

ผลของการเสริมบีเทนแอนไฮดรัสในน้ำดื่มของไก่เนื้อต่อสมรรถภาพการผลิต การย่อยได้ของโภชนา ลักษณะเลือด ลักษณะซาก และคุณภาพเนื้อ

Effects of Betaine Anhydrous Supplementation in Drinking Water of Broiler on Performance, Digestibility, Blood Characteristics, Carcass Traits and Quality Meat

มนัสนันท์ นพรัตน์ไมตรี^{1*} ศักดา ประจักษ์บุญเจษฎา^{2/} ทับทิมทิพย์ อินกอง^{1/}

ชลธิชา ดวงดี^{1/} และ วรangkan กิจพิพิธ^{1/}

Manatsanun Nopparatmaitree^{1*}, Sakda Prajukboonjatsada^{2/}, Thabthimthip Inkong^{1/},

Chonticha Duongdee^{1/} and Warangkana Kitpipit^{1/}

^{1/}คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี ต. สามพระยา อ. ชะอำ จ. เพชรบุรี 76120

^{1/}Faculty of Animal Science and Agricultural Technology, Silpakorn University, Phetchaburi IT Campus, Sam Phraya, Cha-am, Phetchaburi 76120, Thailand

^{2/}ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์เพชรบุรี ต. สามพระยา อ. ชะอำ จ. เพชรบุรี 76120

^{2/}Phetchaburi Animal Research and Development Center, Sam Phraya, Cha-am, Phetchaburi 76120, Thailand

*Corresponding author: Email: Nopparatmaitree_m@su.ac.th or Nopparatmaitree_m@silpakorn.edu

(Received: 24 June 2016; Accepted: 4 October 2016)

Abstract: The experiment was conduct to determine the effects of betaine anhydrous supplementation in drinking water of broiler chickens on productive performance, apparent nutrient digestibility, blood parameter, carcass trait, and quality and nutritive value in meat. Two hundred (Ross 308[®]) 1 day old of broiler chicks were randomly divided into 2 treatments (5 replications per treatment) with 20 chicks per experimental unit. Betaine anhydrous at 0 and 2 g/l has been added to drinking water. Diets and drinking water was offered ad libitum. The results of this study showed that betaine anhydrous supplementation at 2 g/l affect to feed conversion ratio (1.95 vs 1.73). Betaine increase to feed efficiency per day (0.51 vs 0.58) and index performance (256.60 vs 332.36) different to control group ($P<0.05$) but does not affect the others productive performance ($P>0.05$). Including not significantly affect the apparent nutrient digestibility and carcass percentage, cutting percentage and physical meat quality ($P>0.05$) when compared with the control. But supplementation betaine anhydrous as a lowering number of white blood cells (white blood count), the lymphocyte increase and H/L ratio, ether extract in meat, cholesterol in meat, saturated fatty acid in meat decreased statistically different ($P<0.05$). In conclusion, supplementation levels of betaine anhydrous at 2 g/l can increase feed conversion ratio, H/L ratio decrease, lower feed cost, increase earnings and increase economic return than control group.

Keywords: Betaine anhydrous, broiler, carcass, digestibility, meat quality, productive performance

บทคัดย่อ: การศึกษาผลของการเสริมบีเทนแอนไฮดรส์ในน้ำดื่มของไก่เนื้อต่อสมรรถภาพการผลิต การย่อยได้ของโภชนา ลักษณะเลือด ลักษณะซาก คุณภาพและคุณค่าทางโภชนาในเนื้อ โดยใช้ไก่เนื้อพันธุ์ Ross 308® จำนวน 200 ตัว วางแผนการทดลองสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design: CRD) จำนวน 2 กลุ่ม ๆ ละ 5 คอก ๆ ละ 20 ตัว ให้ได้รับน้ำดื่มสะอาด (ควบคุม) และเสริมบีเทนแอนไฮดรส์ที่ระดับ 2 กรัมต่อลิตร โดยไก่เนื้อได้รับน้ำและอาหารอย่างเต็มที่ ผลการทดลองพบว่า การเสริมบีเทนแอนไฮดรส์ในน้ำดื่มของไก่เนื้อที่ระดับ 2 กรัมต่อลิตร ช่วยปรับปรุงอัตราแลกเนื้อ (1.95 vs 1.73) เพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหารต่อวัน (0.51 vs 0.58) และ ดัชนีประสิทธิภาพการผลิต (256.60 vs 332.36) ($P<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิตด้านอื่น การย่อยได้ของโภชนา เเปอร์เซ็นต์ซาก เเปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วน รวมถึง คุณภาพทางกายภาพของเนื้อไก่ ($P>0.05$) อย่างไรก็ตามการเสริมบีเทนแอนไฮดรส์ในน้ำดื่มของไก่เนื้อมีผลช่วยทำให้ จำนวนของเม็ดเลือดขาว (white blood count) ค่าเม็ดเลือดขาวชนิด lymphocyte เพิ่มขึ้น และอัตราส่วนเม็ดเลือดขาว heterophil ต่อ lymphocyte (H/L ratio) ลดลง ($P<0.05$) รวมถึงสามารถลดปริมาณไขมันรวม คอเลสเตอรอล กรดไขมัน อิ่มตัวในเนื้อไก่เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม การศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าการเสริมบีเทนแอนไฮดรส์ในน้ำดื่มของไก่เนื้อที่ ระดับ 2 กรัมต่อลิตรสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว ลดค่า H/L และลดต้นทุนค่าอาหาร เพิ่มผลกำไรต่อตัวและผลตอบแทนจากการลงทุนที่สูงกว่าไก่เนื้อกลุ่มควบคุม

คำสำคัญ: การย่อยได้ ไก่เนื้อ คุณภาพเนื้อ ซาก บีเทนแอนไฮดรส์ สมรรถภาพการผลิต

คำนำ

ไก่เนื้อเป็นสัตว์เศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ ในปี พ.ศ. 2557 ปริมาณการส่งออกเนื้อไก่ของประเทศ ไทยเท่ากับ 570,000 ตัน คิดเป็นมูลค่า 77,700 ล้านบาท ซึ่งเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับปี พ.ศ.2556 ที่มี ปริมาณการส่งออกเท่ากับ 504,406 ตัน คิดเป็นมูลค่า 66,805 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2557) โดยประเทศไทยจัดเป็นผู้ผลิตไก่เนื้อส่งออกราย ใหญ่ของโลก หากแต่ประเทศไทยมีที่ตั้งในแถบเส้นสูตร ศูนย์ที่มีสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ซึ่งเป็นข้อด้อย ทางสิ่งแวดล้อมที่สำคัญต่อการเลี้ยงไก่เนื้ออย่างมาก เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ในระหว่างวันมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนี ความเครียดเนื่องจากความร้อน (heat stress index: HSI) (มนัสนันท์ และวราภรณ์, 2559) ซึ่งส่งผลกระทบต่อ การดำรงชีวิตของไก่เนื้อ (Aengwanich and Chinrasri, 2002; Altan *et al.*, 2000) โดยหาก ไก่เนื้ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีค่า HSI สูงจะส่งผลเสีย ต่อการเลี้ยงไก่เนื้ออย่างมาก เช่น อัตราการตายสูงโตช้า น้ำหนักลดประสิทธิภาพการใช้อาหารลดลง น้ำหนักตัว ปริมาณอาหารที่กิน กล้ามเนื้อหน้าอกลดลง (Deeb and

Cahaner, 2001; Mashaly *et al.*, 2004; Temim *et al.*, 2000) และอัตราการตายเพิ่มขึ้น (Mahmoud *et al.*, 2004) เป็นต้น ดังนั้นเพื่อให้ไก่เนื้อความสามารถในการ ทนต่อสภาพความร้อนอีกทั้งเพื่อลดปัญหาต่าง ๆ ดังกล่าว ข้างต้น จึงมีการนำเอาวิธีการต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้เพื่อ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต เช่น การใช้พัดลมระบาย อากาศร่วมกับหลักการระเหยของน้ำเพื่อปรับสภาพ อากาศในโรงเรือน รวมทั้งการใช้ สารเสริมเพื่อปรับสมดุล ให้ร่างกายของไก่เนื้อ (ปรางทิ และคณะ, 2548) โดยบีเทน เป็นสารเสริมในอาหารสัตว์ (Feed additive) ที่น่าสนใจ เนื่องจากความสามารถในการให้หมู่เมทิลแก๊สโมซิสเต อินเพื่อเปลี่ยนไปเป็นเมทไธโอนีน (Cadogan *et al.*, 1993) เพื่อช่วยปรับสมดุลออกซิโมซิสหรือช่วยปรับสมดุล ของน้ำในร่างกายและรักษาสสมดุลภายในเซลล์ ปัจจุบันมี งานวิจัยที่เกี่ยวกับการนำบีเทนมาเสริมในอาหารสัตว์ อย่างแพร่หลาย เพื่อช่วยลดสภาวะเครียดเนื่องจากความ ร้อน ปรับปรุงคุณภาพซาก และลดระดับไขมันในเนื้อสัตว์ นอกจากนี้ Amerah and Ravindran (2015) พบว่า การ เสริมบีเทนในอาหารของไก่เนื้อช่วยพัฒนาการ ย่อยได้ของโภชนาในอาหาร ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ การใช้อาหารของไก่เนื้อ และ ช่วยลดผลกระทบจาก เชื้อบิด *E. tenella* และ sporozoites ของ *E. acervulina*

(Augustine *et al.*, 1997) หากแต่การใช้บีเทนมักพบปัญหาหลายประการเช่นกัน กล่าวคือ บีเทนมักเกิดการแข็งตัวได้ง่ายเมื่อสัมผัสอากาศ ทำให้เกิดความยุ่งยากในการนำไปใช้ในการผสมอาหาร อีกทั้งบีเทนยังจัดเป็น สารจำพวกวิตามินที่อาจเสียสภาพในกระบวนการอัดเม็ดด้วยความร้อนขึ้นในกระบวนการผลิตอาหารสัตว์ และหากจะพัฒนาใช้บีเทนเคลือบสารกันความร้อน หรือ ประยุกต์ใช้บีเทนด้วยกระบวนการพ่นเคลือบผิวเม็ดอาหารหลังการอัดเม็ด (post pelleting liquid coating process) เพื่อป้องกันการเสียสภาพจากความร้อน ผู้ใช้ก็ต้องเพิ่มกระบวนการในการผลิตเข้าไปอีกหนึ่งขั้นตอน ซึ่งจะส่งผลต่อการเพิ่มต้นทุนของอาหารที่สูงขึ้น จากปัญหาดังกล่าว คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการศึกษาเพื่อแสวงหาวิธีการใช้อย่างง่าย โดยการผสมบีเทนแอนไฮดรส์ในน้ำดื่มให้ไก่เนื้อกินโดยตรง เพื่อแก้ปัญหาการแข็งตัวของบีเทนการรักษาประสิทธิภาพไว้ และเพื่อความสะดวกต่อการนำไปใช้อีกด้วย

การทดลองครั้งนี้เพื่อศึกษาการเสริมบีเทนแอนไฮดรส์ในน้ำดื่มของไก่เนื้อต่อสมรรถภาพการผลิต การย่อยได้ของโภชนะ ลักษณะเลือด ลักษณะซาก คุณภาพและคุณค่าทางโภชนะของเนื้อ เพื่อเป็นแนวทางเลือกอย่างง่ายในการเพิ่มผลผลิตและเกิดประโยชน์อันจะเป็นการพัฒนาขีดความสามารถของเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่เนื้อสู่การเสริมสร้างความเข้มแข็งและยั่งยืนของการปศุสัตว์ต่อไปในอนาคตสู่ความมั่นคงทางด้านอาหารของโลกต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

แผนการทดลอง

การทดลองครั้งนี้ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design: CRD) โดยการทดลองครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 ทรีทเมนต์ ทรีทเมนต์ละ 5 ซ้ำ รวมทั้งหมด 10 หน่วยทดลอง ดังนี้

ทรีทเมนต์ที่ 1 น้ำสะอาด (กลุ่มควบคุม)

ทรีทเมนต์ที่ 2 น้ำสะอาดเสริมบีเทนแอนไฮดรส์ชนิดผงละลายน้ำที่ระดับ 2 กรัมต่อลิตร

สัตว์ทดลองและการการเลี้ยงสัตว์ทดลอง

ทดลองในไก่เนื้อสายพันธุ์คาร์ Ross 308® อายุ 1 วัน จำนวน 200 ตัว (ตัวผู้ 100 ตัว และ ตัวเมีย 100 ตัว) ถูกสุ่มเข้าสู่การทดลองจำนวน 20 ตัวต่อหน่วยทดลอง โดยทำวัคซีนควบคุมโรคตามวิธีที่อธิบายโดย มนัสนันท์ และคณะ (2557) โดยจัดการเลี้ยงไก่เนื้อในคอกขนาด 2.0 x 3.0 เมตร ภายในโรงเรือนแบบเปิดที่มีการจัดการแสงและอุณหภูมิ ตามสภาพแวดล้อมในระหว่างช่วงเดือนมิถุนายนถึงกรกฎาคม พ.ศ. 2558 โดยไก่เนื้อได้รับน้ำสะอาดและอาหารกินแบบเต็มที่ตลอดเวลา (*ad libitum*)

น้ำและอาหารทดลอง

การทดลองนี้ใช้ระยะเวลาเลี้ยงไก่เนื้อทั้งหมด 35 วัน และใช้อาหารไก่เนื้อเชิงการค้า 2 ระยะ คือ ระยะแรก 0-21 วัน (pre starter) มีโปรตีนหยาบ (crude protein) 23 เปอร์เซ็นต์ และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (metabolizable energy) 3,200 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม และระยะสอง 22-35 วัน (standard starters) มีโปรตีนหยาบ 20 เปอร์เซ็นต์ และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ 3,200 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ตามคำแนะนำของ NRC (1994)

สมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อ

ทำการเลี้ยงไก่เนื้อเพื่อวัดสมรรถภาพการผลิต โดยใช้เวลาทั้งหมด 35 วัน แบ่งเป็น 2 ช่วง คือ 0-21 วัน และ 22-35 วัน บันทึกปริมาณอาหารที่กินได้ น้ำหนักของไก่เนื้อ และจำนวนไก่ตายตลอดช่วงการทดลอง แล้วคำนวณหาค่าสมรรถภาพการผลิต 0-21 วัน 22-35 วัน และ 0-35 วัน ได้แก่ ปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยต่อวัน (average daily feed intake: ADFI) น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย (average body weight gain: BWG) อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (average daily gain: ADG) และประสิทธิภาพการใช้อาหาร (feed conversion ratio: FCR (feed:gain)) ห ำ จ ำ ก [ADFI/ADG] ต้นทุนการผลิตเนื้อไก่ 1 กิโลกรัม (feed cost per gain: FCG) หาจาก [FCR x ราคาอาหาร 1 กิโลกรัม] ตามวิธีของ Zhao *et al.* (2003) รวมถึงคำนวณหาอัตราการเลี้ยงรอด (viability) หาจาก

[(จำนวนไก่ที่เหลือ x 100)/จำนวนไก่เริ่มต้น] ตามวิธีของ Khaksefidi and Rahimi (2005) และดัชนีประสิทธิภาพการผลิต (productive index: PI) หาจาก [(อัตราการผลิต x น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น x 100)/(FCR x จำนวนวันที่เลี้ยง)] ตามวิธีที่อธิบายโดย มนัสนันท์ และคณะ (2558) นอกจากนี้คำนวณผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ (economic benefit return) คือ ต้นทุนค่าอาหารต่อตัว (feed cost per gain) มูลค่าจากการขายต่อตัว (salable bird return) กำไรสุทธิต่อตัว (net profits return per bird) และอัตราส่วนผลตอบแทนต่อการลงทุน (return of investment) คือ feed cost per gain (FCG) จากสูตร $FCG = (FCR \times \text{feed cost} \times BWG)$, salable bird return (SBR) จากสูตร $SBR = (\text{price of live chicken} (40 \text{ THB}) \times BW)$, net profits return per bird (NPR) จากสูตร $NPR = (SBR - FCG)$, และ return of investment (ROI) จากสูตร $ROI = (NPR / FCG) \times 100$ ตามวิธีของมนัสนันท์ และคณะ (2558)

การย่อยได้รวมของโภชนะในอาหารไก่เนื้อ

ในช่วงไก่เนื้ออายุ 14-21 วัน จะได้รับอาหารทดลองผสมโครมิกซ์ออกไซด์ (Cr_2O_3) 0.3 เปอร์เซ็นต์ เพื่อทดสอบการย่อยได้ของโภชนะในอาหารไก่เนื้อ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ช่วง โดยช่วงที่ 1 คือ ไก่เนื้ออายุ 14-18 วัน เป็นช่วงปรับสัตว์ (adjustment period) และ ช่วงที่ 2 คือ ไก่เนื้ออายุ 19-21 วัน เป็นช่วงเก็บตัวอย่าง (sampling period) โดยสุ่มเก็บอาหารของไก่เนื้อทดลองในถังกั้นความชื้นและสุ่มเก็บมูลของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารทดลองผสมโครมิกซ์ออกไซด์ (Cr_2O_3) 0.3 เปอร์เซ็นต์ ลงในถังกั้นที่มี H_2SO_4 ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ ตามวิธีของ Mountzouris *et al.* (2010) จากนั้นนำตัวอย่างอาหารและมูลที่ได้มาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสและบดละเอียด แล้วนำไปวิเคราะห์หาค่าวัตถุแห้งโปรตีนหยาบ เยื่อใยรวม ไขมันรวม เถ้า และพลังงาน ตามวิธีของ AOAC (1995) อีกทั้งยังวิเคราะห์หาปริมาณโครมิกซ์ออกไซด์ (Cr_2O_3) ตามวิธีของ AOAC (1995) จากนั้นนำมาคำนวณหาการย่อยได้ ของ วัตถุ แห้ง รว ม (apparent dry matter digestibility) หาจาก $[(\% Cr_2O_3 \text{ ในมูล} - \% Cr_2O_3 \text{ ใน}$

อาหาร) x 100]/[% Cr_2O_3 ในมูล] และ ค่าการย่อยได้ของโภชนะรวม (apparent nutrient digestibility) หาจาก $100 - [100 \times (\% Cr_2O_3 \text{ ในอาหาร} / \% Cr_2O_3 \text{ ในมูล}) \times (\% \text{ โภชนะในมูล} / \% \text{ โภชนะในอาหาร})]$ ตามวิธีของ Sharifi *et al.* (2012)

โลหิตวิทยาของไก่ไข่และองค์ประกอบของกรดไขมันในเลือด

ในวันสุดท้ายของการทดลองทำการอดอาหารไก่ไข่ประมาณ 12 ชั่วโมงแล้วสุ่มไก่หน่วยทดลองละ 4 ตัว เพื่อเก็บตัวอย่างเลือดโดยเจาะเลือดไก่บริเวณปีก (wing vein) ตัวละ 2 มิลลิลิตร ตามวิธีของสถาบันสุขภาพสัตว์แห่งชาติ (2556) เพื่อนำมาวัดความเข้มข้นของเม็ดเลือดแดงอัดแน่น (hematocrit, Hct) ค่าเม็ดเลือดแดง (red blood cell; RBC) ค่าเม็ดเลือดขาว (white blood cell; WBC) เม็ดเลือดขาว ชนิดเฮเทอโรฟิล (heterophil, H) และลิมโฟไซต์ (lymphocyte, L) เพื่อนำไปหาสัดส่วน H/L ratio นำซีรัมไปวิเคราะห์ ค่าคอเลสเตอรอล (cholesterol) และไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) โดยวิธี enzymatic colorimetric test (CHOD-PAP method)

เปอร์เซ็นต์ซากและคุณภาพเนื้อของไก่เนื้อ

ในวันสุดท้ายของการทดลองอดอาหารอย่างน้อย 6 ชั่วโมง แล้วสุ่มไก่เนื้อ 4 ตัวต่อหน่วยทดลอง (ตัวผู้และตัวเมีย) เพื่อชำชำและและตัดแต่งชิ้นส่วน จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักซากและน้ำหนักชิ้นส่วน แล้วคำนวณเปอร์เซ็นต์ซาก [(carcass percentage = {(carcass weight/ live weight) x 100}] เปอร์เซ็นต์ซากเย็น [(chill carcass percentage = {(chill carcass weight/ live weight) x 100}] และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนตัดแต่ง [(cutting percentage = {(cutting weight/ carcass weight x 100)] ตามวิธีของสัญญาชัย (2553); Hossain *et al.* (2012) จากนั้นรวบรวมเนื้ออกไก่เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณคอเลสเตอรอลด้วยวิธี C45,994.10 ตามวิธีของ AOAC (1995) และการวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมัน (individual fatty acid content) ด้วย GLC ตามวิธีของ Lepage and Roy (1986) นอกจากนั้นทำการวัดค่าความสามารถใน

การอุ้มน้ำ (water holding capacity) ประกอบด้วย dip loss, boiling loss, trawling loss และ roasting loss ตามวิธีของสัญญาชัย (2553); Ao *et al.* (2011); Liu *et al.* (2012) อีกทั้งวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ของเนื้ออกที่ 45 นาที (pH 45 min) และที่ 24 ชั่วโมง (pH 24 h) หลังฆ่าชำแหละด้วย pH meter รุ่น pH 211, Hanna, Padua, Italy ตามวิธีของ Zhou *et al.* (2010) รวมทั้งวัดค่าสีของเนื้ออกหลังเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลานาน 24 ชั่วโมง ได้แก่ ความสว่าง (lightness: L*), สีแดง (redness: a*) และสีเหลือง (yellowness: b*) ตามวิธีของสัญญาชัย (2553) และ Ao *et al.* (2011) นอกจากนี้ยังนำตัวอย่างเนื้ออกที่ได้มาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนแห้งและทำการบดให้ละเอียด จากนั้นวิเคราะห์หาค่าวัตถุแห้ง เถ้า โปรตีนหยาบ และไขมัน รวมตามวิธีของ AOAC (1995)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของทรัพย์สินที่อิสระต่อกัน ด้วยวิธี Student's t-test ตามวิธีของ Steel and Torrie (1992) โดยใช้โปรแกรม R (R Core Team, 2013) กำหนดค่านัยสำคัญที่ใช้ในการทดสอบที่ $P < 0.05$

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลการเสริมบีเทนแอนไฮดรัสในน้ำดื่มของไก่เนื้อต่อประสิทธิภาพการย่อยได้ของโภชนะ

การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยได้ของโภชนะในไก่เนื้อที่ได้รับการเสริมบีเทนแอนไฮดรัสในน้ำดื่มพบว่าไก่เนื้อที่ได้รับการเสริมบีเทนแอนไฮดรัสในน้ำดื่มที่ระดับ 2 กรัมต่อลิตร ไม่มีผลต่อค่าการย่อยได้ของโภชนะทั้ง สิ่งแห้ง อินทรีย์วัตถุ เยื่อใยรวม ไขมันรวม และโปรตีนหยาบของไก่เนื้อ ($P > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 1

โดยปกติเมื่อสัตว์เกิดความเครียดจากสภาพอากาศหรือโรคส่งผลทำให้ความเข้มข้นของน้ำในเซลล์เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเกิดแรงดันออสโมติกและส่งผลให้เซลล์สูญเสียน้ำ ดังนั้นไก่จำเป็นต้องใช้พลังงานจำนวนมากมา

รักษาสสมดุลของน้ำในเซลล์และอุณหภูมิของร่างกาย ดังนั้นกระบวนการเมแทบอลิซึมจะถูกขัดขวาง เพราะไก่จะใช้พลังงานส่วนที่ใช้สำหรับสร้างผลผลิตมาเพื่อการบำรุงรักษาแทน อีกทั้งสัตว์จะอยู่ในสภาวะขาดน้ำ (dehydrate) เพราะน้ำถูกขับออกจากร่างกายมากขึ้น สัตว์ต้องดื่มน้ำมากขึ้นตามเซลล์ร่างกายจะเสียสภาพอย่างรวดเร็ว ไก่จะสูญเสียผลผลิตอย่างรวดเร็วตาม เพราะต้องใช้พลังงานมาเพื่อรักษาการเสื่อสภาพของเซลล์ หากอุณหภูมิแวดล้อมสูงขึ้นมาก จะสามารถทำให้ไก่ช็อคตายได้ (heat shock) ในทางกลับกันบีเทนเป็นสารประกอบของหมู่เมทิลร่วมกับกรดอะมิโนไกลซีนที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของโคลีน (choline) ซึ่งเป็นตัวกลางให้หมู่เมทิล (methyl donor) ในกระบวนการเมแทบอลิซึม จึงมีความจำเป็นในปฏิกิริยาชีวเคมีของเมไทโอนีน (methionine) และโฮโมซิสทีน (homocysteine) ทำให้ช่วยลดระดับโฮโมซิสทีนในพลาสมา และช่วยการทำงานของตับที่เกี่ยวข้องกับไขมันให้ดีขึ้น อีกทั้งยังช่วยรักษาความสมดุลภายในเซลล์ (osmoprotectant) ดังนั้นกระบวนการเมแทบอลิซึมจะไม่ถูกขัดขวาง ส่งผลต่อประสิทธิภาพการย่อยได้ของโภชนะ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ratriyanto *et al.* (2009) พบว่าการเสริมบีเทนในอาหารไก่เนื้อต่อการย่อยได้ของโภชนะมีผลทำให้การย่อยได้ของวัตถุแห้ง และโปรตีน และเยื่อใยหยาบเพิ่มขึ้น และสอดคล้องกับการศึกษาของ Ezzat *et al.* (2011) ที่พบว่าการเสริมบีเทนในอาหารไก่เนื้อทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของ โปรตีน และไขมัน เพิ่มขึ้น อีกทั้ง El-Husseiny *et al.* (2007) ยังพบว่าการเสริมบีเทนในอาหารทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของ อินทรีย์วัตถุ โปรตีนรวม ไขมันรวม เยื่อใยหยาบ เพิ่มขึ้นแตกต่างกัน คุณสมบัติของโมเลกุลของบีเทนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเจริญเติบโตของเซลล์ภายในลำไส้ และเพิ่มการทำงานของเซลล์ จึงทำให้มีอิทธิพลต่อการย่อยสารอาหารได้ดีขึ้น (Xu *et al.*, 2000) Amerah and Ravindran (2015) พบว่าการเสริมบีเทนที่ระดับ 960 กรัมต่อตัน สามารถเพิ่มการย่อยได้ของสิ่งแห้ง โปรตีนหยาบ ไขมันรวม และกรดอะมิโนของไก่ที่ติดเชื้อมากกว่าอาหารควบคุม

Table 1. Effect of betaine anhydrous supplementation in drinking water on nutrient digestibility

Nutrient digestibility	Betaine anhydrous levels supplementation in drinking water		Pr>T
	Control (0 g/l)	2.0 g/l	
Dry matter (%)	85.55 ± 6.40	82.78 ± 3.32	0.5427
Organic matter (%)	87.78 ± 6.03	84.12 ± 3.23	0.4070
Crude fiber (%)	50.46 ± 21.09	58.81 ± 4.64	0.5398
Ether extract (%)	92.30 ± 0.90	92.71 ± 1.64	0.7240
Crude protein (%)	80.59 ± 3.35	85.41 ± 2.86	0.1116

2. ผลการเสริมบีเทนแอนไฮดรัสในน้ำดื่มของไก่เนื้อต่อสมรรถภาพการผลิต

การเสริมบีเทนแอนไฮดรัสในน้ำดื่มของไก่เนื้อในช่วง 0-21 วัน พบว่า ไก่เนื้อที่ได้รับน้ำดื่มที่เสริมบีเทนแอนไฮดรัสที่ระดับ 2 กรัมต่อลิตร มีสมรรถภาพการผลิตไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุม ($P>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 2 ในช่วง 21-35 วัน พบว่าไก่เนื้อที่ได้รับน้ำดื่มเสริมบีเทนแอนไฮดรัสมีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตต่อตัวต่อวัน และดัชนีประสิทธิภาพการผลิตสูงกว่าไก่เนื้อกลุ่มควบคุม ($P<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 3

ส่วนผลการเลี้ยงไก่เนื้อ 0-35 วัน พบว่า ไก่เนื้อที่ได้รับน้ำดื่มเสริมบีเทนแอนไฮดรัส มีอัตราแลกเนื้อประสิทธิภาพการใช้อาหารต่อวัน และดัชนีประสิทธิภาพการผลิตสูงกว่าไก่เนื้อกลุ่มควบคุม ($P<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4 เนื่องจากไก่เนื้อที่ได้รับการเสริมบีเทนแอนไฮดรัสมีค่า H/L ratio ที่ต่ำกว่าไก่เนื้อกลุ่มควบคุม ซึ่งค่า H/L ratio เป็นดัชนีชี้วัดความเครียดภายในตัวของไก่เนื้อ โดยที่ค่าของ H/L ratio ที่ต่ำจะบ่งบอกถึงการที่ไก่เนื้อไม่ได้อยู่ในสภาวะเครียด โดยปกติค่า H/L ratio มีค่าสูงขึ้นตามระดับของความเครียดที่เกิดขึ้นภายในร่างกาย

การพัฒนาสมรรถนะการผลิตที่ดีขึ้นที่พบในการทดลองครั้งนี้สามารถอธิบายได้จากหลายสมมุติฐาน กล่าวคือ Ratriyanto *et al.* (2009) รายงานว่าบีเทนเป็นสารประกอบของหมู่เมทิลร่วมกับกรดอะมิโนโคลีนที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของโคลีน (choline) ซึ่งเป็นตัวกลางให้หมู่เมทิล (methyl donor) ในกระบวนการเมแทบอลิซึม ส่งผลทำให้ไก่เนื้อที่ได้รับการเสริมบีเทนแอนไฮดรัสมีประสิทธิภาพการย่อยได้ของโภชนะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลทำให้สมรรถภาพการผลิตมีค่า

อัตราการแลกเนื้อต่ำ และประสิทธิภาพการใช้อาหารต่อวันเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งแปรผันตรงกับดัชนีประสิทธิภาพการผลิต โดยบีเทนสามารถช่วย เมไทโอนีน (methionine) เมื่อมีภาวะขาดแคลนเมไทโอนีนในอาหารซึ่งส่งผลต่อสมรรถนะการผลิตของไก่เนื้อได้ (Sun *et al.*, 2008) นอกจากนี้ อาจเนื่องจากบีเทนสามารถช่วยส่งเสริมให้เยื่อบุลำไส้มีความแข็งแรงเนื่องจากได้รับหมู่เมทิลเพิ่มขึ้น Amerah and Ravindran (2015) พบว่า ในภาวะที่เกิดโรคบิดไก่เนื้อมีความต้องการหมู่เมทิลเพิ่มขึ้น เนื่องจากเยื่อบุลำไส้ของไก่เนื้อถูกทำลายมีความต้องการหมู่เมทิลสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ติดเชื้อ บิด (Chiang *et al.*, 1996), Klasing *et al.*, (2002) พบว่า การ chemotaxis ที่เพิ่มขึ้นของ monocytes และปล่อยก๊าซไนโตรสออกไซด์ของแมกโครฟาจ (macrophages) อธิบายถึงพยาธิสภาพของลำไส้ที่ดีขึ้น และเมื่อมีการเสริมบีเทนในอาหารของไก่เนื้อที่ถูกกระตุ้นด้วยเชื้อบิด โดยผลการทดลองครั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Attia *et al.* (2009) พบว่าการเสริมบีเทนในอาหารไก่เนื้อปรับปรุงอัตราแลกเนื้อ ($P<0.05$) และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Waldenstedt *et al.* (1999) พบว่าการเสริมบีเทนในอาหารไก่เนื้อที่ระดับ 1 กรัมต่อกิโลกรัมทำให้อัตราการเปลี่ยนอาหารดีขึ้น 12.6 เปอร์เซ็นต์ ($P<0.05$) ในขณะที่เดียวกันบีเทนยังส่งผลให้อัตราการตายมีแนวโน้มลดลง ซึ่ง ปราณี และคณะ (2548) ที่เสริมบีเทนที่ระดับ 0, 0.05 และ 0.10 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ลดอัตราการตายของไก่ลงได้ 8.57, 7.38 และ 6.91 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และงานวิจัยของ Waldenstedt *et al.* (1999) ที่เสริมบีเทนมีผลทำให้อัตราการตายลงโดยกลุ่มที่เสริม 1 กรัมต่อกิโลกรัมพบว่าไก่เนื้อที่อัตราการตายต่ำที่สุด Amerah and Ravindran (2015) พบว่าการเสริม

Table 2. Effect of betaine anhydrous supplementation in drinking water on productive performance (0-21 day)

Productive performance	Betaine anhydrous levels supplementation in drinking water		Pr>T
	Control (0 g/l)	2.0 g/l	
Average weight (g/bird)	906.40 ± 67.80	858.86 ± 29.40	0.3276
Body weight gain (g/bird)	867.21 ± 66.63	819.66 ± 30.35	0.3237
Total feed intake (g/bird)	1,295.20 ± 82.73	1,196.80 ± 27.12	0.1221
Average daily gain (g/bird/day)	41.30 ± 3.18	39.03 ± 1.45	0.3241
Feed intake (g/bird/day)	61.68 ± 3.94	56.99 ± 1.29	0.1222
Feed conversion ratio (FCR)	1.49 ± 0.03	1.46 ± 0.04	0.2594
Performance efficiency ratio (PER)	0.67 ± 0.01	0.68 ± 0.02	0.2746
Viability (%)	98.33 ± 2.89	98.33 ± 2.89	1.0000
Mortality (%)	8.84 ± 2.89	8.84 ± 2.89	1.0000
Productive index	271.47 ± 16.82	263.14 ± 20.97	0.6196

Table 3. Effect of betaine anhydrous supplementation in drinking water on productive performance (22-35)

Productive performance	Betaine anhydrous supplementation levels in drinking water		Pr>T
	Control (0 g/l)	2.0 g/l	
Average weight (g/bird)	2,085.60 ± 74.50	2,136.20 ± 26.82	0.3306
Body weight gain (g/bird)	1,086.60 ± 87.35	1,258.50 ± 41.98	0.0372
Total feed intake (g/bird)	2,516.10 ± 191.23	2,387.90 ± 88.36	0.3515
Average daily gain (g/bird/day)	77.61 ± 6.24	89.89 ± 2.99	0.0372
Feed intake (g/bird/day)	179.20 ± 13.66	170.56 ± 6.31	0.3515
Feed conversion ratio (FCR)	2.33 ± 0.28	1.90 ± 0.11	0.0691
Performance efficiency ratio (PER)	0.44 ± 0.05	0.60 ± 0.03	0.0530
Viability (%)	91.23 ± 8.04	98.25 ± 3.04	0.2301
Mortality (%)	8.77 ± 8.04	1.75 ± 3.04	0.2301
Productive index	204.43 ± 31.87	311.46 ± 34.80	0.0171

บีเทนที่ระดับ 960 กรัมต่อตัน สามารถเพิ่มปริมาณการกินได้และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหารที่เพิ่มขึ้นกว่าอาหารควบคุม

3. ผลการเสริมบีเทนแอนไฮดรัสในน้ำดื่มของไก่เนื้อต่อโลหิตวิทยา

การเสริมบีเทนแอนไฮดรัสในน้ำดื่มที่ระดับ 2 กรัมต่อลิตร ทำให้จำนวนของเม็ดเลือดขาว (white blood

count) ค่าเม็ดเลือดขาวชนิด lymphocyte เพิ่มขึ้น ($P<0.05$) และอัตราส่วนเม็ดเลือดขาวชนิด heterophil ต่อ lymphocyte (H/L ratio) ลดลงแตกต่างกันในทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ดังแสดงในตารางที่ 5 โดยการทดลองครั้งนี้ทำการเลี้ยงไก่เนื้อในโรงเรือนเปิดภายใต้สภาพแวดล้อมธรรมชาติ ซึ่งส่งผลต่อความเครียดอันเนื่องมาจากความร้อนได้มากกว่าไก่เนื้อที่เลี้ยงภายใต้โรงเรือนแบบปิด (tunnel ventilation and

Table 4. Effect of betaine anhydrous supplementation in drinking water on productive performance (0-35)

Productive performance	Betaine anhydrous supplementation levels in drinking water		Pr>T
	Control (0 g/l)	2.0 g/l	
Average weight (g/bird)	2,085.60 ± 74.50	2,136.20 ± 26.82	0.3306
Body weight gain (g/bird)	1,953.80 ± 80.80	2,078.20 ± 25.45	0.0638
Total feed intake (g/bird)	3,811.20 ± 267.88	3,584.80 ± 115.44	0.2499
Average daily gain (g/bird/day)	55.82 ± 2.31	49.38 ± 0.73	0.0641
Feed intake (g/bird/day)	108.89 ± 7.65	102.42 ± 3.30	0.2497
Feed conversion ratio (FCR)	1.95 ± 0.12	1.73 ± 0.05	0.0425
Performance efficiency ratio (PER)	0.51 ± 0.03	0.58 ± 0.02	0.0238
Viability (%)	89.47 ± 5.27	96.49 ± 3.04	0.1161
Mortality (%)	10.50 ± 5.27	3.51 ± 3.04	0.1161
Productive index	256.60 ± 23.76	332.36 ± 15.64	0.0099

Table 5. Effect of betaine anhydrous supplementation in drinking water on blood parameter

Blood parameter	Betaine anhydrous supplementation levels in drinking water		Pr>T
	Control (0 g/l)	2.0 g/l	
Hematocrit (%)	22.67 ± 11.02	35.00 ± 3.61	0.1391
Hemoglobin	13.00 ± 1.00	13.03 ± 1.29	0.9735
RBC ($\times 10^6/\text{mm}^3$)	1.67 ± 0.58	2.50 ± 0.25	0.0829
WBC ($\times 10^6/\text{mm}^3$)	15,933.00 ± 4,781.60	38,333.00 ± 10,151.00	0.0259
Heterophil (%)	35.33 ± 7.57	22.00 ± 4.00	0.0543
Lymphocyte (%)	54.67 ± 6.11	73.00 ± 6.56	0.0240
H/L Ratio	0.66 ± 0.22	0.31 ± 0.08	0.0499
Cholesterol (mg/dl)	178.67 ± 11.85	180.33 ± 12.06	0.8727
HDL (mg/dL)	119.00 ± 15.62	131.00 ± 14.18	0.3803
LDL (mg/dL)	47.67 ± 12.89	36.00 ± 12.17	0.3180
Triglyceride (mg/dl)	60.33 ± 6.66	66.00 ± 7.55	0.3848

evaporative cooling systems house) เมื่อสัตว์เครียด ฮอร์โมนกลูโคคอร์ติคอยด์จะถูกกระตุ้นให้หลังเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งส่งผลทำให้เม็ดเลือดขาวชนิด เฮเทอโรฟิล เจริญเต็มที่ และถูกปลดปล่อยมาจากไขกระดูก (bone marrow) แล้ว เข้าสู่กระแสเลือดมากขึ้น ในขณะที่เม็ดเลือดขาวชนิด ลิมโฟไซต์มีปริมาณลง เนื่องจากถูกเคลื่อนย้ายกลับไปยัง ไขกระดูกและเนื้อเยื่อน้ำเหลือง (วิโรจน์, 2538) สอดคล้อง กับรายงานของ Altan *et al.* (2000) กล่าวว่าสัตว์ที่อยู่ใน

สภาวะเครียดจะมีการหลั่งฮอร์โมนหลายชนิด เช่น คอร์ติซอล (cortisol) ซึ่งมีผลกดภูมิคุ้มกันโรคของร่างกาย ทำให้ ค่า H/L ratio เพิ่มขึ้น เมื่อร่างกายสัตว์ได้รับสิ่งเร้า จาก สภาพแวดล้อมทั้งภายใน และภายนอกที่ไม่เหมาะสม เช่น การเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม อุณหภูมิ ช่วงแสง อายุ และน้ำหนักตัว ล้วนส่งผลต่อความเครียดที่เกิดขึ้นในตัวไก่ ทำให้จำนวนเฮเทอโรฟิลส์เพิ่มขึ้น และจำนวนลิมโฟ-ไซต์ลดลงโดยปกติ H/L ratio จะมีค่าสูงขึ้นตามระดับของ

ความเครียดที่เกิดขึ้นภายในร่างกาย จากการวิจัยครั้งนี้พบว่าบีเทนจะเข้าไปช่วยรักษาสมดุลน้ำภายในเซลล์ เนื่องจากบีเทนเป็นสารประกอบของหมู่เมทิลร่วมกับกรดอะมิโนไกลซีนที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของโคลีน (choline) ซึ่งเป็นตัวกลางให้หมู่เมทิลในกระบวนการเมแทบอลิซึมเนื่องจากมีคุณสมบัติเป็นผู้ให้หมู่เมทิล (methyl donor) จึงมีความจำเป็นในปฏิกิริยาชีวเคมีของเมไทโอนีน (methionine) และโฮโมซิสทีน (homocysteine) ทำให้ช่วยลดระดับโฮโมซิสทีนในพลาสมา และช่วยการทำงานของตับที่เกี่ยวข้องกับไขมันให้ดีขึ้นอีกทั้งยังช่วยรักษาความสมดุลภายในเซลล์ (osmoprotectant) ส่งผลต่อค่าของเม็ดเลือดขาวชนิดเฮโทโรฟิลลดลงลิโพโปรตีนเพิ่ม และแปรผันตรงต่อค่า H/L ratio ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ratriyanto *et al.* (2009) พบว่าการเสริมบีเทนในอาหารไก่เนื้อต่อลักษณะเลือดมีผลทำให้ H/L ratio แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ส่วน triglyceride ไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Awad *et al.* (2014) ที่ศึกษาการเสริมบีเทน ในอาหารเปิดที่ระดับ 0, 0.5, 1.0 และ 1.5 กรัมต่อกิโลกรัม พบว่าจำนวนลิโพโปรตีนเพิ่มขึ้น และจำนวนเฮโทโรฟิลลดลง มีผลทำให้ H/L Ratio ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม Sayed and Downing (2011) พบว่าการเสริมบีเทนที่ระดับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตรช่วยช่วยลด H/L ratio และระดับกลูโคสในเลือดของไก่เนื้อ

4. ผลการเสริมบีเทนแอนไฮดรส์ในน้ำดื่มของไก่เนื้อต่อคุณภาพซากและคุณภาพเนื้อ

การเสริมบีเทนแอนไฮดรส์ในน้ำดื่มของไก่เนื้อที่ระดับ 2 กรัมต่อลิตรไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ซาก และเปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนของไก่เนื้อ ($P > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 6 ผลการทดลองข้างต้นสอดคล้องกับงานวิจัยของ กันยา และคณะ (2555) ที่พบว่าการเสริมบีเทนในอาหารไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ซาก ออก สันใน น่อง และสะโพก ของไก่เนื้อ ($P > 0.05$) ซึ่งขัดแย้งกับ Zhan and Ku (1999) ที่พบว่า การเสริมบีเทน 0.10 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ปริมาณกล้ามเนื้อหน้าอกเพิ่ม ซึ่ง McDevitt *et al.* (1999) อธิบายว่าการเสริมบีเทนสามารถเพิ่มเนื้ออกของไก่ได้เมื่อมีระดับเมทไธโอนีน

ในอาหารเพียงพอ สอดคล้องกับ ปราณีและคณะ (2548) พบว่าการเสริมบีเทนระดับ 0.10 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้ปริมาณเนื้อ หน้าอก หน้า สันใน เพิ่มขึ้น ($P < 0.05$) ในขณะที่คุณลักษณะอื่นของคุณภาพซากและคุณภาพเนื้อไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) จากการศึกษาถึงผลกระทบในทางบวกของการเสริมบีเทน (Alirezai *et al.*, 2012) และผลกระทบด้านลบในภาวะการขาดเมทไธโอนีนต่อคุณภาพเนื้อของไก่เนื้อ (Liu *et al.*, 2010) โดย Fu *et al.* (2016) อธิบายถึงการเสริมบีเทนสามารถเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ glutathione peroxidase มีคุณสมบัติเป็นสาร antioxidant ในเนื้ออกในสภาพที่ขาดเมทไธโอนีนในการช่วยลดความเสื่อมของเซลล์ต่าง ๆ ในร่างกายซึ่งในการทดลองครั้งนี้พบว่าการเสริมบีเทนไม่มีผลต่อคุณภาพเนื้อ

Saunderson and Mackinlay (1990) กล่าวว่า บีเทนเป็นสารที่มีคุณสมบัติในการให้หมู่เมทิลในปฏิกิริยาสังเคราะห์คาร์นิทีนที่ทำหน้าที่เป็นตัวนำพากรดไขมันเข้าสู่ไมโทคอนเดรียเพื่อย่อยสลายไขมันให้ได้พลังงานเพื่อใช้ในร่างกาย ดังนั้นการเสริมบีเทนแอนไฮดรส์ในน้ำดื่มของไก่เนื้อที่ระดับ 2 กรัมต่อลิตร ไม่มีผลต่อคุณภาพเนื้อ ได้แก่ ค่าความเป็นกรดต่าง ค่าคะแนนสี และค่าการสูญเสีย น้ำของเนื้อไก่ ($P > 0.05$) แต่ทำให้ค่าไขมันรวมและเถ้าลดลง ($P < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 7 ผลการทดลองข้างต้นสอดคล้องกับ กันยา และคณะ (2555) ที่ระบุว่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย น้ำเนื่องจากการแช่เย็น (dip loss) ของเนื้ออกไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) และมีค่า yellowness ของเนื้ออกกลุ่มควบคุมน้อยที่สุด ($P < 0.05$) ซึ่งไม่สอดคล้องกับผลการทดลองข้างต้น Chu *et al.* (1987) กล่าวว่าค่าความเข้มสีเหลืองในเนื้ออกส่วนใหญ่เกิดจากสีของกล้ามเนื้อชนิด white fiber ดังนั้นปริมาณไขมันในอกที่ลดลงทำให้มีสัดส่วนของกล้ามเนื้อเพิ่มมากขึ้นจากผลการศึกษาพบว่าไก่เนื้อที่ได้รับน้ำดื่มเสริมบีเทนแอนไฮดรส์มีการสะสมของไขมันลดลง Wang *et al.* (2004) และ Garcia and Stefan (2000) ได้อธิบายว่าบีเทนสามารถให้เมทิลแก่ dimethylethanolamine เปปติเจน เป็น trimethylethanolamine สำหรับการสังเคราะห์เลซิติน โดยเลซิตินมีหน้าที่ช่วยในการขนส่งของไขมันผ่านร่างกาย แต่ในสภาวะที่อาหารขาดเมทไธโอนีน สำหรับ

Table 6. Effect of betaine anhydrous supplementation in drinking water on carcass and cutting percentage

Carcass and cutting percentage	Betaine anhydrous supplementation levels in drinking water		<i>Pr>T</i>
	Control (0 g/l)	2.0 g/l	
Thai carcass percentage (%)	84.02 ± 1.12	83.81 ± 3.59	0.9265
Carcass percentage (%)	75.94 ± 1.03	81.90 ± 2.53	0.8446
Chill carcass percentage (%)	74.42 ± 1.00	74.10 ± 2.47	0.8443
Shank (%)	3.35 ± 0.18	3.42 ± 0.12	0.6411
Boneless breast (%)	29.85 ± 1.06	29.32 ± 1.77	0.6786
<i>Pectoralis major</i> (%)	25.20 ± 0.88	24.81 ± 1.35	0.6970
<i>Pectoralis minor</i> (%)	4.65 ± 0.26	4.51 ± 0.45	0.6647
Wing stick (%)	6.59 ± 0.38	6.83 ± 0.55	0.5691
Tulip (%)	4.29 ± 0.10	3.60 ± 0.78	0.2635
Thigh (%)	16.81 ± 0.91	17.25 ± 2.34	0.7765
Drumstick (%)	11.01 ± 0.24	11.01 ± 0.65	1.0000
Skeletal bone (%)	18.91 ± 2.38	18.24 ± 1.44	0.6953

Table 7. Effect of betaine anhydrous supplementation in drinking water on meat quality

Meat quality	Betaine anhydrous supplementation levels in drinking water		<i>Pr>T</i>
	Control (0 g/l)	2.0 g/l	
pH1	6.08 ± 0.28	6.02 ± 0.17	0.367
pH24	5.86 ± 0.31	5.88 ± 0.42	0.482
Color at 24 hour after chill storage at 4 °C			
L* (Lightness)	55.87 ± 1.70	54.51 ± 1.22	0.3251
A* (Redness)	0.16 ± 0.66	0.81 ± 0.86	0.3530
B* (Yellowness)	9.76 ± 1.77	9.11 ± 1.34	0.6352
Water holding capacity			
Cooking loss (%)	21.75 ± 3.12	21.99 ± 2.25	0.9187
Trawling loss (%)	10.01 ± 1.46	8.68 ± 1.19	0.2876
Roasting loss (%)	21.06 ± 1.94	20.55 ± 1.74	0.7515
Dip loss (%)	4.55 ± 0.74	4.34 ± 1.21	0.8066
Nutrient composition in meat			
Dry matter	26.52 ± 2.01	26.11 ± 2.31	0.427
Moisture	73.48 ± 4.65	73.89 ± 3.98	0.366
Crude protein	23.72 ± 0.14	23.99 ± 0.09	0.055
Ether extract	2.07 ± 0.03	1.18 ± 0.02	0.026
Ash	1.46 ± 0.05	1.35 ± 0.04	0.043

การสังเคราะห์โปรตีน บีเทนสามารถให้หมู่เมทิลที่ในการสังเคราะห์คาร์นิทีนเพื่อใช้ในวิถีเบต้าออกซิเดชันของกรดไขมันสายยาว (Saunderson and Mackinlay, 1990) โดยบีเทนสามารถทำหน้าที่แทนโดยสามารถให้หมู่เมทิลในปฏิกิริยาการกระตุ้นการทำงานของหลายเอนไซม์ ซึ่งมีความจำเป็นในการสังเคราะห์โปรตีน และการเผาผลาญพลังงาน (energy metabolism) การสังเคราะห์เมไทโอนีนจากโฮโมซิสทีน การสังเคราะห์คาร์นิทีน (carnitine) ครีเอทีน (creatine) และ ฟอสฟาติดีลโคลีน (phosphatidylcholine) โดยบีเทน ทำหน้าที่ให้หมู่เมทิลทำให้โฮโมซิสทีนเปลี่ยนเป็นเมไทโอนีน และ เอส-อะดีโนซิลเมไทโอนีน ซึ่งเป็นหมู่เมทิลที่เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ คาร์นิทีน (carnitine) (Cadogan *et al.*, 1993) โดยคาร์นิทีนจะทำการลำเลียงขนส่งกรดไขมันสายยาว (long chain fatty acids) จาก cytosol เข้าไปเผาผลาญใน mitochondrial matrix เพื่อเปลี่ยนให้เป็นพลังงาน โดยกระบวนการสลายกรดไขมันที่เรียกว่า เบต้า-ออกซิเดชัน (β -oxidation) เพื่อสลายเป็นพลังงาน (ATP) สามารถช่วยในการเปลี่ยนแปลงพลังงาน และส่งผลทำให้ลดการสะสมไขมันในร่างกาย (พจน์ และคณะ, 2543) จากการศึกษาของ Fernandez-Figares *et al.* (2002) พบว่า ในกล้ามเนื้อมีการสะสมคาร์นิทีน และสารประกอบกรดไขมันคาร์นิทีน (carnitine-fatty acid complex) มากขึ้นช่วยให้การใช้ประโยชน์ได้ของไขมันดีขึ้น

การเสริมบีเทนแอนไฮดรส์ในน้ำดื่มของไก่เนื้อที่ระดับ 2 กรัมต่อลิตร ทำให้ระดับคอเลสเตอรอล กรดโอเลอิก (oleic acid) กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวรวม (monounsaturated fatty acid) กรดปาล์มิติก (palmitic acid) และกรดไขมันอิ่มตัวรวม (saturated fatty acid) ต่ำกว่ากลุ่มควบคุม ($P<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 8 ผลการศึกษาค้นคว้านี้แสดงให้เห็นว่าบีเทนมีอิทธิพลต่อการเผาผลาญ คอเลสเตอรอล โดยเอนไซม์ 3-hydroxy-3-methylglutaryl-CoA reductase (HMGCR) จัดเป็น

เอนไซม์ที่สำคัญสำหรับการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลและตัวรับ LDL และ HDL ที่มีหน้าที่ในการขนส่งของส่วนประกอบไลโปโปรตีนเข้าสู่เซลล์ โดยการทดลองเสริมบีเทนในอาหารสุกรสามารถเพิ่ม HMGCR expression ในกล้ามเนื้อ *L. Lumborum* (Albuquerque *et al.*, 2017)

5. ผลการการเสริมบีเทนแอนไฮดรส์ในน้ำดื่มของไก่เนื้อต่อผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ

การเสริมบีเทนแอนไฮดรส์ในน้ำดื่มของไก่เนื้อที่ระดับ 2 กรัมต่อลิตร ทำให้ต้นทุนค่าอาหารต่อตัวน้อยกว่าไก่เนื้อกลุ่มควบคุม ($P<0.05$) อีกทั้งผลกำไรต่อตัว และผลตอบแทนจากการลงทุน (ROI %) สูงกว่าไก่เนื้อกลุ่มควบคุม ($P<0.05$) ผลตอบแทนจากการขายต่อตัวของไก่เนื้อทั้งสองกลุ่มทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 9 การเสริมบีเทนแอนไฮดรส์ให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจที่ดีกว่าเห็นได้จากต้นทุนค่าอาหารต่อตัวของไก่เนื้อที่เสริมต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริม (60.81 เทียบกับ 67.05 บาทต่อตัว) ส่งผลให้ผลตอบแทนทางกำไรต่อตัวของไก่เนื้อที่เสริมสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริม (11.82 เทียบกับ 3.86 บาทต่อตัว) อีกทั้งไก่เนื้อที่เสริมบีเทนแอนไฮดรส์ในน้ำดื่มให้ผลตอบแทนจากการลงทุนที่สูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริม (19.50 เทียบกับ 5.88 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งค่าผลตอบแทนจากการลงทุนทำให้ทราบถึงความคุ้มค่าจากการลงทุนว่าให้ได้รับผลตอบแทนที่น่าพอใจ และคุ้มค่าอย่างไร ซึ่งขัดแย้งกับการทดลองของ ปราณี และคณะ (2548) ที่ระบุว่า การเสริมบีเทนในอาหารของไก่เนื้อ ที่ระดับ 0, 0.05 และ 0.10 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีผลต่อต้นทุนค่าอาหารทั้งหมด ($P>0.05$) ทั้งนี้ต้นทุนค่าอาหารต่อตัวของไก่เนื้อแปรผันตรงกับปริมาณการกินอาหารของสัตว์ กล่าวคือ เมื่อสัตว์มีประสิทธิภาพการใช้อาหารสูงทำให้ต้นทุนค่าอาหารลดลงตามไปด้วยโดยการทดลองครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าการเสริมบีเทนสามารถช่วยลดต้นทุนค่าอาหารในการเลี้ยงไก่เนื้อได้ ($P<0.05$)

Table 8. Effect of betaine anhydrous supplementation in drinking water on cholesterol and fatty acid in meat

Fatty acid composition in meat (g/100 g total fat)	Betaine anhydrous supplementation levels in drinking water		<i>Pr>T</i>
	Control (0 g/l)	2.0 g/l	
Cholesterol	70.97 ± 2.14	58.93 ± 1.58	0.0459
Monounsaturated fatty acid	0.74 ± 0.04	0.45 ± 0.03	0.0213
Palmitoleic acid (C16:1c)	0.08 ± 0.01	0.05 ± 0.01	0.9187
Veccenic acid (C18:1w7c)	0.04 ± 0.01	0.03 ± 0.01	0.2876
Oleic acid (C18:1w9c)	0.62 ± 0.03	0.37 ± 0.02	0.0469
Polyunsaturated fatty acid	0.26 ± 0.06	0.24 ± 0.06	0.8275
Linoleic acid (C18:2w6c)	0.24 ± 0.08	0.22 ± 0.07	0.1456
Eleostearic acid (C18:3w3):ALA	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.8643
Eicosatrienoic acid (C20:3w6)	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.8860
Saturated fatty acid	0.61 ± 0.02	0.38 ± 0.04	0.0237
Myristic acid (C14:0)	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.0638
Palmitic acid (C16:0)	0.45 ± 0.03	0.27 ± 0.02	0.0356
Stearic acid (C18:0)	0.15 ± 0.01	0.10 ± 0.01	0.4991
Omega 3 fatty acid	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.3135
Omega 6 fatty acid	0.24 ± 0.02	0.23 ± 0.01	0.6965
Omega 9 fatty acid	0.63 ± 0.04	0.57 ± 0.03	0.0600

Table 9. Effect of betaine anhydrous supplementation in drinking water on economic benefit return

Economic benefit return	Betaine anhydrous supplementation levels in drinking water		<i>Pr>T</i>
	Control (0 g/l)	2.0 g/l	
Feed cost per gain (THB/bird)	67.05 ± 2.14	60.81 ± 2.46	0.0295
Salable bird return (THB/bird)	70.91 ± 2.53	72.63 ± 0.91	0.3303
Net profits return per bird (THB/bird)	3.86 ± 4.31	11.82 ± 1.56	0.0395
Return of investment (%)	5.88 ± 6.50	19.50 ± 3.39	0.0322

สรุป

การเสริมบีเทนแอนไฮไดรส์ในน้ำดื่มของไก่เนื้อที่ระดับ 2 กรัมต่อลิตร ช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้อาหาร และดัชนีประสิทธิภาพการผลิต แต่ไม่มีผลต่อสมรรถนะการผลิตด้านอื่น การย่อยได้ของโภชนาเปอรเซ็นต์ซาก เปอรเซ็นต์ชิ้นส่วน รวมถึงคุณภาพทางกายภาพของเนื้อ นอกจากนี้การเสริมบีเทนแอนไฮไดรส์ใน

น้ำดื่มของไก่เนื้อเพิ่มจำนวนของเม็ดเลือดขาว (white blood count) ค่าเม็ดเลือดขาวชนิด lymphocyte และลดอัตราส่วนเม็ดเลือดขาวชนิด Heterophil ต่อ lymphocyte (H/L ratio) รวมถึงลดปริมาณไขมันรวม คอเลสเตอรอล กรดไขมันอิ่มตัวในเนื้อไก่ นอกจากนี้การเสริมบีเทนแอนไฮไดรส์ ในน้ำดื่มของไก่เนื้อที่ระดับ 2 กรัมต่อลิตรสามารถช่วยลดต้นทุนค่าอาหาร ช่วยเพิ่มผลกำไรต่อตัว และผลตอบแทนจากการลงทุนที่สูงกว่าไก่เนื้อกลุ่มควบคุม

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัย คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี
การเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่สนับสนุนการวิจัยใน
ครั้งนี้ และขอขอบพระคุณ บริษัท ปิ๊อิงเวล จำกัด ที่
เชื้อเพื่อผลิตภัณฑ์บีเทนแอนไฮดรส์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้
รวมถึงขอขอบพระคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์
เพชรบุรีที่เชื้อเพื่อสถานที่เลี้ยงสัตว์ทดลอง ขอขอบคุณ
เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ และ
ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เนื้อสัตว์คณะสัตวศาสตร์และ
เทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร
ที่ช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการวิเคราะห์
ตัวอย่าง

เอกสารอ้างอิง

กันยา พลเสน สุทธิพงศ์ อริยะพงศ์สรรค์ ประสาน ตังค-
วัฒนา และ อมรรัตน์ วันอังคาร. 2555. ผลการ
เสริมบีเทนในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิต
คุณภาพซาก และคุณภาพเนื้อของไก่เนื้อ. แก่น
เกษตร 40(2): 458-462.
ปราณี ภิรมย์พุด เสกสม อาตมากร ชัยภูมิ บัญชาศักดิ์
และ อมรรัตน์ พรหมบุญ. 2548. ผลการเสริม
สารบีเทนในอาหารไก่เนื้อที่เลี้ยงในสภาพ
อากาศร้อนชื้นต่อสมรรถภาพการผลิตและ
คุณภาพซาก. การประชุมทางวิชาการของ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
พจน์ ศรีบุญลือ โสพิศ วงศ์คำ และ พัชรีย์ บุญศิริ. 2543.
ตำราชีวเคมี. พิมพ์ครั้งที่ 3. โรงพิมพ์คณะ
แพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
มนัสนันท์ นพรัตน์ไมตรี กฤติยา เลิศขุนทดเกียรติ จิรัฐ
วัฒน์ ศรีอ่อนเลิศ และวรางคณา กิจพิพิธ. 2557.
ผลของการเสริมโปรไบโอติกส์ (แบคทีเรีย) ใน
น้ำดื่มต่อการย่อยได้ของโภชนา: สัตวศาสตร์
ของลำไส้เล็ก เปอร์เซ็นต์ซากและคุณภาพเนื้อ
ของไก่เนื้อ. แก่นเกษตร 42(2): 221-230.

มนัสนันท์ นพรัตน์ไมตรี และ วรางคณา กิจพิพิธ. 2559.
การศึกษาผลของบริเวณและชั้นที่เลี้ยงภายใน
โรงเรือนแบบปิดต่อสภาพแวดล้อม ดัชนี
ความเครียดเนื่องจากความร้อน และอัตราการ
ตายของไก่เนื้อ. แก่นเกษตร 43(ฉบับพิเศษ 1):
517-522.

มนัสนันท์ นพรัตน์ไมตรี วรางคณา กิจพิพิธ ชวลิต
ผึ่งปฐมภรณ์ ศราวุธ ม่วงเผือก เอกกมล กมล-
ลาภวรกุล นาฎยา แบ่งลาภ และ เสาวภา
เขียนงาม. 2558. ผลของการเสริมซินไบโอติกส์
ต่อสมรรถภาพการผลิตไก่เนื้อและผลตอบแทน
ทางเศรษฐกิจ. วารสารเกษตร 31(3): 221-230.

วิโรจน์ จันทรรัตน์. 2538. . เลือดและของเหลวในร่างกาย.
กายวิภาคและสรีรวิทยาของสัตว์ปีก. สถาบัน
เทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้, เชียงใหม่. 873 หน้า.

สถาบันสุขภาพสัตว์แห่งชาติ. 2556. คู่มือการเก็บ
ตัวอย่าง. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล:
[http://vrdsp.dld.go.-th/ts/images/PDF/
SpecimenManual01032556_2.pdf](http://vrdsp.dld.go.-th/ts/images/PDF/SpecimenManual01032556_2.pdf) (14
กันยายน 2558).

สัญญาชัย จตุรสีทธา. 2553. เทคโนโลยีเนื้อสัตว์. พิมพ์ครั้งที่
3. ภาควิชาสัตวศาสตร์และสัตว์น้ำ คณะ
เกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่,
เชียงใหม่.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2557. สถานการณ์สินค้า
เกษตรที่สำคัญและแนวโน้มปี 2557. สำนักงาน
เศรษฐกิจการเกษตร, กรุงเทพฯ.

Aengwanich, W. and O. Chinrasri. 2002. Effect of
heat stress on body temperature and
hematological parameters in male layer.
Thai Journal of Physiological Science 15:
27-33.

Altan, O., A. Altan, M. Cabuk and H. Bayraktar. 2000.
Effect of heat stress on some blood
parameter in broiler. Turkish Journal of
Veterinary and Animal Science 24: 145-148.

Amerah A.M. and V. Ravindran. 2015. Effect of
coccidia challenge and natural betaine

- supplementation on performance, nutrient utilization, and intestinal lesion scores of broiler chickens fed suboptimal level of dietary methionine. Poultry Science 94(4): 673-680.
- Ao, X.J., S. Yoo, T.X. Zhou, J.J.P. Wang, Q.W. Meng, L. Yan, J.H. Cho and I.H. Kim. 2011. Effects of fermented garlic powder supplementation on growth performance, blood profile and breast meat quality in broilers. Livestock Science 141: 85-89.
- AOAC. 1995. Official Methods of Analysis. 19th edition. Association of Official Analytical Chemist, Washington, D.C.
- Attia, Y.A., R.A. Hassan and E.M.A. Qota. 2009. Recovery from adverse effects of heat stress on slow-growing chicks in the tropics 1: Effect of ascorbic acid and different levels of betaine. Tropical Animal Health and Production 41: 807-818.
- Albuquerque, A., J.A. Neves, M. Redondeiro, M. Laranjo, M.R. Félix, A. Freitas, J.L. Tirapicos and J.M. Martins. 2017. Long term betaine supplementation regulates genes involved in lipid and cholesterol metabolism of two muscles from an obese pig breed. Meat Science 124: 25-33
- Alirezaei, M., H.R. Gheisari, V.R. Ranjbar, A. Hajibemani. 2012. Betaine: a promising antioxidant agent for enhancement of broiler meat quality. British Poultry Science 53: 699-707.
- Augustine, P.C., J.L. McNaughton, E. Virtanen and L. Rosi. 1997. Effect of betaine on the growth performance of chicks inoculated with mixed cultures of avian *Eimeria* species and on invasion and development of *Eimeria tenella* and *Eimeria acervulina* in vitro and in vivo. Poultry Science 76: 802-809.
- Awad A.L., A.F. Ibrahim, H.N. Fahim and M.M. Beshara. 2014. Effect of dietary betaine supplementation on growth performance and carcass traits of Domyati ducklings under summer conditions. Egyptian Poultry Science 34(4): 1019-1038.
- Cadogan, D.J., R.G. Campbell, D. Harrison and A.C. Edwards. 1993. The effect of betaine on the growth performance and carcass characteristics of female pigs. pp. 219. In: E.S. Batterhan (ed.). Manipulating Pig Production, Aust. Pig Science Association, Attwood. Victoria.
- Chiang, P.K., R.K. Cordon, J. Tal, G.C. Zeng, B.P. Doctor, K. Pardhasaradhi and P.P. Mccann. 1996. S-adenosylmethionine and methylation. The FASEB Journal 10: 471-480.
- Chu, Y.H., D.L. Huffman, G.R. Trout and W.R. Egbert. 1987. Color and color stability of frozen restructured beef steaks: effect of sodium chloride, tripolyphosphate, nitrogen atmosphere and processing procedures. Food Science 52: 869-875.
- Deeb, N. and A. Cahaner. 2001. Genotype-by-environment interaction with broiler genotypes differing in growth rate. 1. The effects of high ambient temperature and naked-neck genotype on lines differing in genetic background. Poultry Science 80: 695-70.
- El-Husseiny, O.M., M.A. Abo-El-Ella, M.O. Abd-Elsamee and M.M. Abd-Elfattah. 2007. Response of broilers performance to dietary betaine and folic acid at different

- methionine levels. International Journal of Poultry Science 6(7): 515-523.
- Ezzat, W., M.S. Shoeib, S.M.M. Mousa, A.M.A. Bealish and Z.A. Ibrahim. 2011. Impact of betaine, vitamin C and folic acid supplementation to the diet on productive and reproductive performance of MATROUH poultry strain under Egyptian summer condition. Egyptian Poultry Science 31: 521-537.
- Garcia, E.E. and M. Stefan. 2000. The effect of DL-methionine and betaine on growth performance and carcass characteristics in broilers. Animal Feed Science and Technology 87(1-2): 85-93.
- Fernandez-Figares, I., D. Wray-Cahen, N.C. Steele, R.G. Campbell, D.D. Hall, E. Virtanen and T.J. Caperna. 2002. Effect of dietary betaine on nutrient utilization and partitioning in the young growing feed restricted pig. Journal Animal Science 80: 421-428.
- Hossain, M.E., G.W. Kim, S.K. Lee and C.J. Yang. 2012. Growth performance, meat yield, oxidative stability, and fatty acid composition of meat from broiler fed diets supplemented with a medicinal plant and probiotics. Asian Australasian Journal Animal Science 25(8): 1159-1168.
- Fu, Q., Z.X. Leng, L.R. Ding, T. Wang, C. Wen and Y.M. Zhou. 2016. Complete replacement of supplemental DL-methionine by betaine affects meat quality and amino acid contents in broilers. Animal Feed Science and Technology 212: 63-69.
- Khaksefidi, A. and Sh. Rahimi. 2005. Effect of probiotic inclusion in the diet of broiler chickens on performance, feed efficiency and carcass quality. Asian Australasian Journal Animal Science 18(8): 1153-1156.
- Lepage, G. and C.C. Roy. 1986. Direct transesterification of all classes of lipids in a one-step reaction. Journal of Lipid Research 27: 114-120.
- Liu, X., H. Yan, L. Lv, Q. xu, C. Yin, K. Zhang, P. Wang and J. Hu. 2012. Growth performance and meat quality of broiler chickens supplemented with *Bacillus licheniformis* in drinking water. Asian Australasian Journal Animal Science 25(5): 682-689.
- Liu, G., K. Zong, L. Zhang and S. Cao. 2010. Dietary methionine affect meat quality and myostatin gene exon 1 region methylation in skeletal muscle tissues of broilers. Agricultural Science China 9: 1338-1346.
- Mahmoud, K.Z., F.W. Edens, E.J. Eisenand and G.B. Havenstein. 2004. Ascorbic acid decreases heat shock protein 70 and plasma corticosterone response in broilers (*gallus gallus domesticus*) subjected to cyclic heat stress. Comparative Biochemistry and Physiology 137: 35-42.
- Mashaly, M.M., G.L. Hendricks, M.A. Kalama, A.E. Gehad, A.O. Abbas and P.H. Patterson. 2004. Effect of heat stress on production parameters and immune responses of commercial laying hens. Poultry Science 83: 889-894.
- McDevitt, R., S. Mack and I. Wallis. 1999. The effect of DL-methionine and betaine supplementation on growth performance and carcass composition in male broilers. Feedstuff 3: 11-23.

- Mountzouris, K.C., P. Tsirikos, I. Palamidi, A. Arvanniti, M. Mohnl, G. Schatmayr and K. Fegeros. 2010. Effect of probiotic inclusion level in broiler nutrition on growth performance, nutrient digestibility, plasma immunoglobulin, and cecal microflora composition. *Poultry Science* 89: 588-593.
- NRC. 1994. Nutrient Requirement of Poultry. 9th ed. NRC, Washington, D.C.
- R Core Team. 2013. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.
- Ratriyanto A., R. Mosenthin, R. Bauer and M. Eklund. 2009. Metabolic osmoregulatory and nutritional functions of betaine in monogastric animals. *Asian Australasian Journal Animal Science* 22: 1461-1476.
- Saunderson, C.L. and J. Mackinlay. 1990. Changes in body weight, composition and hepatic enzyme activities in response to dietary methionine, betaine and choline levels in growing chicks. *British Journal of Nutrition*. 63: 339-349.
- Sayed, M.A.M. and J. Downing. 2011. The effects of water replacement by oral rehydration fluids with or without betaine supplementation on performance, acid-base balance, and water retention of heat-stressed broiler chickens. *Poultry Science* 90(1): 157-167.
- Sharifi, S.D., A. Dibamerhr, H. Lotfollahian and B. Baurhoo. 2012. Effects of flavomycin and probiotic supplementation to diets containing different sources of growth performance, intestinal morphology, apparent metabolizable energy, and fat digestibility in broiler chickens. *Poultry Science* 91: 918-927.
- Steel, R.G.D. and J.H. Torrie. 1992. Principles and Procedures of statistics: A Biometrical Approach. 2nd ed. McGraw-Hill Book Co., Inc., Singapore.
- Sun, H., W.R. Yang, Z.B. Yang, Y. Wang, S.Z. Jiang and G.G. Zhang. 2008. Effects of betaine supplementation to methionine deficient diet on growth performance and carcass characteristics of broilers. *American Journal of Animal and Veterinary Science* 3: 78-84.
- Temim, S., A. M. Chagneau, S. Guillaumin, J. Michel, R. Peresson and S. Tesseraud. 2000. Does excess dietary protein improve growth performance and carcass characteristics in heat-exposed chickens. *Poultry Science* 78: 312-317.
- Waldenstedt, L., K. Elwinger, P. Thebo and A. Uggla. 1999. Effect of betaine supplement on broiler performance during an experimental coccidial infection. *Poultry Science* 78(2) : 182-189.
- Wang, Y.Z., Z.R. Xu and J. Feng. 2004. The effect of betaine and DL-methionine on growth performance and carcass characteristics in meat ducks. *Animal Feed Science and Technology* 116(1-2): 151-159.
- Xu, Z., D. Yu and Y. Wang. 2000. The effects of betaine on weanling piglets and its mechanism. *Journal of Zhejiang Agricultural University* 25: 543-546.
- Zhan, X.A. and Z.R. Ku. 1999. Effect of betaine on meat quality and mechanism of the effects in finishing broilers. *Journal of Zhejiang Agricultural University* 25: 611-614.
- Zhao, L., X. Zhang, F. Cho, D. Sun, T. Wang and G. Wary. 2003. Effects of dietary supplementation with fermented *Ginkgo*-leaves on performance, egg quality, lipid

metabolism and egg-yolk fatty acids
composition in laying hens. *Livestock
Science* 155: 77-85.

Zhou, X., Y. Wang, Q. Gu and W. Li. 2010. Effect of
dietary probiotic, *Bacillus coagulans*, on
growth performance, chemical
composition, and meat quality of Guangxi
Yellow chicken. *Poultry Science* 89: 588-
593.