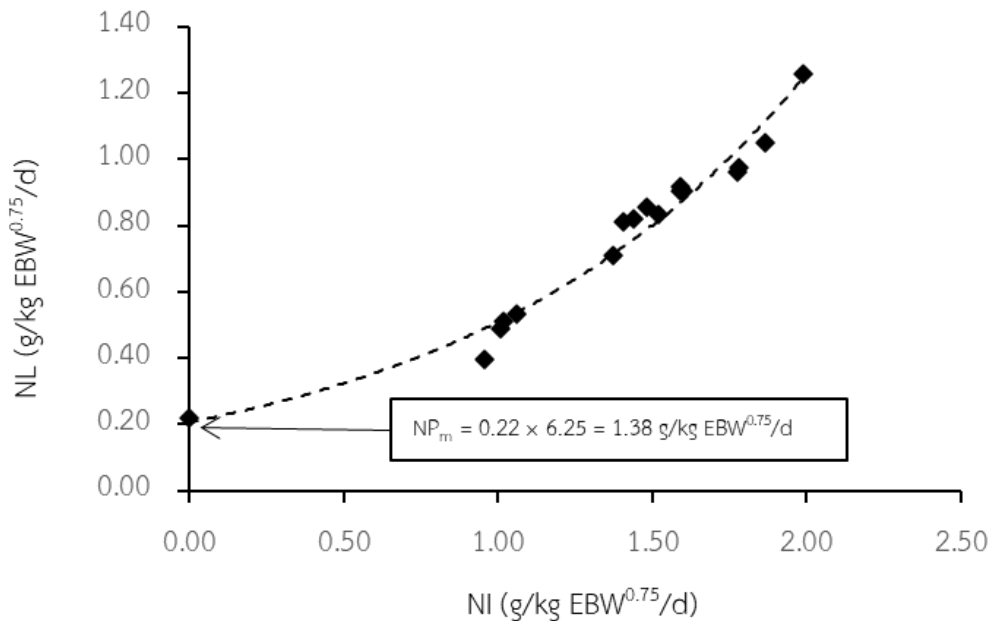
สมการ allometry ระหว่างน้ำหนักตัวไม่รวมเศษอาหาร (EBW) และปริมาณพลังงานในร่างกาย (Energy yield) ของไก่เบตงเป็นสมการดังนี้ $Energy\ yield = 1.33 (\pm 0.15) \times EBW^{0.96 (\pm 0.04)}$ ($R^2 = 0.96$) ดังนั้น สมการสำหรับประเมินความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการเจริญเติบโตเป็นดังนี้ NE_g (kcal/g EBG) = $1.27 \times EBW^{-0.04}$ โดยไก่ทดลองที่มีน้ำหนักตัว 30 - 110 กรัม จะมีค่า NE_g ลดลงตามน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น

ประเมินค่า K_g (ค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพื่อการเจริญเติบโต) ซึ่งได้จากค่าความชัน (slope) ของสมการถดถอยอย่างง่ายระหว่างปริมาณการกินพลังงานใช้ประโยชน์ได้เพื่อการเจริญเติบโต (MEI_g , kcal/kg $EBW^{0.75}/d$) [โดยที่ MEI_g (kcal/kg $EBW^{0.75}/d$) = MEI (kcal/kg $EBW^{0.75}/d$) - ME_m (kcal/kg $EBW^{0.75}/d$)] โดยสมการถดถอยอย่างง่ายดังนี้ $RE = 0.31 (\pm 0.03) \times MEI_g$ ($R^2 = 0.91$) จึงได้ค่า $K_g = 0.31$ ซึ่งสูงกว่าไก่เบตง เพศผู้ อายุ 28-56 วัน ($K_g = 0.22$) และไก่เบตง เพศเมีย อายุ 28-56 วัน ($K_g = 0.15$) (อานุภาพ และคณะ, 2564)

ความต้องการโปรตีนสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (NP_m)

ไก่เหลืองหางขาวมีค่า NP_m เท่ากับ 1.38 g/kg $EBW^{0.75}/d$ (ภาพที่ 6) ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่า NP_m ของไก่ เบตง เพศผู้และเพศเมีย อายุ 28-56 วัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.40 และ 4.75 g/kg $EBW^{0.75}/d$ (อานุภาพ และคณะ, 2564)

ทั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างของสายพันธุ์ เพศ อายุ และระยะการเจริญเติบโต ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญทำให้ไม่มีความต้องการโภชนาการแตกต่างกัน (Sakomura, 2004)



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการกินไนโตรเจนที่ย่อยได้ (NI) และอัตราการสูญเสียไนโตรเจน (NL) เป็นสมการเลขชี้กำลังดังนี้ $NL = 0.22 (\pm 0.03) \times e^{(0.88 (\pm 0.06) \times NI)}$ ($R^2 = 0.95$)

ความต้องการโปรตีนสุทธิเพื่อการเจริญเติบโต (NP_g)

สมการ allometry ระหว่างปริมาณโปรตีน (Protein yield) และน้ำหนักตัวไม่รวมเศษอาหาร (EBW) ของไก่เป็นดังนี้ ได้ค่า $Protein\ yield = 0.20 (\pm 0.02) \times EBW^{1.04(\pm 0.04)}$ ($R^2 = 0.95$) ดังนั้น สมการสำหรับใช้ประเมินค่าประเมินความต้องการโปรตีนสุทธิเพื่อการเจริญเติบโต (NP_g) หรือ ความต้องการโปรตีนสุทธิเพื่อเพิ่มน้ำหนักตัวไม่รวมเศษอาหาร (Empty bodyweight gain, EBG) 1 กรัม เป็นดังนี้ $NP_g\ (g/g\ EBG) = 0.21 \times EBW^{0.04}$

ความต้องการพลังงานและโปรตีนของไก่เหลืองหางขาวบินทร์บุรี

จากผลการทดลองครั้งนี้ ไก่เหลืองหางขาวบินทร์บุรี คณะแพศ ระยะแรกเกิดถึง 28 วัน มีค่า NE_m เท่ากับ $54.74\ kcal/kg\ EBW^{0.75}/d$ และมีสมการสำหรับใช้ในประเมินความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการเจริญเติบโตดังนี้ $NE_g\ (kcal/g\ EBG) = 1.27 \times EBW^{-0.04}$ นอกจากนี้ ค่า NP_m เท่ากับ $1.38\ g/kg\ EBW^{0.75}/d$ และมีสมการสำหรับใช้ในการประเมินความต้องการโปรตีนสุทธิเพื่อการเจริญเติบโตดังนี้ $NP_g\ (g/g\ EBG) = 0.21 \times EBW^{0.04}$ ดังนั้น ความต้องการพลังงานสุทธิและความต้องการโปรตีนสุทธิสำหรับไก่เหลืองหางขาวบินทร์บุรี คณะแพศ อายุแรกเกิดถึง 28 วัน ที่มีน้ำหนักตัวและอัตราการเจริญเติบโตต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ความต้องการพลังงานสุทธิและโปรตีนสุทธิของไก่เหลืองหางขาวกบินทร์บุรีอายุแรกเกิดถึง 28 วัน ที่มีน้ำหนักตัวและอัตราการเจริญเติบโตในระดับต่าง ๆ

BW (g) ADG (g/d)	NE (kcal/d)				NP (g/d)			
	0	2	4	6	0	2	4	6
30	5.53	8.84	11.86	14.88	0.09	0.49	0.87	1.26
40	9.29	12.72	15.66	18.60	0.12	0.51	0.90	1.29
50	12.60	16.15	19.04	21.93	0.14	0.54	0.93	1.33
60	15.63	19.31	22.17	25.03	0.16	0.56	0.96	1.36
70	18.48	22.28	25.11	27.95	0.18	0.59	0.99	1.38
80	21.18	25.11	27.92	30.74	0.20	0.61	1.01	1.41
90	23.78	27.83	30.62	33.42	0.22	0.63	1.03	1.44
100	26.28	30.45	33.23	36.01	0.23	0.65	1.05	1.46
110	28.71	32.99	35.76	38.52	0.25	0.67	1.08	1.48

BW = Bodyweight, ADG = Average daily gain, NE = Net energy requirement, NP = Net protein requirement

สรุปผลการทดลอง

การศึกษาเพื่อประเมินความต้องการพลังงานสุทธิและโปรตีนสุทธิเพื่อการดำรงชีพของไก่เหลืองหางขาวกบินทร์บุรี คณะเพศ อายุแรกเกิดถึง 28 วัน สรุปผลได้ดังนี้ ไก่มีความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพมีค่าเท่ากับ $54.74 \text{ kcal/kg EBW}^{0.75}/\text{d}$ และโปรตีนสุทธิเพื่อการดำรงชีพมีค่าเท่ากับ $1.38 \text{ g/kg EBW}^{0.75}/\text{d}$ โดยมีค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพื่อการดำรงชีพ (K_m) เท่ากับ 0.49 และสมการสำหรับใช้ในการประเมินความต้องการพลังงานสุทธิและโปรตีนสุทธิเพื่อการเจริญเติบโตของไก่ที่มีน้ำหนักตัวอยู่ระหว่าง 30 – 110 กรัม เป็นดังนี้ $NE_g (\text{kcal/g EBG}) = 1.27 \times \text{EBW}^{-0.04}$ และ $NP_g (\text{g/g EBG}) = 0.21 \times \text{EBW}^{0.04}$ ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพื่อการเจริญเติบโต (K_g) เท่ากับ 0.31

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณผู้อำนวยการสำนักพัฒนาอาหารสัตว์ กลุ่มวิจัยและพัฒนาการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ที่อำนวยความสะดวกในการดำเนินงานและการวิเคราะห์ตัวอย่างทางเคมี ขอขอบคุณผู้อำนวยการและเจ้าหน้าที่ของศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์สระแก้วที่ช่วยให้การศึกษาวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

เครือข่ายความร่วมมือด้านงานวิจัยสาขาโภชนศาสตร์สัตว์. 2560. ฐานข้อมูลคุณค่าทางโภชนาของวัตถุดิบและความต้องการโภชนาที่แนะนำสำหรับสัตว์ปีกในประเทศไทย.

- วัฒนา เหล่าทอง บุญศักดิ์ เกลียวกมลทัต ตรุณี โสภา และธีระชัย ช่อไม้. 2560. ศึกษาสมรรถภาพการผลิต ลักษณะซากของไก่พื้นเมืองพันธุ์เหลืองหางขาวกบินทร์ ภายใต้สภาพการเลี้ยง ของเกษตรกรฟาร์ม เครือข่ายในเขตภาคเหนือตอนล่าง. แหล่งที่มา: http://e-journal.dld.go.th/?page_id=2795. วันที่ค้น 23 มกราคม 2565.
- สำนักพัฒนาพันธุ์สัตว์. 2557. การขึ้นทะเบียนพันธุ์สัตว์. สัตว์ปีก. ไก่เหลืองหางขาวกบินทร์. แหล่งที่มา <http://breeding.dld.go.th/th/index.php/2018-05-16-07-31-15/2018-05-16-07-48-06/2018-05-16-07-58-49/670-2018-05-21-08-36-47>. วันที่ค้น 16 มกราคม 2562.
- สุรศักดิ์ โสภณจิตร และธีระชัย ช่อไม้. 2561. สมรรถภาพการผลิตของไก่พื้นเมืองไทยพันธุ์เหลืองหางขาวกบินทร์ ในสภาพฟาร์มรัฐบาลและเกษตรกรรายย่อย ในจังหวัดฉะเชิงเทรา. แหล่งที่มา: <http://e-journal.dld.go.th/?p=3134>. วันที่ค้น 23 มกราคม 2565.
- อานุภาพ เสี่ยงสาย ขบวน อินทร์รักษ์ จีระศักดิ์ ขอบแตง พินิจ สวัสดิ์รักษา สดุดี พงษ์เพียจันทร์. 2564. ความ ต้องการพลังงานและโปรตีนเพื่อการดำรงชีพและการเจริญเติบโตของไก่เบตง อายุ 28-56 วัน. เอกสาร รอการเผยแพร่.
- AOAC. 2016. Official Methods of Analysis. 20th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC, USA.
- ARC. 1980. The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock. Commonwealth Agricultural Bureaux, Slough.
- ISO.2009. ISO 5983-2: 2009. Animal feeding stuffs-Determination of nitrogen content and calculation of crude protein content-Part 2: block digestion and steam distillation method.
- Lammers, P.J., B.J. Kerr, M.S. Honeyman, K. Stalder, W.A. Dozier III, T.E. Weber, M.T. Kidd, and K. Bregendahl. 2008. Nitrogen-corrected apparent metabolizable energy value of crude glycerol for laying hens. Poult. Sci. 87: 104-107.
- Liu, W., C. H. Lin, Z. K. Wu, G. H. Liu, H. J. Yan, H. M. Yang, and H.Y. Cai. 2017. Estimation of the net energy requirement for maintenance in broilers. Asian-Australas J Anim Sci. 30: 849–856.
- Lofgreen, G., and W. Garrett. 1968. A system for expressing net energy requirements and feed values for growing and finishing beef cattle. J. Anim. Sci. 27: 793-806.
- Moss, A.F., Peter V. Chrystal, David J. Cadogan, Stuart J. Wilkinson, Tamsyn M. Crowley, and Mingan Choct. Precision feeding and precision nutrition: a paradigm shift in broiler feed formulation. Anim Biosci. 34: 354-362.
- Sakomura, N.K. 2004. Modeling energy utilization in broiler breeders, laying hens and broilers. Braz. J. Poult. Sci. 6: 1-11.
- Sakomura, N.K., F.A. Longo. E.O. Oviedo-Rondon, C. Boa-Viagem and A. Ferraudo. 2005. Modeling energy utilization and growth parameter description for broiler chickens. Poult. Sci. 84: 1363-1369.
- Steel, R.D.G., and J.H. Torrie. 1980. Principles and procedures of statistics. A Biometrical Approach. McGraw-Hill Book Co., New York, USA.

- Tedeschi, L.O., C. Boin, D.G. Fox, P.R. Leme, G.F. Alleoni, and D.P.d. Lanna. 2002. Energy requirement for maintenance and growth of Nellore bulls and steers fed high-forage diets. *J. Anim. Sci.* 80: 1671-1682.
- Zuidhof, M.J. 2020. Precision livestock feeding: matching nutrient supply with nutrient requirements of individual animals. *J. Appl. Poult. Res.* 29: 11–14.
- Zuidhof, M.J., M. V. Fedorak, C. A. Ouellette, and I. I. Wenger 2017. Precision feeding: Innovative management of broiler breeder feed intake and flock uniformity. *Poul. Sci.* 96: 2254-2263.