

**ผลของแหล่งกรดอะมิโนเมทไธโอนีนต่อสมรรถภาพการผลิตและการใช้ประโยชน์ได้
ของสารอาหารในไก่กระທးเพศผู้**

**Effect of Methionine Sources on Production Performance and Nutrients
Utilization of Male Broiler Chickens**

คำนำ

ไก่กระທးທးหรือไก่เนื้อ เป็นสัตว์เศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยจนเป็นอุตสาหกรรมที่ผลิตเพื่อการบริโภคภายในประเทศและส่งออกต่างประเทศ ปริมาณการนำเข้าไก่กระທးระดับปู - ย่า เดือนพฤศจิกายน 2547 ทั้งหมดมีประมาณ 16,413 ตัว (เป็นเพศผู้ 4,786 ตัว เพศเมีย 11,627 ตัว) มูลค่า 21.22 ล้านบาท และลูกไก่พ่อ-แม่พันธุ์จำนวน 134,360 ตัว (เป็นเพศผู้ 17,500 ตัว เพศเมีย 116,860 ตัว) มูลค่า 17.23 ล้านบาท โดยเป็นการนำเข้าไก่พ่อ-แม่พันธุ์เพิ่มจากเดือนตุลาคม 2547 ร้อยละ 43 (กรมปศุสัตว์, 2548) เนื่องจากผู้ผลิตไก่กระທးคาดว่ารัฐบาลจะสามารถควบคุมสถานการณ์ใช้หัวคนได้ จึงเตรียมนำเข้าไก่พันธุ์เพื่อการเลี้ยงในอนาคด อย่างไรก็ตามการเลี้ยงไก่กระທးในประเทศไทยยังคงประสบปัญหาการผลิตหลาย ๆ เรื่อง เช่น ปัญหาเรื่องของกลิ่นและมูลของไก่ที่ทำให้เกิดปัญหามลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม ปัญหาสมรรถภาพการผลิตตกต่ำซึ่งเกิดจากอุณหภูมิสภาพแวดล้อมที่สูงและเปลี่ยนแปลงได้ง่าย และปัญหาราคาอาหารแพง เป็นต้น

อาหารไก่กระທးมีราคาแพงนั้นเป็นผลมาจาก วัตถุดิบอาหารสัตว์มีราคาสูงขึ้น มีความเข้มงวดในการเลือกใช้วัตถุดิบที่ปลอดภัยกับตัวสัตว์และผู้บริโภคมากขึ้น จึงทำให้รูปแบบของอาหารสัตว์ในปัจจุบันเปลี่ยนไป โดยมีการใช้ถั่วเหลืองทดแทนปลาป่น อย่างไรก็ตามถั่วเหลืองเป็นแหล่งให้โปรตีนที่มีกรดอะมิโนที่จำเป็นอยู่ไม่เพียงพอ จึงต้องมีการเสริมกรดอะมิโนสังเคราะห์ต่าง ๆ ลงไป เช่น ไลซีน ทรีโอนีน เมทไธโอนีน เป็นต้น โดยเฉพาะเมทไธโอนีน ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่จำกัดอันดับแรกในสัตว์ปีก (first limiting amino acid) โดยเมทไธโอนีนมีบทบาทสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนและเป็นตัวให้หมู่เมธิล อีกทั้งยังเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ซิสเตอีน ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่มีความสำคัญในการผลิตขนในไก่

ปัจจุบันแหล่งของเมทไธโอนีนสังเคราะห์ได้มาจาก 2 แหล่งคือ DL-Methionine ในรูปผง (powder) และ DL-Methionine Hydroxy Analog (DL-MHA) ในรูปของเหลว (liquid) ซึ่งในทางทฤษฎีแล้ว DL-MHA นั้นมีประสิทธิภาพเท่ากับ 88 % ของ DL-Met (น้ำหนัก/น้ำหนัก) อย่างไรก็ตามมีรายงานประสิทธิภาพของแหล่งเมทไธโอนีนทั้งสอง ในด้านของสมรรถภาพการผลิตซึ่งแตกต่างกันตั้งแต่ 65-88 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้นยังไม่มีรายงานผลที่มีต่อการสะสมสารอาหารและสรีระของไก่กระทุง แม้ว่า DL-MHA และ DL-Met จะมีความแตกต่างกันทั้งทางเคมีและกายภาพก็ตาม ยิ่งไปกว่านี้ MHA ยังมีค่า pH ที่ต่ำกว่า DL-Met (pH น้อยกว่า 1 เทียบกับ pH 5.7) เมื่อเสริม MHA ในอาหารไก่กระทุงแล้วทำให้ pH ในอาหารไก่กระทุงต่ำกว่าการเสริม DL-Met ค่า pH ที่ต่ำลงนี้อาจส่งผลต่อการดูดซึมแคลเซียมในลำไส้เล็กเพิ่มมากขึ้น จนอาจส่งผลต่อการสะสมแคลเซียมไว้ในกระดูกเพิ่มมากขึ้น

ดังนั้น การทดลองนี้จึงมุ่งศึกษาแหล่งของเมทไธโอนีน ซึ่งมาจาก 2 แหล่ง คือ DL-Met และ DL-MHA ต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่กระทุงในด้านการเจริญเติบโต คุณภาพซาก อวัยวะภายใน องค์ประกอบทางเคมีของตับ มวล และพลาสมา เพื่อที่จะให้มีการศึกษาเพิ่มเติมจนสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการลดต้นทุนค่าอาหารไก่กระทุงต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาสมรรถภาพการผลิตของไก่กระทุงในการใช้แหล่งของเมทไธโอนีนที่ต่างกัน
2. ศึกษาผลของแหล่งเมทไธโอนีนต่อการสะสมแคลเซียมกระดูก tibia
3. ศึกษาอิทธิพลของแหล่งเมทไธโอนีนต่อ pH ในระบบทางเดินอาหาร อวัยวะภายใน และองค์ประกอบทางเคมีของตับ

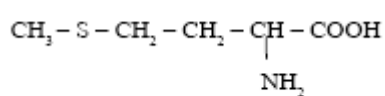
การตรวจเอกสาร

เมทไธโอนีน

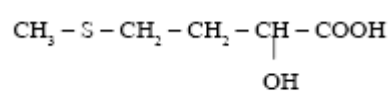
Methionine (DL-Met) เป็นกรดอะมิโนที่จำเป็น (essential amino acid) ที่มีกำมะถัน (sulfur amino acid) เป็นองค์ประกอบ เช่นเดียวกับกรดอะมิโน ซีสเตอีน (cysteine; Cys) ในทางโภชนาศาสตร์ เรียกกรดอะมิโนทั้ง เมทไธโอนีน และ ซีสเตอีนว่า Total Sulfur Amino Acid (TSSA) เมทไธโอนีนมีชื่อทางเคมีว่า 2-amino-4-(methylthio) butyric acid มีสูตรโครงสร้างอย่างง่ายคือ $C_5H_{11}NO_2S$ มีน้ำหนักโมเลกุล (molecular weight) 149.21 (Sumitomo, 2004) ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ นิยมใช้ DL-Met ในรูปผง ซึ่งมีลักษณะเป็นผลึกสีขาว มีกลิ่นและรสหวานเล็กน้อย ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent) มีจุดหลอมเหลวประมาณ 281 องศาเซลเซียส ความหนาแน่น 0.50-0.70 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร pH อยู่ระหว่าง 5.2-6.1 และมีไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) ประมาณ 9.4 เปอร์เซ็นต์ (Sumitomo, 2004)

Methionine Hydroxy Analogue

Methionine Hydroxy Analogue (MHA) เป็นสารที่มีโครงสร้างโมเลกุลคล้ายกรดอะมิโนเมทไธโอนีน แตกต่างกันว่า MHA ไม่มีหมู่อะมิโน (NH_2) แต่มีหมู่ไฮดรอกซี (OH) แทนหมู่อะมิโน ดังภาพที่ 1 ซึ่ง MHA นี้ถูกสังเคราะห์ด้วยขบวนการทางเคมี โดยมี D และ L-OH ในอัตราส่วน 1:1 ซึ่งตัวที่ใช้ได้อยู่ในรูปของเกลือหรืออยู่ในรูปอิสระ (Dibner, 1983) MHA เป็นเพียง feed additive ที่ไม่ใช่กรดอะมิโน เพราะไม่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างโมเลกุล



DL-Met

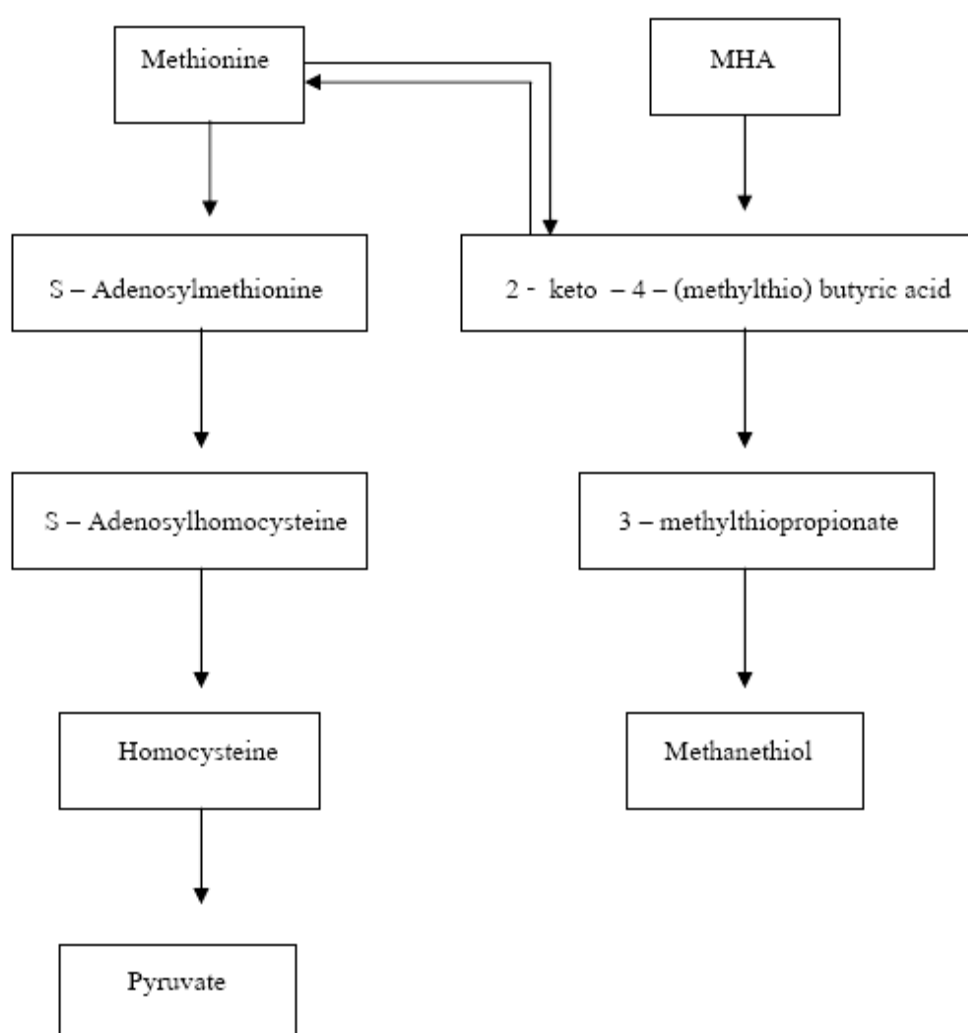


MHA

ภาพที่ 1 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของ DL-Met และ MHA

ที่มา : Dibner (1983)

MHA ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์นั้นถูกสังเคราะห์จากขบวนการทางเคมี โดยมี D- และ L-OH-Methionine ในอัตราส่วน 1:1 (DL-OH-Methionine) ซึ่งสามารถอยู่ในรูปของเกลือ calcium หรือในรูปอิสระ (Methionine Hydroxy Analogue Free Acid) ลักษณะโดยทั่วไปเป็นของเหลวสีน้ำตาลคล้ายกากน้ำตาล มีความหนืด ประกอบด้วย methionine ประมาณ 88 เปอร์เซ็นต์ และมีน้ำประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ MHA เมื่อเข้าสู่ร่างกายสัตว์สามารถเปลี่ยนเป็นกรดอะมิโนได้ ดังแสดงในภาพที่ 2 (Sumitomo, 2004)

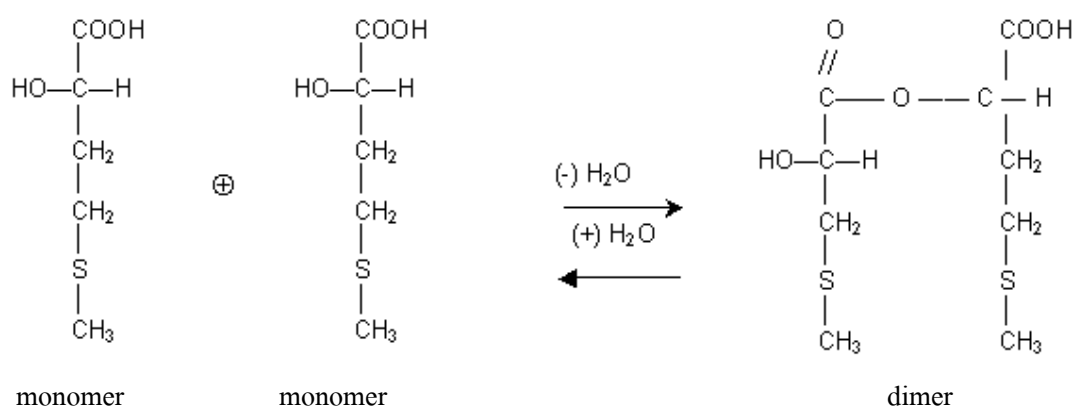


ภาพที่ 2 เมตาบอลิซึมของ Methionine และ MHA

ที่มา : ดัดแปลงจาก Dibner and Knight (1984)

MHA และ DL-Met สามารถเปลี่ยนเป็น L-Methionine ได้โดย MHA จะถูกเปลี่ยนเป็น 2-keto-4-(methylthio) butyric acid ซึ่งเป็น keto analogue จากนั้นจึงนำหมู่อะมิโน (NH_3) เข้ามาแทนที่หมู่ ketone ซึ่งเป็นปฏิกิริยา transamination สำหรับกรดอะมิโนที่ให้หมู่อะมิโน ส่วนใหญ่เป็นกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น เช่น glutamic acid (Cheeke 1999; Leeson 1991) ทำให้ MHA เปลี่ยนเป็น L-Methionine เช่นเดียวกับ D-Methionine ที่เปลี่ยนเป็น L-Methionine จะต้องผ่าน keto analogue ก่อนเสมอ โดยในสัตว์ปีกและสุกรสามารถใช้เมทไธโอนีน ในรูป D และ L-isomer ได้ดีเท่า ๆ กัน

MHA ที่ใช้ในอุตสาหกรรมมี polymer ของ 2-hydroxy-4-(methylthio) butyric acid หลายชนิด ได้แก่ monomer, dimer, trimer และ oligomer โดย MHA ที่มีเมทไธโอนีน 88% ประกอบด้วย monomer form 77% (ตารางที่ 1) ซึ่งสัตว์ปีกสามารถดูดซึมและใช้ประโยชน์จาก monomer form ได้อย่างรวดเร็วในลำไส้เล็กส่วนต้น (Lawson and Ivey, 1986) ส่วนโครงสร้างที่เป็น dimer, trimer และ oligomer ต้องทำปฏิกิริยา hydrolysis ด้วยน้ำ ให้ได้เป็น monomer form ก่อน ร่างกายสัตว์จึงสามารถดูดซึมและใช้ประโยชน์ได้



ภาพที่ 3 โครงสร้างของ MHA ใน monomer และ dimer form

ที่มา : Dibner (1983)

ตารางที่ 1 สัดส่วนของ monomer, dimer, trimer และ oligomer ใน MHA

เปอร์เซ็นต์ เมทไธโอนีน	เปอร์เซ็นต์ใน MHA			
	Monomer	Dimer	Trimer	oligomer
88 ¹	77.0	17.2	4.0	1.8
80	86.5	10.2	2.8	0.5
70	92.0	6.2	1.8	0
60	96.2	3.8	1.0	0
50	97.7	1.8	0.3	0
40	99.5	0.5	0	0
30	100	0	0	0
20	100	0	0	0
10	100	0	0	0

¹MHA ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์

ที่มา : Lawson and Ivey (1986)

ความสำคัญของเมทไธโอนีนในไก่กระทอง

เมทไธโอนีนเป็นกรดอะมิโนจำเป็นที่ต้องเสริมในอาหาร เพราะสัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์ได้โดยในสัตว์ปีก เมทไธโอนีนจัดเป็นกรดอะมิโนที่มีความสำคัญอันดับที่หนึ่ง (first limiting amino acid) สำหรับการสังเคราะห์โปรตีน นอกจากนี้เมทไธโอนีนยังมีความสำคัญในการเป็นตัวให้หมู่เมธิล (-CH₃) เมทไธโอนีนยังสามารถทำปฏิกิริยากับ ATP ได้ S-Adenosylmethionine (SAM) ซึ่งสามารถให้หมู่เมธิลแก่ตัวรับหลายชนิดแล้วเปลี่ยนเป็น homocysteine ซึ่งสามารถรับหมู่เมธิลจาก N-methyl-tetrahydrofolate (CH₃-FH₄) กลับเป็นเมทไธโอนีนได้อีก (Kuchel and Ralston, 1988)

เมทไธโอนีนยังเป็นสารตั้งต้นสำหรับขบวนการสังเคราะห์กรดอะมิโนซิสเทอีน ซึ่งใช้ผลิตขนไก่ (Card and Nesheim, 1972) ในอดีตได้จัดเมทไธโอนีนและซิสเทอีนเป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นต้องมีในอาหารสัตว์ แต่ปัจจุบันพบว่าซิสเทอีนสามารถสร้างขึ้นได้จากเมทไธโอนีน อย่างไรก็ตามปฏิกิริยานี้จะไม่เกิดขึ้นกลับ จึงทำให้สัตว์ไม่สามารถเปลี่ยนซิสเทอีนเป็นเมทไธโอนีนได้ ขณะที่ความต้องการเมทไธโอนีนนั้น บางส่วนเป็นความต้องการซิสเทอีน ซึ่งซิสเทอีนเป็นปัจจัยสำคัญในการผลิตขนสัตว์ (Grizzle *et al.*, 1988) ไก่ที่กำลังเจริญเติบโตต้องการเมทไธโอนีนระหว่าง 0.27-0.60 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าซิสเทอีนในอาหารมีมากน้อยเพียงใด (Shoveller *et al.*, 2003)

แหล่งของเมทไธโอนีน

องค์ประกอบส่วนใหญ่ในอาหารไก่กระทงจะเป็นวัตถุดิบที่มาจากพืชเป็นหลัก เช่น ข้าวโพดและกากถั่วเหลือง เป็นต้น ทำให้ปริมาณเมทไธโอนีนมีไม่เพียงพอต่อความต้องการของไก่กระทง ถึงแม้การเปลี่ยนไปใช้แหล่งของโปรตีนจากสัตว์ทำให้มีปริมาณเมทไธโอนีนและไลซีนสูงขึ้น แต่ยังมีข้อจำกัดในการใช้ รวมทั้งมีราคาสูง ดังนั้นในการคำนวณสูตรอาหารจึงจำเป็นต้องมีการเสริมเมทไธโอนีนสังเคราะห์ในสูตรอาหาร ซึ่งส่วนใหญ่ที่ใช้ได้แก่ DL-Met และ DL-MHA

ความต้องการโปรตีนของไก่กระทง

โปรตีนเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนหลายๆ ชนิดต่อกันด้วยพันธะเปปไทด์ กรดอะมิโนแต่ละหน่วยประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิล หมู่อะมิโน และหมู่ - R - จับอยู่กับคาร์บอนอะตอม (α carbon atom) ซึ่งกรดอะมิโนแต่ละชนิดจะแตกต่างกันตรงหมู่ - R - โดยในธรรมชาติมีกรดอะมิโนมากกว่า 200 ชนิด (Pond *et al.*, 1995) แต่มีกรดอะมิโนเพียง 22 ชนิดที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีนและมีเพียง 10 ชนิดที่ร่างกายสัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์ได้ ซึ่งต้องได้รับจากอาหารเรียกว่า กรดอะมิโนจำเป็น (essential amino acid) ซึ่งได้แก่ อาร์จินีน ฮิสทิดีน ไลซีน ลูซีน ไอโซลูซีน เมทไธโอนีน เบนิลอะลานีน ทรีโพรเฟน ทรีโอนีน และวาลีน ส่วนอีก 12 ชนิดที่เหลือเป็นกรดอะมิโนที่ร่างกายสามารถสังเคราะห์ได้จากสารประกอบในโคโรเจนอื่น ๆ ซึ่งไม่จำเป็น ต้องได้รับจากอาหารเรียกว่า กรดอะมิโนไม่จำเป็น (nonessential amino acid) แต่สำหรับไก่เล็กยังต้องการกรดอะมิโนเพิ่มอีก 2 ชนิด คือ ไกลซีนและโพรลีน เนื่องจากในไก่เล็กยังไม่สามารถสังเคราะห์กรดอะมิโนทั้งสองชนิดนี้ได้เพียงพอกับความต้องการของร่างกาย (Baker, 1991)

โปรตีนเป็นโภชนะที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตและการดำรงชีวิต ไก่กินโปรตีนเพื่อใช้กรดอะมิโนในโปรตีนในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนที่เป็นส่วนประกอบของร่างกาย ได้แก่ ขนผิวหนัง กล้ามเนื้อ โครงสร้าง และเป็นส่วนประกอบของสารที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเมแทบอลิซึมต่าง ๆ ของร่างกาย ได้แก่ เอ็นไซม์ ฮอร์โมน ฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดง อิมมูโนโกลบูลิน เป็นต้น (Robinson, 1978) นอกจากนี้ยังใช้กรดอะมิโนเป็นสารตั้งต้นในการสร้างสารประกอบต่าง ๆ ของร่างกาย ที่ไม่ใช่โปรตีน (NRC, 1994)

ความต้องการเมทไธโอนีนในไก่กระทง

ในสัตว์ปีกแต่ละชนิด หรือแต่ละสายพันธุ์จะมีความสามารถในการใช้ประโยชน์ได้จากกรดอะมิโนและระดับความต้องการกรดอะมิโนแตกต่างกัน (Tesserand *et al.*, 1999) ระดับกรดอะมิโนในอาหารมีผลต่อปริมาณการกินอาหาร ซึ่งทำให้สมรรถภาพการผลิตของสัตว์นั้นสูงขึ้น (Miller *et al.*, 1960) ความต้องการกรดอะมิโนจำเป็นของไก่กระทงได้รายงานไว้ในตารางที่ 2

NRC (1984) รายงานว่ากรดอะมิโนเมทไธโอนีนเป็นกรดอะมิโนจำกัดลำดับที่ 1 ในอาหารสัตว์ปีก ขณะที่ไลซีน และ อาร์จินีน เป็นกรดอะมิโนจำกัดลำดับที่ 2 ส่วนวาเลีน และทรีโอนีนเป็นกรดอะมิโนจำกัดลำดับที่ 3 โดยทั่วไปวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นแหล่งโปรตีนที่มาจากพืช เช่น กากถั่วเหลือง กากถั่วลิสง ส่วนแหล่งโปรตีนที่มาจากสัตว์ เช่น ปลาป่น เนื้อและกระดูกป่น เป็นต้น ซึ่งโปรตีนจากสัตว์เป็นโปรตีนที่มีคุณภาพดีกว่าโปรตีนจากพืช แต่เนื่องจากแหล่งโปรตีนจากสัตว์มีราคาแพง จึงมีการใช้แหล่งโปรตีนจากพืชมากกว่าในสูตรอาหาร โดยเฉพาะกากถั่วเหลืองซึ่งถือว่าเป็นโปรตีนจากพืชที่มีคุณภาพสูง มีกรดอะมิโนจำเป็นหลายชนิด ยกเว้นกรดอะมิโนเมทไธโอนีนที่มีปริมาณต่ำมาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารที่มีการใช้กากถั่วเหลืองและข้าวโพดเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตอาหารไก่กระทง

ตารางที่ 2 ความต้องการกรดอะมิโนจำเป็นในไก่กระທระยะ 0-21 วัน

Amion acid (%)	ARC (1975)	AEC (1978)	NRC (1984)	Ajinomoto Heartland (1990)
Lysine	1.10	1.21	1.20	1.14
Methionine	0.48	0.55	0.50	0.50
TSAA	0.92	0.92	0.93	0.86
Threonine	0.74	0.75	0.80	0.69
Tryptophan	0.21	0.21	0.23	0.22
Arginine	1.03	1.27	1.44	1.30
Histidine	0.48	0.47	0.35	0.34
Isoleucine	0.85	0.87	0.80	0.74
Phenylalanine	0.85	0.81	0.72	0.67
Leucine	1.47	1.61	1.35	1.35
Valine	0.98	0.96	0.82	0.76

ที่มา : Ajinomoto Heartland (1990)

Hiramoto *et al.* (1990) รายงานว่า ไก่ที่ได้รับอาหารที่ขาดเมทไธโอนีนจะมีการสังเคราะห์โปรตีนลดลงเมื่อเทียบกับไก่กลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณของเมทไธโอนีนตามต้องการ เช่นเดียวกับ Sugahara *et al.* (1969) พบว่าไก่ที่ได้รับกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบไม่เพียงพอ จะมีผลต่อการเจริญเติบโตมากกว่าการขาดไลซีนในปริมาณที่เท่ากัน แสดงให้เห็นว่า เมทไธโอนีนจำเป็นสำหรับนำไปใช้ในการดำรงชีพมากกว่าไลซีน Almquist (1947) ทดลองใช้อาหารพื้นฐานที่ขาดเมทไธโอนีนและซิสเตอีน แล้วเสริมด้วยเมทไธโอนีนและซิสเตอีนหลายระดับจนถึงระดับสูงสุด 0.9% พบว่าการเสริมซิสเตอีนทุกระดับไม่ทำให้การเจริญของไก่ดีขึ้น แต่เมื่อเสริมเมทไธโอนีน 0.55% ทำให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของไก่ที่สุด

Bruyer and Vanbelle (1990) ได้ทำการทดลองเสริมเมทไธโอนีนจากแหล่งต่าง ๆ คือ เสริม DL-Met และ MHA ในระดับ 0.2% ในขณะที่อาหาร basal diet มีระดับของเมทไธโอนีนในอาหาร 0.31% ซึ่งเป็นระดับที่ขาดเมทไธโอนีนของไก่กระทง พบว่า การเสริมเมทไธโอนีนลงในอาหารไก่กระทงทำให้น้ำหนักไก่กระทงเพิ่มขึ้น มากกว่า basal diet นอกจากนี้ยังพบว่า การเสริมเมทไธโอนีนทำให้ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว ดีขึ้นอีกด้วย (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 การเสริม DL-Met และ MHA ในอาหารไก่กระทงระยะ 0-21 วัน

แหล่งเมทไธโอนีน	ระดับที่เสริม (เปอร์เซ็นต์)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	ปริมาณการกินอาหาร (กรัม)	อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว
Basal ¹	0.00	470 ^A	791	1.69 ^A
DL-Met	0.20	499 ^B	763	1.53 ^B
MHA	0.20	508 ^B	796	1.56 ^B
<i>S.E.</i>		4.99	20.87	0.033

¹ ประกอบด้วยเมทไธโอนีน 0.31% และ ซีสทีน 0.34%

^{A, B} ค่าแตกต่างทางสถิติในสดมส์เดียวกัน (P<0.05)

ที่มา : Bruyer and Vanbelle (1990)

สัดส่วนความต้องการกรดอะมิโนจำเป็นในไก่กระทง

สัดส่วนกรดอะมิโนจำเป็นในอาหารเป็นปัจจัยสำคัญในการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีนเพื่อการดำรงชีพและการให้ผลผลิต แสดงไว้ในตารางที่ 4 เมื่อสัตว์ได้รับโปรตีนที่มีสัดส่วนกรดอะมิโนเหมาะสมตามความต้องการจะทำให้สัตว์สามารถใช้ประโยชน์จากโปรตีนได้มากที่สุด (Cole and Van Lunen , 1994)

การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของกรดอะมิโนในอาหารอาจทำให้เกิดความไม่สมดุลของกรดอะมิโน (amino acid imbalance) ซึ่งส่งผลกระทบต่อตัวสัตว์ได้ Harper and Roger (1965) พบว่าการที่สัตว์ได้รับอาหารที่มีกรดอะมิโนไม่สมดุลทำให้ความอยากกินอาหารลดลงภายใน 3 ถึง 6 ชั่วโมง เมื่อปริมาณอาหารที่กินลดลงจึงทำให้การเจริญเติบโตลดลง ซึ่งการที่สัตว์ได้รับกรด

มีโนมากเกินไปความต้องการในภาวะที่อาหารไม่มีความสมดุลของกรดอะมิโนมีผลกระตุ้นการสังเคราะห์ หรือยับยั้งการสลายโปรตีนในตับ และทำให้มีการดูดซึมกรดอะมิโนลดลง ส่งผลให้การขนส่งกรดอะมิโนไปยังเนื้อเยื่อต่าง ๆ ลดลง ไม่อยากอาหาร ทำให้ปริมาณอาหารที่กินและการเจริญเติบโตลดลง สอดคล้องกับ Waldroup *et al.* (1976) กล่าวว่าระดับกรดอะมิโนในกระแสเลือดที่มีมากเกินไปส่งผลให้ปริมาณการกินอาหารลดลง โดยมีผลต่อการทำงานของไฮโปทาลามัสทำให้รู้สึกไม่อยากกินอาหาร

ประสิทธิภาพของ MHA เมื่อเปรียบเทียบกับ DL-Met

เมื่อเปรียบเทียบในหน่วยน้ำหนักเดียวกันระหว่าง DL-Met และ MHA พบว่า MHA มีประสิทธิภาพเท่ากับ 88 เปอร์เซ็นต์ของ DL-Met ซึ่งหมายความว่า ถ้าจะให้สัตว์ได้รับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนที่เท่ากัน จะต้องใช้ปริมาณของ MHA มากกว่า DL-Met 12 เปอร์เซ็นต์

Knight and Dibner (1984) กล่าวว่า สัตว์ปีกมีประสิทธิภาพในการดูดซึม MHA และ DL-Met ที่แตกต่างกัน โดย MHA จะมีการดูดซึมแบบ Passive transport คือไม่มีการใช้พลังงานแต่ DL-Met จะมีการดูดซึมแบบ Active transport คือต้องอาศัยตัวขนส่งเพื่อผ่านเยื่อหุ้มเซลล์และต้องการพลังงานซึ่งจะทำให้มีความร้อนเกิดขึ้น อย่างไรก็ตาม Garcia and Austic (1987) ศึกษาเปรียบเทียบการดูดซึมของ MHA และ DL-Met ในลำไส้เล็กกลับพบว่าไก่สามารถดูดซึม DL-Met ได้ดีกว่า MHA ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Han *et al.* (1990) ที่รายงานว่า การดูดซึม DL-Met เท่ากับ 99.7 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่า MHA ที่ดูดซึมได้ 98.9 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4 สัดส่วนกรดอะมิโนจำเป็นสำหรับไก่กระทงเมื่อเทียบกับไลซีน

Amino acid	Baker (1996)		NRC (1994)	
	0-21 day	21-42 day	0-21 day	21-42 day
Lysine	100	100	100	100
Methionine	36	36	45	38
Met + Cys	72	75	82	72
Threonine	67	70	73	74
Arginine	105	108	114	110
Valine	77	80	82	82
Isoleucine	67	69	73	73
Leucine	109	109	109	109
Tryptophan	16	17	18	18
Histidine	32	32	32	32

ที่มา : Barker (1996)

Mandal *et al.* (2004) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบ MHA และ DL-Met ในไก่กระทง 300 ตัว โดยเสริมระดับของ MHA 1.54 เท่าของ DL-Met พบว่า กล้ามเนื้อหน้าอกของไก่ที่เสริมด้วย MHA นั้นมากกว่าไก่ที่เสริมด้วย DL-Met อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในด้านการเจริญเติบโต พบว่าประสิทธิภาพของ MHA ต่อ DL-Met เท่ากับ 62.11, 64.82 และ 63.88 เปอร์เซ็นต์ ในไก่กระทงอายุ 0-21, 21-42 และ 0-42 วัน ตามลำดับ ในด้านประสิทธิภาพการใช้อาหารพบว่า ประสิทธิภาพของ MHA ต่อ DL-Met เท่ากับ 62.98 , 67.73 และ 64.01 เปอร์เซ็นต์ ในไก่กระทงอายุ 0-21, 21-42 และ 0-42 วัน ตามลำดับ

ผลของโปรตีน ต่อการดูดซึมแคลเซียม

Braithwaite (1975) รายงานว่า การดูดซึมแคลเซียมมีความสัมพันธ์กับการสะสมแคลเซียมไว้ในร่างกาย นอกจากนี้ยังพบว่า การดูดซึมแคลเซียมมีความสัมพันธ์กับปริมาณแคลเซียมที่กิน โดยสัตว์ที่มีการกินแคลเซียมมากจะสามารถใช้ประโยชน์จากแคลเซียมที่กินได้มากที่สุด ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับ

กับระบบ homeostasis ของร่างกายที่ควบคุมการขับถ่ายของแคลเซียมออกจากร่างกาย โดยพบว่า สัตว์ที่กินแคลเซียมไม่ว่ามากหรือน้อย ไม่มีผลต่อการขับถ่ายแคลเซียมออกจากร่างกาย ขณะที่สัตว์ที่กำลังเจริญเติบโตสามารถใช้ประโยชน์จากแคลเซียม ได้ดีกว่าสัตว์ที่โตเต็มที่แล้ว Roughead *et al* (2004) ได้ทดลองเสริม โปรตีนระดับสูงและโปรตีนระดับต่ำในหนู พบว่า การเสริมโปรตีนระดับสูง ทำให้หนูมีการสะสมแคลเซียมเพิ่มมากกว่า การเสริมโปรตีนระดับต่ำ ถึง 18 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่า การเสริมโปรตีนระดับสูงทำให้ขนาดของกระดูก femur และขนาดของร่างกายใหญ่กว่า การเสริมโปรตีนระดับต่ำ

ผลของโปรตีนต่อการดูดซึมฟอสฟอรัส

การดูดซึมฟอสฟอรัสในร่างกายสัตว์ มีความสัมพันธ์กับปริมาณการกินฟอสฟอรัสเข้าไปในร่างกาย โดยพบว่าสัตว์ที่กำลังเจริญเติบโตมีการดูดซึมฟอสฟอรัสมากกว่าสัตว์ที่โตเต็มที่แล้ว การสะสมฟอสฟอรัสในร่างกายขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพในการดูดซึม และใช้ประโยชน์ได้ของฟอสฟอรัส ขณะที่การขับถ่ายฟอสฟอรัสมีความผันแปรสูง และขึ้นอยู่กับระบบ homeostasis ที่ควบคุมความสมดุลของร่างกาย ส่วนในด้านของการสะสมฟอสฟอรัสในร่างกายมีความสัมพันธ์กับอัตราการสะสมแคลเซียมในร่างกาย (Braithwaite, 1975)

ผลของเมทไธโอนีนต่อการดูดซึมแคลเซียม

แคลเซียมถูกดูดซึมเพียงร้อยละ 20-30 ของที่บริโภคเข้าไปบริเวณลำไส้เล็กตอนต้น นอกจากนั้นถูกขับออกมาทางอุจจาระ จะมีการขับออกทางปัสสาวะเพียงเล็กน้อย ยกเว้นเมื่อบริโภคอาหารโปรตีนสูงจะทำให้การขับถ่ายทางปัสสาวะเพิ่มขึ้น แคลเซียมจะถูกดูดซึมบริเวณลำไส้เล็กตอนต้น และหยุดการดูดซึมบริเวณส่วนล่างของลำไส้ Singh *et al.* (1993) รายงานว่า การเสริมเมทไธโอนีนทำให้ลดการสลายแคลเซียมออกมาจากกระดูกภายในร่างกายสัตว์ และไม่มีผลต่อการขับถ่ายแคลเซียมออกจากร่างกาย นอกจากนี้ Singh *et al.* (1993) ยังพบว่า การเสริมเมทไธโอนีนในอาหารไก่กระทง ทำให้การดูดซึมแคลเซียมเพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกับ Landon *et al.* (1986) ที่รายงานว่า การเสริม L-Methionine ทำให้การดูดซึมแคลเซียมในร่างกายเพิ่มมากขึ้น แต่การเสริม L-Methionine ไม่มีผลต่อการขับถ่ายแคลเซียมออกนอกร่างกาย

ผลของเมทไธโอนีนต่อการดูดซึมฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสที่ได้จากอาหารประมาณร้อยละ 70 จะถูกดูดซึมในรูปของฟอสเฟตอิสระ ซึ่งประสิทธิภาพการดูดซึมของสารนี้เป็นไปตามปริมาณฟอสฟอรัสในอาหารและแหล่งอาหาร ตำแหน่งที่ฟอสฟอรัสถูกดูดซึมคือ ลำไส้เล็กตอนกลางและตอนปลาย ร้อยละ 88 ของฟอสฟอรัสที่ถูกดูดซึมจะเก็บไว้ในกระดูกและฟันรวมกับแคลเซียม ส่วนใดเป็นอวัยวะที่ควบคุมระดับฟอสฟอรัสในเลือด ดังนั้นถ้าได้รับมากเกินไปก็จะขับออกไปทางปัสสาวะ ฟอสฟอรัสปริมาณ 1/3 ของที่บริโภคถูกขับออกทางอุจจาระ Reinhart and Mahan (1986) และ Mahan *et al.* (1980) รายงานว่า ถ้าร่างกายของสัตว์มีการสะสมฟอสฟอรัสในร่างกายเพิ่มขึ้น จะมีความต้องการกรดอะมิโนเพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกับ Lim (2001) ที่รายงานว่า ถ้าร่างกายสัตว์ได้รับอาหารที่มีฟอสฟอรัสน้อยลง ทำให้การสะสม กรดอะมิโนในร่างกาย ลดลงด้วย

ผลของเมทไธโอนีนต่อกรดยูริก

กรดยูริก (uric acid) เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายในขบวนการเมตาบอลิซึมไนโตรเจน ซึ่งเกิดขึ้นในสัตว์ปีก ไนโตรเจนทั้งหมดที่ขับถ่ายออกนอกร่างกายถูกขับออกในรูปกรดยูริกถึง 80 เปอร์เซ็นต์ (O'Dell *et al.*, 1960) ระดับของกรดยูริกในเลือดบ่งชี้ให้ทราบถึง ขบวนการสลายโปรตีนออกจากเนื้อเยื่อร่างกาย ซึ่งพบว่า ถ้าในเลือดมีกรดยูริกอยู่สูงทำให้ขบวนการสลายโปรตีนออกจากร่างกายเพิ่มมากขึ้น (Okumura and Tasaki, 1967) สำหรับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการขับกรดยูริกออกจากร่างกาย คือ ระดับโปรตีนในอาหาร คุณภาพของโปรตีน และอัตราการเมตาบอลิซึมของโปรตีน

Muramatsu and Okumura (1979) รายงานว่า การเสริมเมทไธโอนีน อาร์จีนีน และกรดกลูตามิก ลงในอาหารไก่กระต่ายเพศผู้ สามารถลดการขับไนโตรเจนออกมาทางมูล เป็นผลเนื่องมาจากเมทไธโอนีนทำให้การขับถ่ายยูริกออกจากร่างกายลดลง ส่งผลโดยตรงต่อปริมาณการขับไนโตรเจนออกจากร่างกาย นอกจากนี้ยังพบว่า การเสริมเมทไธโอนีน ทำให้กรดอะมิโนอิสระ (free amino acid) เช่น กรดกลูตามิก และกลูตามีน ในตับลดลง แต่ไม่มีผลต่อระดับกรดอะมิโนอิสระ ในพลาสมา

ผลของเมทไธโอนีนต่อการดูดซึมไนโตรเจน

เมทไธโอนีนเป็นกรดอะมิโนที่มีความจำเป็นอันดับแรกในสัตว์ปีก ซึ่งในทางสรีระของสัตว์ปีกแล้ว สัตว์ปีกเป็นสัตว์ที่มีขน (feather) ปกคลุมเป็นจำนวนมาก ในขนของสัตว์ปีกประกอบด้วยโปรตีนที่มีความเหนียว แข็งแรงและไม่ละลายน้ำ มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของขน ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลที่ทำให้เมทไธโอนีนเป็นกรดอะมิโนที่มีความสำคัญยิ่งในสัตว์ปีก โดยการเสริมเมทไธโอนีนลงในอาหารไก่กระตัง ทำให้ไก่กระตังมีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการดูดซึมไนโตรเจนในร่างกายสูงขึ้น (Van Weerden *et al.*, 1983) เพื่อใช้ในโตรเจนในการสังเคราะห์เป็นโปรตีนในร่างกายเพิ่มมากขึ้น ส่งผลต่อการขับไนโตรเจนออกทางมูลลดลง

ผลของ pH ต่อการดูดซึมไนโตรเจน

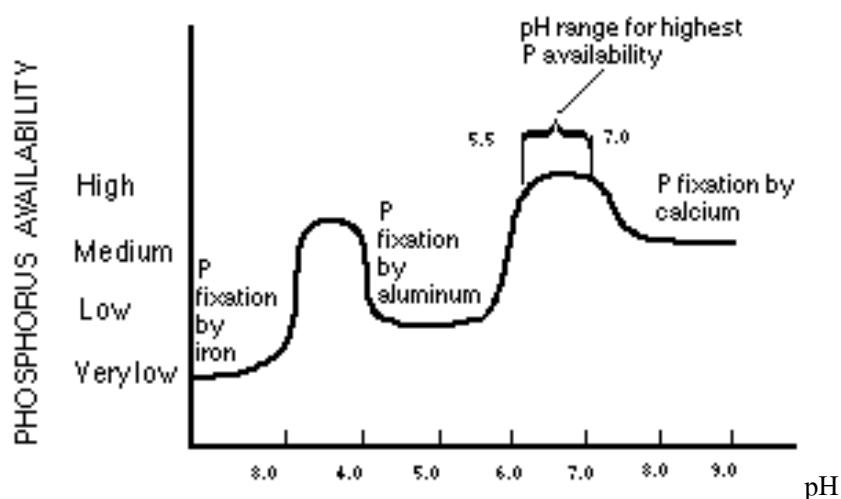
Ramos *et al.* (2001) รายงานว่า ระดับ pH ไม่มีผลต่อการดูดซึมไนโตรเจนในร่างกายสัตว์ที่กำลังเจริญเติบโต ซึ่งขัดแย้งกับ Beynen *et al.* (2001) รายงานว่า ระดับของ pH มีผลทำให้ การย่อยได้ของไนโตรเจนในร่างกายลดลง ทำให้การสะสมไนโตรเจนในร่างกายลดลง โดย pH ที่ลดลง ทำให้การขับถ่ายไนโตรเจนออกมาจากร่างกายสูงขึ้น

ผลของ pH ต่อการดูดซึมแคลเซียม

Mori *et al.* (1992) รายงานว่า pH ที่ลดลงทำให้การดูดซึมแคลเซียมในร่างกายลดลง โดยพบว่า ระดับ pH ที่ 5.6 ทำให้การดูดซึมแคลเซียมเฉลี่ย 5.4 pmol/นาที่ ในขณะที่ pH 7.1 ทำให้การดูดซึมแคลเซียมเฉลี่ย 8.9 pmol/นาที่ ซึ่งสอดคล้องกับ Ramos *et al.* (2001) ที่รายงานว่ ระดับของ pH ที่ลดลง มีผลทำให้การขับถ่ายแคลเซียมออกมาจากร่างกายมากขึ้น ทำให้การดูดซึมของแคลเซียมในร่างกายลดลง ขณะที่ Chonan *et al.* (1998) ได้ทดลองเสริม L-lactic acid ในระดับ 0.5, 1.0 และ 2.5 กรัมในอาหาร 100 กรัม ซึ่งทำให้ pH ในอาหารต่ำลง พบว่า การเสริม L-lactic acid มีผลทำให้การดูดซึมแคลเซียมในลำไส้เล็กเพิ่มมากขึ้น

ผลของ pH ต่อการดูดซึมฟอสฟอรัส

Lowell *et al.* (1998) รายงานว่า ช่วงของ pH ที่ 5.5-7.0 เป็นช่วงที่เหมาะสมที่สุดในการดูดซึมฟอสฟอรัส ถ้า pH ต่ำกว่า 5.5 แล้ว ฟอสฟอรัสที่ถูกดูดซึมได้ จะถูก fixed ด้วยอลูมิเนียม ทำให้ฟอสฟอรัสที่จับตัวกับอลูมิเนียมมีการดูดซึมที่น้อยลง ในทางตรงกันข้าม ถ้า pH สูงกว่า 7.0 ฟอสฟอรัสที่ถูกดูดซึมได้จะ fixed รวมกับแคลเซียม ทำให้การดูดซึมฟอสฟอรัสลดลง (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 การดูดซึมของฟอสฟอรัสที่ pH ต่างกัน

ที่มา : Lowell *et al.* (1998)

อย่างไรก็ตาม Ramos *et al.* (2001) รายงานว่า ระดับของ pH ไม่มีผลต่อการดูดซึมฟอสฟอรัสในร่างกายของสัตว์ ขณะที่ Heaney and Nordin (2002) รายงานว่า ระดับ pH ที่ 7.0 เหมาะสมต่อการดูดซึมฟอสฟอรัสมากที่สุด และยังพบว่าอัตราส่วนของแคลเซียมและฟอสฟอรัสที่เหมาะสมต่อการดูดซึมฟอสฟอรัส คือ 1 : 1 นอกจากนี้ Poppi and Ternouth (2005) รายงานว่า การดูดซึมฟอสฟอรัสจะดูดซึมได้ดีที่ pH ที่เป็นกรดอ่อน ๆ ถึงเป็นกลาง

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

อุปกรณ์

สัตว์ทดลอง

การทดลองใช้ไก่กระต่ายเพศผู้พันธุ์ Ross 208 (Aviagen, 1999) โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของแหล่งกรดอะมิโนเมทไธโอนีนต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต และคุณภาพซาก

ใช้ไก่กระต่ายเพศผู้ อายุ 1 วัน มีน้ำหนักเริ่มต้น 40 กรัม จำนวน 450 ตัว โดยแบ่งไก่กระต่ายออกเป็น 3 กลุ่ม ๆ ละ 6 ซ้ำ ๆ ละ 25 ตัว ใช้ระยะเวลาทั้งสิ้น 42 วัน

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของแหล่งกรดอะมิโนเมทไธโอนีนต่อการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหาร

ใช้ไก่กระต่ายเพศผู้ อายุ 1 วัน จำนวน 75 ตัว โดยแบ่งไก่ออกเป็น 3 กลุ่ม ๆ ละ 25 ตัว เมื่อไก่อายุ 35 วันทำการสุ่มไก่ออกมากลุ่มละ 8 ตัว (สุ่มไก่ให้มีน้ำหนักใกล้เคียงกับน้ำหนักเฉลี่ยของการทดลองที่ 1 ที่อายุ 35 วัน) เลี้ยงในกรง metabolic cage กรงละ 1 ตัว ทั้งหมด 24 ตัว จนถึงอายุ 42 วัน

โรงเรือนและอุปกรณ์

การทดลองที่ 1 ใช้โรงเรือนระบบปิด ควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือนด้วยระบบระเหยไอน้ำ (Evaporative cooling system) ใช้พัดลมระบายอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 48 นิ้วจำนวน 4 ตัวติดอยู่ที่ท้ายโรงเรือนเป็นการระบายอากาศแบบอุโมงค์ลม (tunnel ventilation system) ภายในมีคอกขนาด 1 x 2 เมตร เลี้ยงไก่กระทง 25 ตัว/คอก (800 ตารางเซนติเมตร/ตัว) ใช้วัสดุรองพื้นคอกคือ แกลบ ในระยะกก (1-7 วัน) ใช้รางให้อาหารยาว 60 เซนติเมตรจำนวน 2 ราง/คอก และใช้ถังน้ำพลาสติกในการให้น้ำ เมื่อไก่อายุ 8 วันใช้ถังแขวนให้อาหาร และระบบการให้น้ำแบบหัวหยดอัตโนมัติ (nipple)

การทดลองที่ 2 ใช้ระบบโรงเรือนแบบปิด ควบคุมสภาพแวดล้อมด้วย Air Condition (25°C) ภายในมีกรง metabolic cage ขนาดกรงกว้าง 35 เซนติเมตร ยาว 45 เซนติเมตร สูง 40 เซนติเมตร ระบบการให้น้ำแบบหัวหยดอัตโนมัติ ระบบการให้อาหารแบบรางอาหาร ขนาดของรางอาหาร กว้าง 10 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร

อาหารทดลอง

อาหารทดลองแบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ Starter (1-21 วัน) และ Grower (21-42 วัน) โดยอาหารระยะ Starter มีระดับของโปรตีนและพลังงานเท่ากับ 21% และ 3,175 ME.Kcal/Kg ตามลำดับ อาหารระยะ Grower มีระดับของโปรตีนและพลังงานเท่ากับ 19% และ 3,100 ME.Kcal/Kg ตามลำดับ

ผสมวัตถุดิบอาหารสัตว์ ด้วยเครื่องผสมอาหารแนวนอนได้ basal diet (ตารางที่ 5) ขนาด 500 กิโลกรัม แล้วนำไปวิเคราะห์โภชนะต่าง ๆ ใน basal diet (ตารางที่ 6) จากนั้นเสริมเมทไธโอนีนจากแหล่งต่าง ๆ โดยคำนวณการเสริม MHA ที่ประสิทธิภาพเท่ากับ DL-Met 80% (ทำให้ปริมาณของ MHA มากกว่า DL-Met 1.25 เท่า) แล้วนำไปสู่กระบวนการอัดเม็ดอาหาร โดยให้ขนาดเม็ดของอาหารมีขนาด 0.2 เซนติเมตรในระยะ starter และ 0.5 เซนติเมตรในระยะ grower จากนั้นนำอาหารที่อัดเม็ดบรรจุในถุงอาหารขนาด 20 กิโลกรัม

การทดลองที่ 1

ระยะ Starter

กลุ่มที่ 1 อาหาร basal diet (ขาด methionine)

กลุ่มที่ 2 อาหาร basal diet + DL-Met 0.269%

กลุ่มที่ 3 อาหาร basal diet + MHA 0.336%

ระยะ Grower

กลุ่มที่ 1 อาหาร basal diet (ขาด methionine)

กลุ่มที่ 2 อาหาร basal diet + DL-Met 0.199%

กลุ่มที่ 3 อาหาร basal diet + MHA 0.248%

การทดลองที่ 2

ใช้สูตรอาหารเดียวกับการทดลองที่ 1

ตารางที่ 5 ส่วนประกอบของวัตถุดิบใน basal diet ในระยะ Starter และ Grower

ส่วนประกอบ	เปอร์เซ็นต์	
	ระยะ Starter (1-21 วัน)	ระยะ Grower (21-42 วัน)
ข้าวโพด โปรตีน (7.86%)	49.772	59.447
กากถั่วเหลือง โปรตีน (44.7%)	37.748	31.602
น้ำมันปาล์ม	7.815	4.705
L-Lysine	0.073	0.065
L-Threonine	0.023	0.023
Monocalciumphosphate 15/21	1.928	1.730
หินปูน 38.67%	1.487	1.349
เกลือ	0.235	0.232
Sacox 120 ¹	0.050	0.050
MTB 100 ²	0.050	0.050
พรีมิกซ์ ³	0.250	0.250
รวม	100	100

¹ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการป้องกันการเกิดโรคบิด (coccidiostat)

² ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการป้องกันเชื้อรา (mycotoxin binder)

³ หัววิตามินและแร่ธาตุ ใน 1 กิโลกรัม ประกอบด้วย วิตามิน A 4.00 MIU วิตามิน D₃ 0.56 MIU วิตามิน E 4.48 กรัม วิตามิน K 0.68 กรัม วิตามิน B₁ 0.52 กรัม วิตามิน B₂ 2.00 กรัม วิตามิน B₆ 0.68 กรัม วิตามิน B₁₂ 5.60 มิลลิกรัม pantothenic acid 3.36 กรัม niacin 6.80 กรัม folic acid 0.17 กรัม biotin 0.014 กรัม choline chloride 200 กรัม ซิลิเนียม 0.03 กรัม เหล็ก 17.2 กรัม แมงกานีส 26.40 กรัม สังกะสี 26.40 กรัม ทองแดง 3.20 กรัม ไอโอดีน 0.32 กรัม และสารกันบูด (feed preservative substance) 4.80 กรัม

วิธีการทดลอง

แผนการทดลอง

การทดลองที่ 1 วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design อาหารทดลองมีแหล่งของเมทไธโอนีน 3 แหล่ง การทดลองใช้ไก่กระทง 450 ตัว อายุ 1 วัน แบ่งไก่กระทงออกเป็น 3 กลุ่ม ๆ 6 ซ้ำ ๆ ละ 25 ตัว

การทดลองที่ 2 วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design โดยใช้อาหารทดลอง 3 กลุ่ม การทดลองใช้ไก่กระทง 24 ตัว แบ่งเป็น 3 กลุ่ม ๆ ละ 8 ซ้ำ ๆ 1 ตัว ใช้ไก่กระทงอายุ 35 วัน ให้น้ำหนักใกล้เคียงกับน้ำหนักเฉลี่ยของไก่กระทงในการทดลองที่ 1 ที่อายุ 35 วัน

การจัดการเลี้ยงดู

การทดลองที่ 1 เลี้ยงไก่กระทงในคอกที่มีพื้นเป็นคอนกรีตรองพื้นด้วยวัสดุรองพื้น คือ แกลบ ในโรงเรือนระบบปิด ให้ไก่กระทงได้รับน้ำและอาหารอย่างเต็มที่ (*ad libitum*) โดยได้รับน้ำผ่านระบบน้ำหยด (nipple) ใช้ระบบการระบายความร้อนด้วยพัดลมระบบระเหยน้ำ โดยเริ่มเลี้ยงตั้งแต่ไก่กระทงอายุ 1 วันไปจนถึง 42 วันระยะเวลาเลี้ยงทั้งหมด 42 วัน

การทดลองที่ 2 เลี้ยงไก่กระทงอายุ 1 วันในโรงเรือนระบบปิด โดยเลี้ยง 25 ตัว/คอก ขนาดคอกกว้าง 1 เมตร ยาว 2 เมตร เมื่อไก่อายุ 35 วัน ทำการเจาะเลือด จากนั้นทำการสุ่มชั่งน้ำหนักกลุ่มละ 8 ตัว (1 กรงต่อ 1 ตัว) เพื่อนำไปเลี้ยงในกรง metabolic cage ในโรงเรือนที่ควบคุมอุณหภูมิจนถึงอายุ 42 วัน

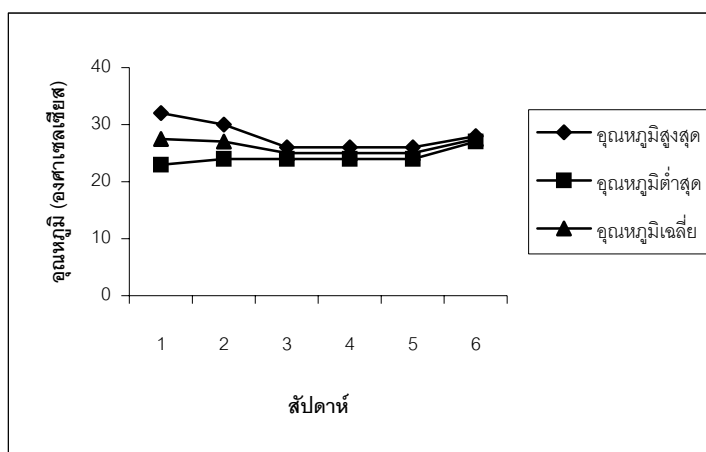
ตารางที่ 6 ส่วนประกอบของโภชนะใน basal diet ในระยะ Starter และ Grower จากการคำนวณ และการวิเคราะห์ทางเคมี

โภชนะ	เปอร์เซ็นต์			
	ระยะ starter (1-21 วัน)		ระยะ grower (21-42 วัน)	
	คำนวณ	วิเคราะห์	คำนวณ	วิเคราะห์
วัตถุดิบ	90.32	91.21	89.94	89.31
โปรตีน (CP)	21.04	21.17	19.00	19.15
ไขมัน	10.24	10.32	7.45	7.14
ไลซีน	1.27	1.29	1.11	1.07
อาร์จินีน	1.42	1.38	1.25	1.04
เมทไธโอนีน	0.31	0.28	0.29	0.28
เมทไธโอนีน + ซีสทีน (TSAA)	0.67	0.57	0.63	0.53
ทีโอนีน	0.83	0.72	0.74	0.49
ทรีปโตเฟน	0.26	0.63	0.23	0.44
ไอโซลิวซีน	0.90	0.92	0.80	0.71
ลิวซีน	1.79	1.75	1.66	1.45
วาเลีน	0.98	1.04	0.88	0.81
แคลเซียม	1.00	1.53	0.90	1.40
ฟอสฟอรัส (Total Phosphorus)	0.79	1.02	0.74	0.94
พลังงาน (ME.Kcal/Kg)	3,175	-	3,100	-

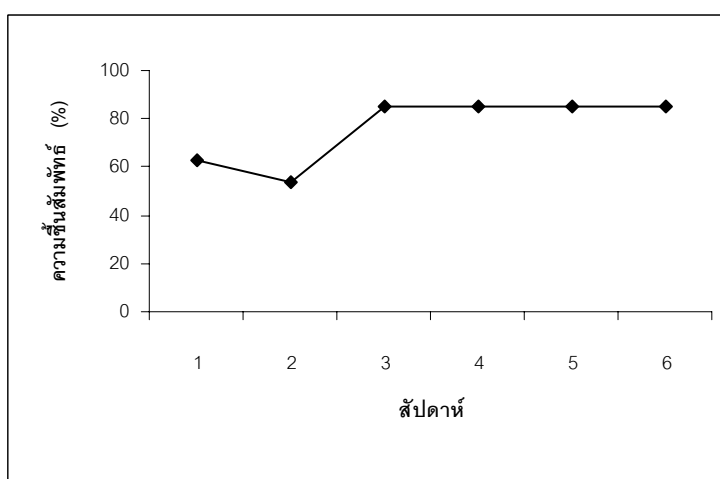
การบันทึกข้อมูล

การทดลองที่ 1 บันทึก อุณหภูมิต่ำสุด สูงสุด และความชื้นสัมพัทธ์ ในแต่ละวัน (ภาพที่ 5 และ 6) บันทึก ปริมาณการให้อาหาร ทุกสัปดาห์ สำหรับน้ำหนักจะบันทึก 2 ระยะ คือ ระยะ 1-21 วัน และ ระยะ 21-42 วัน ในวันสุดท้ายของการทดลอง สุ่มไก่ออกมาฆ่าละ 2 ตัวทำการผ่า และ ชั่งแต่ละชิ้นส่วนต่าง ๆ คือ กล้ามเนื้อหน้าอกทั้งสันนอกและสันใน ปีกบน ปีกล่าง กล้ามเนื้อ สะโพก กล้ามเนื้อขา ไคร่งไก่รวมกับแข้งไก่ น้ำหนักอวัยวะภายในทั้งหมด

ผลของอุณหภูมิภายในโรงเรือนสูงสุด ต่ำสุด และความชื้นสัมพัทธ์ ในระยะ starter อุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด และความชื้นสัมพัทธ์ เฉลี่ย เท่ากับ 29.67 , 23.57 องศาเซลเซียส และ 62.90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่ในระยะ grower มีอุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด และความชื้นสัมพัทธ์ เฉลี่ย เท่ากับ 26.67, 24.86 องศาเซลเซียส และ 84.14 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



ภาพที่ 5 อุณหภูมิสูงสุด และต่ำสุด ในโรงเรือนระบบปิด ระยะ 1-6 สัปดาห์



ภาพที่ 6 ความชื้นสัมพัทธ์ ในโรงเรือนระบบปิด ระยะ 1-6 สัปดาห์

การทดลองที่ 2 เมื่อไก่อายุ 35 วัน ทำการสุ่มไก่กลุ่มละ 8 ตัว ทำการเจาะเลือด ชั่งน้ำหนักไก่แต่ละตัวก่อนขึ้นกรง metabolic cage จากนั้นเมื่อไก่อายุ 38 ทำการเก็บมูลและบันทึกน้ำหนักของมูลที่ขับออกในแต่ละวัน จนถึงไก่อายุ 42 วัน รวมระยะเวลาในการเก็บมูล 5 วัน

เมื่อไก่อายุถึงวันที่ 42 ทำการฆ่าไก่เพื่อวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH) ใน digesta น้ำหนักและความยาวของระบบทางเดินอาหาร ได้แก่ กระเพาะแท้ ก้น ลำไส้เล็กส่วนต้น ส่วนกลาง ส่วนปลาย ไส้ติ่ง และ cloaca ทำการเก็บและวัดน้ำหนักของ ดับ หัวใจ ดับอ่อน และ กระดูกบริเวณขา (tibia) ข้างซ้าย

การวิเคราะห์ทางเคมี

สุ่มตัวอย่างอาหารทดลองเพื่อวิเคราะห์ส่วนประกอบต่าง ๆ คือ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า แคลเซียมและฟอสฟอรัส (A.O.A.C. , 1995) วิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนในอาหาร basal diet โดยใช้เครื่อง Amino acid Analyzer (ทั้งการทดลองที่ 1 และ 2)

เมื่อไก่อายุ 35 วันทำการ เจาะเลือดไก่กระตือรือร้นหรือปีกจำนวน 5 ซีซี ใช้หลอด heparin ในการป้องกันเลือดแข็งตัว นำหลอด heparin เข้าเครื่อง centrifuge เพื่อแยกเอา plasma ออกมา นำ plasma ที่ได้ใส่ใน appendose กระเปาะละ 1 ซีซี เพื่อนำไปวิเคราะห์กรดยูริก โดยนำ plasma 0.2 ซีซี มาใส่หลอดทดลองขนาด 6 ซีซี จากนั้นเติม phosphotungstic acid จำนวน 2 ซีซี นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง centrifuge ประมาณ 5 นาที หลังจากนั้นใช้ pipette ดูดสารที่อยู่ข้างบนใส่ในหลอดทดลองใหม่ เติม carbonate ลงไป 1 ซีซี นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าความเข้มของแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer นำค่า absorbance ที่ได้ไปคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ของกรดยูริก ซึ่งเป็นวิธีตกตะกอนด้วย phosphotungstate - carbonate (การทดลองที่ 2)

เก็บมูลไก่กระตือรือร้นเมื่ออายุ 38 วัน ถึง 42 วัน นำมูลที่เก็บรวบรวมได้ไปวิเคราะห์ หา ความชื้น เถ้า ไขมัน ไนโตรเจน แคลเซียมและฟอสฟอรัส ตามวิธี proximate analysis เพื่อนำไปคำนวณหาการสะสมสารอาหารต่าง ๆ ในร่างกายไก่กระตือรือร้น (การทดลองที่ 2)

เมื่อไก่อายุ 42 วัน ทำการฆ่าไก่แล้วเก็บ ดับ และ กระดูก tibia นำดับที่เก็บได้ไปหาองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ไขมัน ไนโตรเจน และความชื้น ตามวิธี proximate analysis สำหรับกระดูก tibia ทำการวิเคราะห์ทางเคมี โดยการสกัดไขมันออก แล้วนำไปวิเคราะห์หา แคลเซียม ฟอสฟอรัสและโปรตีน (การทดลองที่ 2)

การวิเคราะห์ข้อมูล

ทั้งการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 วิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธี Analysis of Variance ตามแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างทรีทเมนต์ โดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ กำจัดอิทธิพลของทรีทเมนต์ก่อนวิเคราะห์ผลการทดลอง

ระยะเวลาในการทดลอง

เริ่มการทดลองประมาณ	กรกฎาคม 2548
สิ้นสุดการทดลองประมาณ	กันยายน 2548

สถานที่ทำการทดลอง

ฟาร์มสัตว์ปีกภาคเอกชน Bangkok Animal Research Center (BARC)

ผลการทดลองและวิจารณ์

การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของแหล่งกรดอะมิโนต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตและคุณภาพซาก

ผลต่อสมรรถภาพการผลิต

ก. อัตราการเจริญเติบโต

ผลการศึกษาการใช้แหล่งกรดอะมิโนเมทไธโอนีนจาก 3 แหล่ง คือ ไม่เสริม เสริมในรูป DL-Met และ MHA พบว่า ในระยะ 0-21 วัน ไก่กระทงมีการเจริญเติบโต 664, 815 และ 854 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 7) จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ไก่กระทงที่ไม่ได้เสริมเมทไธโอนีน มีการเจริญเติบโตที่น้อยกว่ากลุ่มที่เสริมเมทไธโอนีน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ขณะที่การเสริม MHA ทำให้การเจริญเติบโตของไก่กระทง มากกว่า การเสริม DL-Met ($P<0.05$) (ภาพที่ 11)

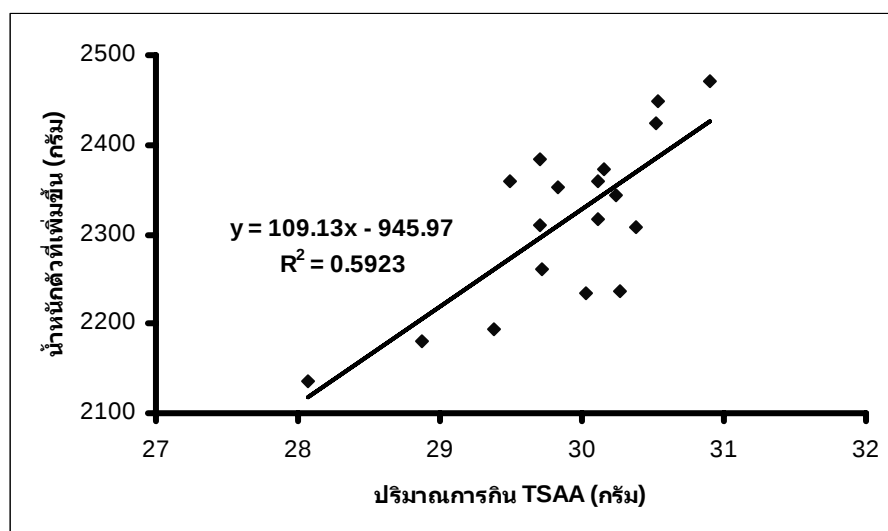
ในระยะ 21-42 วัน พบว่า ไก่กระทงไม่ได้เสริมเมทไธโอนีน (1,453 กรัม) มีการเจริญเติบโตน้อยกว่ากลุ่มที่เสริมเมทไธโอนีน (1,598 และ 1,561) ($P<0.05$) ขณะที่พบว่า การเสริม DL-Met และ MHA ไม่ทำให้การเจริญเติบโตของไก่กระทงเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 13)

เมื่อเริ่มตั้งแต่ระยะ 0-42 วัน พบว่า ไก่กระทงที่ไม่ได้เสริมเมทไธโอนีน (2,118 กรัม) มีการเจริญเติบโตน้อยกว่ากลุ่มที่เสริมเมทไธโอนีน (2,413 และ 2,416 กรัม) ($P<0.05$) ขณะที่ การเสริม DL-Met และ MHA ไม่ทำให้การเจริญเติบโตของไก่กระทงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 15)

จากการทดลอง พบว่าการเสริม DL-Met ในอาหารไก่กระทงระดับ 0.2 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารไก่กระทงเพศผู้ อายุ 0-42 วัน ทำให้ไก่กระทงมีน้ำหนักเฉลี่ย 2,451 กรัม สอดคล้องกับงานวิจัยของ Parker *et al.* (2003) ทำการทดลองเลี้ยงไก่กระทงเพศผู้ ด้วย DL-Met และ MHA พบว่า ไก่กระทงมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเท่ากับ 2,266 และ 2,346 กรัม ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับผลการทดลองในครั้งนี้ นอกจากนี้ Pesti *et al.* (1999) ได้ทำการเสริม DL-Met ในระดับ 0.1 เปอร์เซ็นต์ในอาหารไก่กระทงเพศผู้ อายุ 0-42 วัน พบว่า ไก่กระทงมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 2,186 กรัม อย่างไรก็ตาม

กระทงมีน้ำหนักน้อยกว่าผลการทดลองในครั้งนี้ ซึ่งอาจเกิดจากปริมาณการเสริม DL-Met ที่ต่างกัน (0.2 เทียบกับ 0.1 เปอร์เซ็นต์)

การเสริมเมทไธโอนีนในอาหารไก่กระทงทั้งในรูปแบบ DL-Met และ MHA ทำให้สมรรถภาพการผลิตสูงขึ้นสอดคล้องกับ Schutte and Van weerden (1981); Twining and Hochstetler (1982); Garlich (1985); Mandal *et al.* (2004) และ Parker *et al.* (2003) ซึ่งรายงานว่าการเสริมเมทไธโอนีนในอาหารทำให้สมรรถภาพการเจริญเติบโตดีขึ้น โดยการเสริมเมทไธโอนีนในสูตรอาหารทำให้ไก่กระทงกินอาหารได้มากขึ้น เนื่องจากเมทไธโอนีนเป็นกรดอะมิโนจำกัอันดับหนึ่งในสัตว์ปีก และมีความสำคัญในการสังเคราะห์โปรตีน ปริมาณอาหารที่สูงขึ้นจึงส่งเสริมการเจริญเติบโต (Schutte and Pack, 1995) จากการวิเคราะห์ทางสมการถดถอย พบว่า อัตราการเจริญเติบโตมีความสัมพันธ์กับปริมาณอาหารที่กิน ดังสมการ $y = 149x + 2017$ ($R^2 = 0.76$, x = ปริมาณอาหารที่กิน y = อัตราการเจริญเติบโต) แต่ขัดแย้งกับ Nkrumah *et al.* (2004) ที่พบว่าอัตราการเจริญเติบโตไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณอาหารที่กิน เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตกับปริมาณการกิน total sulphur amino acid (TSAA) พบความสัมพันธ์ดังนี้



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างการกิน TSAA กับอัตราการเจริญเติบโต ระยะ 0-42 วัน

เมื่อพิจารณาถึงความสมดุลของกรดอะมิโน พบว่า กลุ่มควบคุมที่ขาดเมทไธโอนีน มีความสมดุลของกรดอะมิโนเมื่อเทียบกับไลซีน น้อยกว่า กลุ่มที่เสริมเมทไธโอนีน ซึ่ง Waldroup *et al.* (2002) รายงานว่า สัตว์ที่ได้รับกรดอะมิโนที่ไม่สมดุล มีอัตราการเจริญเติบโตน้อยกว่าสัตว์ที่ได้รับกรดอะมิโนที่สมดุล

ข. ปริมาณอาหารที่กิน

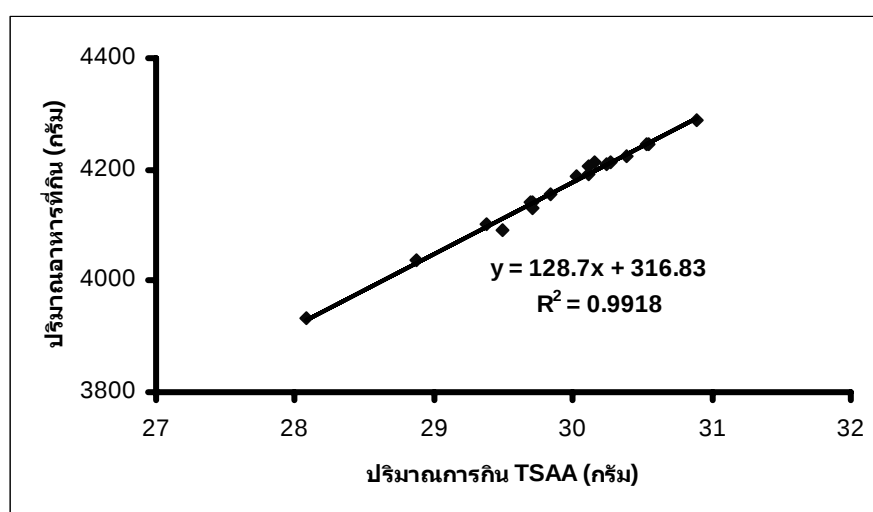
ผลการศึกษาการใช้แหล่งกรดอะมิโนเมทไธโอนีนจาก 3 แหล่ง คือ ไม่เสริม เสริมในรูป DL-Met และ MHA พบว่า ในระยะ 0-21 วัน ไก่กระทงมีปริมาณการกินอาหาร 960, 1,056 และ 1,084 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 7) จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ไก่กระทงที่ไม่ได้เสริมเมทไธโอนีน มีปริมาณการกินอาหารน้อยกว่ากลุ่มที่เสริมเมทไธโอนีน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) สำหรับไก่กระทงที่เสริม DL-Met มีปริมาณการกินอาหารน้อยกว่ากลุ่มที่เสริม MHA ($P<0.05$) (ภาพที่ 11)

ในระยะ 21-42 วัน พบว่า ไก่กระทงที่ไม่ได้เสริมเมทไธโอนีน (3,576 กรัม) มีปริมาณการกินอาหารน้อยกว่ากลุ่มที่เสริมเมทไธโอนีน (3,652 และ 3,672) ($P<0.05$) ขณะที่ การเสริม DL-Met และ MHA ไม่ทำให้ปริมาณการกินอาหารของไก่กระทงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 13)

เมื่อเริ่มตั้งแต่ระยะ 0-42 วัน พบว่า ไก่กระทงที่ไม่ได้เสริมเมทไธโอนีน (3,967 กรัม) มีปริมาณการกินอาหารน้อยกว่ากลุ่มที่เสริมเมทไธโอนีน (4,218 และ 4,356) ($P<0.05$) ขณะที่ การเสริม DL-Met และ MHA ไม่ทำให้ปริมาณการกินอาหารของไก่กระทงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 15)

จากผลการทดลอง พบว่า การเสริม DL-Met ทำให้ปริมาณการกินอาหารเท่ากับ 4,218 กรัม ซึ่งสอดคล้องกับ Pesti *et al.* (1999) ที่พบว่า ไก่กระทงเพศผู้อายุ 0-42 วัน กินอาหารทั้งหมดประมาณ 4,091 กรัม และ Parker *et al.* (2003) ทดลองเลี้ยงไก่กระทงเพศผู้ที่เสริมด้วย DL-Met และ MHA พบว่า ปริมาณการกินอาหารของไก่กระทง เท่ากับ 4,663 และ 4,771 กรัม ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับผลการทดลองในครั้งนี้ การเสริมเมทไธโอนีน ทำให้ปริมาณการกินอาหารของไก่กระทงสูงขึ้น สอดคล้องกับ Schutte and Van weerden (1981); Twining and Hochstetler (1982);

Mandal *et al.* (2004) และ Parker *et al.* (2003) ซึ่งรายงานว่าการเสริมเมทไธโอนีนในอาหารทำให้ปริมาณการกินอาหารของไก่กระทงสูงกว่า การไม่เสริมเมทไธโอนีนลงในอาหารไก่กระทง ขณะที่ Garlich (1985) รายงานว่า ไม่ว่าจะเสริมเมทไธโอนีนจาก DL-Met หรือ MHA ระดับการเสริมเมทไธโอนีนในอาหารไก่กระทงที่สูงขึ้น จึงทำให้ไก่กระทงมีปริมาณการกินอาหารเพิ่มขึ้น Klasing and Barnes (1988) พบว่า สัตว์ปีกที่ได้รับเมทไธโอนีนหรือไลซีนไม่เพียงพอสอดคล้องความต้องการของร่างกาย มีผลทำให้การกินอาหารลดลง และประสิทธิภาพในการใช้อาหารต่ำลง เนื่องจากเมทไธโอนีนมีผลโดยตรงต่อการสังเคราะห์โปรตีนในร่างกาย ซึ่งเกี่ยวข้องกับการผลิตเอนไซม์ในร่างกาย ถ้าขาดเมทไธโอนีนมีผลต่อการสร้างเอนไซม์ในการย่อยอาหารลดลง (Boren *et al.*, 1996) เมื่อพิจารณาถึงความสมดุลของกรดอะมิโน พบว่า กลุ่มควบคุม (ไม่ได้เสริมเมทไธโอนีน) ซึ่งมีความสมดุลของกรดอะมิโนน้อยกว่า กลุ่มที่เสริมเมทไธโอนีน จึงอาจทำให้การกินอาหารลดลง โดย Haper *et al.* (1970) ได้รายงานไว้ว่า ถ้าร่างกายสัตว์ได้รับกรดอะมิโนที่ไม่สมดุล ทำให้มีผลต่อการกินอาหารลดลง เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอาหารที่กินกับปริมาณ TSAA ที่กินได้ จะพบความสัมพันธ์ดังนี้



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างการกิน TSAA กับปริมาณการกินอาหาร ระยะ 0-42 วัน

ค. อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (FCR)

ผลการศึกษาการใช้แหล่งกรดอะมิโนเมทไธโอนีนจาก 3 แหล่ง คือ ไม่เสริม เสริมในรูป DL-Met และ MHA พบว่า ในระยะ 0-21 วัน ไก่กระทงมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว 1.44 , 1.29 และ 1.26 ตามลำดับ (ตารางที่ 7) จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ไก่กระทงที่ไม่ได้เสริมเมทไธโอนีน มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวมากกว่ากลุ่มที่เสริมเมทไธโอนีน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) สำหรับไก่กระทงที่เสริม DL-Met มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวไม่แตกต่างจากกลุ่มที่เสริม MHA อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 12)

ในระยะ 21-42 วัน พบว่า ไก่กระทงมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว 2.46, 2.29 และ 2.36 ตามลำดับ (ตารางที่ 8) จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ไก่กระทงที่ไม่ได้เสริมเมทไธโอนีน มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว มากกว่ากลุ่มที่เสริม DL-Met ($P < 0.05$) สำหรับไก่กระทงที่เสริม DL-Met มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวไม่แตกต่างจากกลุ่มที่เสริม MHA อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 14)

เมื่อเริ่มตั้งแต่ระยะ 0-42 วัน พบว่า ไก่กระทงมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว 1.87, 1.75 และ 1.80 ตามลำดับ (ตารางที่ 9) จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ไก่กระทงที่ไม่ได้เสริมเมทไธโอนีน มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว มากกว่ากลุ่มที่เสริมเมทไธโอนีน ($P < 0.05$) สำหรับไก่กระทงที่เสริม DL-Met มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวไม่แตกต่างจากกลุ่มที่เสริม MHA อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 16)

Mandal *et al.* (2004) และ Parker *et al.* (2003) รายงานว่า การเสริมเมทไธโอนีนในอาหาร ไก่กระทงในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการของไก่กระทง ทำให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวดีกว่า กลุ่มควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในครั้งนี้ จากผลการทดลองยังพบว่าการเสริมเมทไธโอนีนทั้งสองรูป ทำให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวน้อยกว่า กลุ่มควบคุม (กลุ่มที่ไม่ได้เสริมเมทไธโอนีน) สอดคล้องกับ Ribeiro *et al.* (2005) ได้ทำการทดลองเสริมเมทไธโอนีนลงในอาหารไก่กระทง พบว่า การไม่เสริมเมทไธโอนีน การเสริมเมทไธโอนีนในรูป DL-Met และ MHA ทำให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว เท่ากับ 2.09, 1.89 และ 1.80 ตามลำดับ ขณะที่ Parker *et al.* (2003) รายงานว่า ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว เท่ากับ 2.10, 2.06 และ 2.00 ตามลำดับ เช่นเดียวกับ Si Jianlin *et al.* (2004) ได้ทดลองเสริมเมทไธโอนีนและ

ไคซีนในระดับที่ NRC แนะนำ พบว่า อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักรีดเท่ากับ 1.76 ในไก่อายุ 0-42 วัน นอกจากนี้ยังพบว่า ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักรีดของไก่อายุ 0-21 วัน เท่ากับ 1.41 ซึ่งใกล้เคียงกับผลการทดลองในครั้งนี้

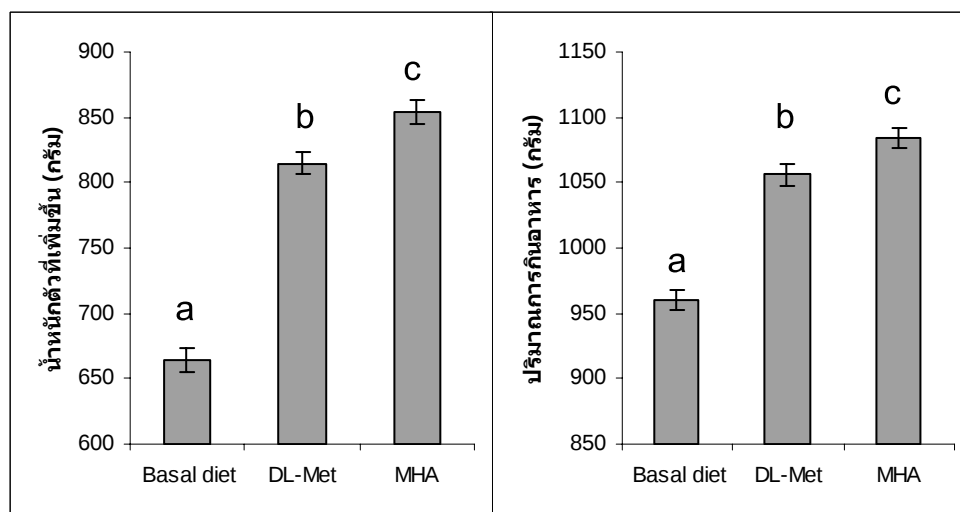
ง. ความสม่ำเสมอของน้ำหนักรีด

ผลการศึกษาการใช้แหล่งกรดอะมิโนเมทไธโอนีนจาก 3 แหล่ง คือ ไม่เสริม เสริมในรูป DL-Met และ MHA พบว่า ในระยะ 0-21 วัน ไก่กระทงมีความสม่ำเสมอของน้ำหนักรีด 88.97, 92.08 และ 91.91 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 7) จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ไก่กระทงที่ไม่ได้เสริมเมทไธโอนีน มีความสม่ำเสมอของน้ำหนักรีดต่ำกว่ากลุ่มที่เสริมเมทไธโอนีน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพที่ 12)

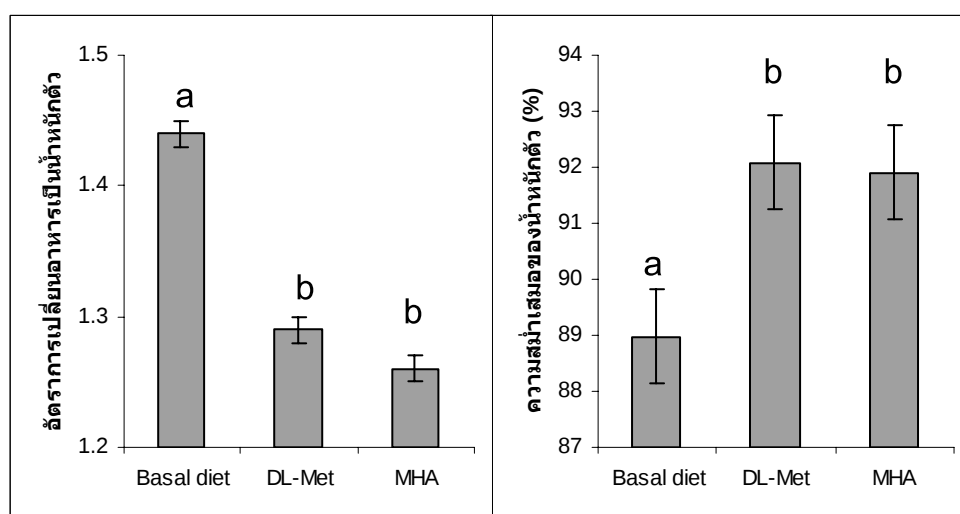
ในระยะ 21-42 วัน พบว่า ไก่กระทงมีความสม่ำเสมอของน้ำหนักรีด 90.21, 92.31 และ 92.18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 8) จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ไก่กระทงที่ไม่ได้เสริมเมทไธโอนีน มีความสม่ำเสมอของน้ำหนักรีดน้อยกว่ากลุ่มที่เสริมเมทไธโอนีน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพที่ 14)

ในระยะ 0-42 วัน พบว่า ไก่กระทงมีความสม่ำเสมอของน้ำหนักรีด 89.31, 92.28 และ 92.01 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 9) จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ไก่กระทงที่ไม่ได้เสริมเมทไธโอนีน มีความสม่ำเสมอของน้ำหนักรีดน้อยกว่ากลุ่มที่เสริมเมทไธโอนีน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพที่ 16)

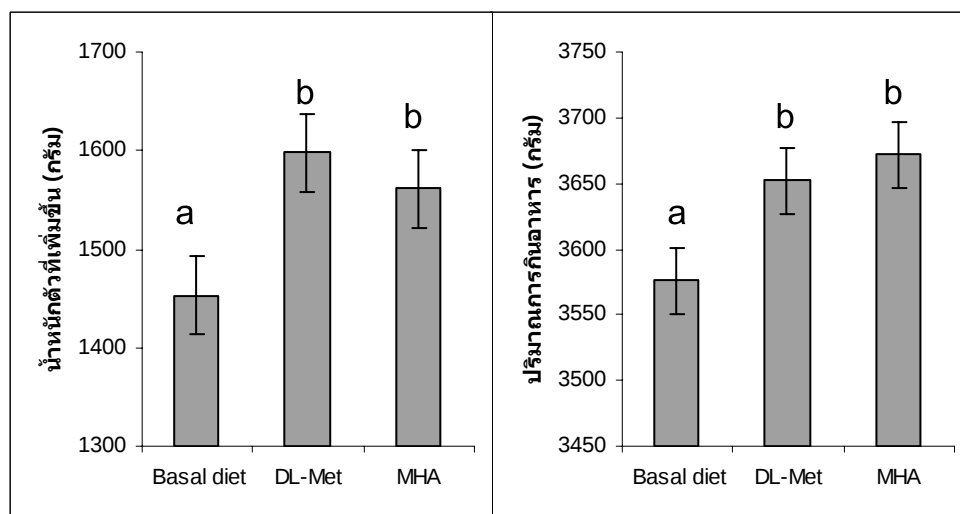
จากผลการทดลอง การเสริมเมทไธโอนีนทั้งสองรูป ทำให้ความสม่ำเสมอของน้ำหนักรีด ไก่กระทง ดีกว่ากลุ่มไม่ได้เสริมเมทไธโอนีน สอดคล้องกับ Waldroup *et al.* (2002) รายงานว่า ถ้าในอาหารไก่กระทง มีความสมดุลของกรดอะมิโนน้อยลง ทำให้ความสม่ำเสมอของน้ำหนักรีด ไก่กระทงลดลง เช่นเดียวกับ Kim and Cross (2002) ที่รายงานว่า ถ้าสัตว์ปีกได้รับเมทไธโอนีนตามความต้องการแล้ว ทำให้การเจริญเติบโตเป็นไปตามปกติ มีผลต่อความสม่ำเสมอของน้ำหนักรีด ไก่กระทงโดยตรง ในทางตรงกันข้าม ถ้าสัตว์ปีกได้รับเมทไธโอนีนไม่เพียงพอต่อความต้องการแล้ว มีผลทำให้ความสม่ำเสมอของน้ำหนักรีดของสัตว์ปีกลดลง (Waldroup *et al.*, 2002 และ Cooper and Horbanczuk, 2004)



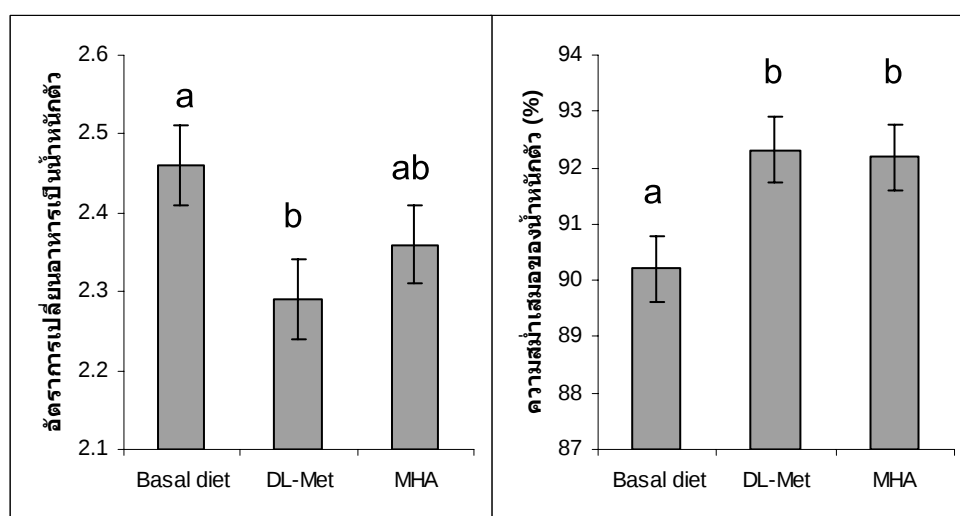
ภาพที่ 9 น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นและปริมาณอาหารที่กินของไก่กระทงอายุ 0-21 วัน



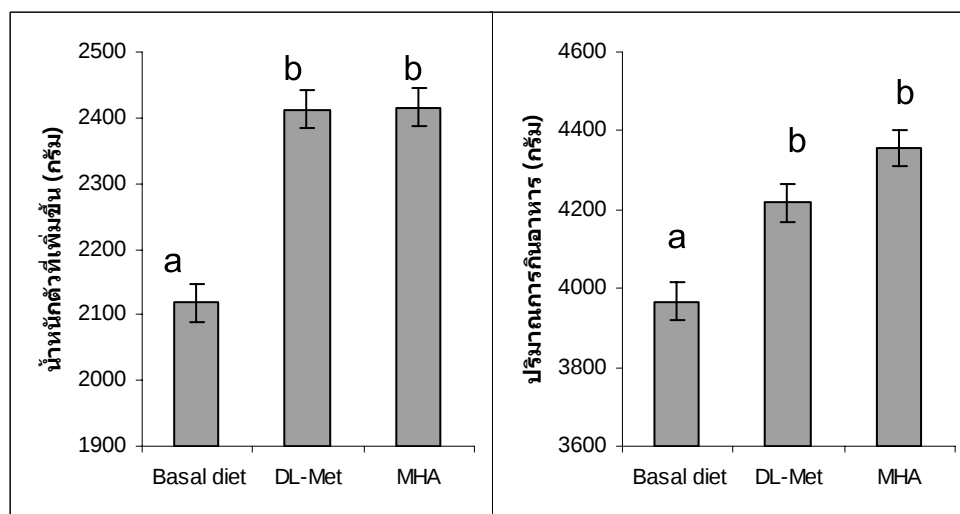
ภาพที่ 10 อัตราการใช้อาหารเป็นน้ำหนักตัวและความสม่ำเสมอของน้ำหนักร่างกายของไก่กระทงอายุ 0-21 วัน



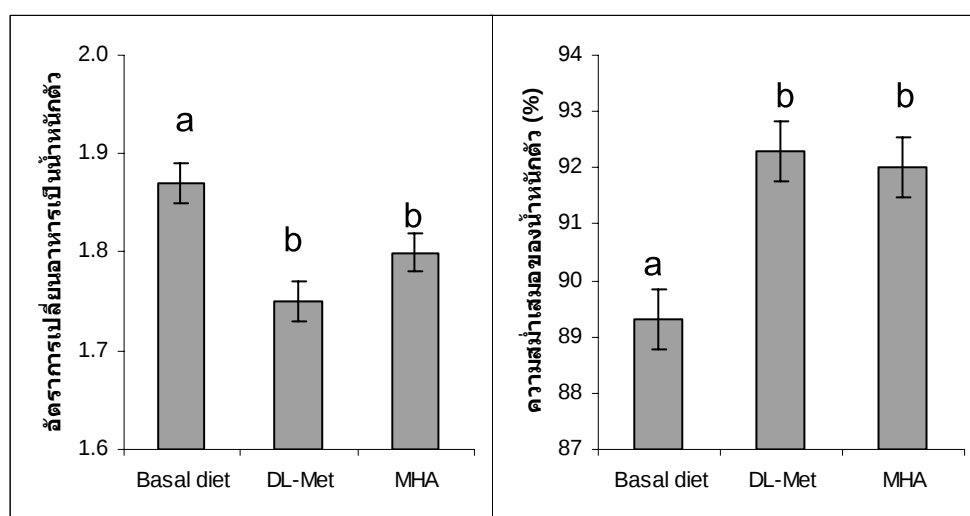
ภาพที่ 11 น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นและปริมาณอาหารที่กินของไก่กระทองอายุ 21-42 วัน



ภาพที่ 12 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวและความสม่ำเสมอของน้ำหนักตัวไก่กระทองอายุ 21-42 วัน



ภาพที่ 13 น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นและปริมาณอาหารที่กินของไก่กระทองอายุ 0-42 วัน



ภาพที่ 14 อัตราการใช้อาหารเป็นน้ำหนักตัวและความสม่ำเสมอของน้ำหนักร่างกายของไก่กระทองอายุ 0-42 วัน

ตารางที่ 7 สมรรถภาพการผลิตของไก่กระທးระยะ 0-21 วัน ที่เลี้ยงในโรงเรือนระบบปิด

ลักษณะที่ศึกษา	Basal diet	DL-Met	MHA	SEM	CV (%)
จำนวนไก่ (ตัว)	150	150	150	-	-
น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)	37	37	37	-	-
น้ำหนักสุดท้าย (กรัม)	702 ^a	852 ^b	892 ^c	8.91	2.61
ปริมาณการกินอาหาร (กรัม/ตัว)	960 ^a	1,056 ^b	1,084 ^c	7.98	1.87
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	664 ^a	815 ^b	854 ^c	8.91	2.74
การเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว	1.44 ^a	1.29 ^b	1.26 ^b	0.01	3.68
ความสม่ำเสมอ (เปอร์เซ็นต์)	88.97 ^a	92.08 ^b	91.91 ^b	0.84	2.81

^{a, b} ค่าที่แตกต่างทางสถิติในแถวเดียวกัน (P<0.05)

ตารางที่ 8 สมรรถภาพการผลิตของไก่กระທးระยะ 21-42 วัน ที่เลี้ยงในโรงเรือนระบบปิด

ลักษณะที่ศึกษา	Basal diet	DL-Met	MHA	SEM	CV (%)
จำนวนไก่เนื้อ (ตัว)	150	150	148	-	-
น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)	702	852	892	-	-
น้ำหนักสุดท้าย (กรัม)	2,155 ^a	2,451 ^b	2,453 ^b	40.63	4.23
ปริมาณการกินอาหาร (กรัม/ตัว)	3,576 ^a	3,652 ^b	3,672 ^b	25.07	1.69
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	1,453 ^a	1,598 ^b	1,561 ^b	39.53	6.30
การเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว	2.46 ^a	2.29 ^b	2.36 ^{ab}	0.05	5.22
ความสม่ำเสมอ (เปอร์เซ็นต์)	90.21 ^a	92.31 ^b	92.18 ^b	0.59	1.58

^{a, b} ค่าที่แตกต่างทางสถิติในแถวเดียวกัน (P<0.05)

ตารางที่ 9 สมรรถภาพการผลิตของไก่กระທးระยะ 0-42 วัน ที่เลี้ยงในโรงเรือนระบบปิด

ลักษณะที่ศึกษา	Basal diet	DL-Met	MHA	SEM	CV (%)
จำนวนไก่เนื้อ (ตัว)	150	150	150	-	-
น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)	37	37	37	-	-
น้ำหนักสุดท้าย (กรัม)	2,155 ^a	2,451 ^b	2,453 ^b	27.98	2.87
ปริมาณการกินอาหาร (กรัม/ตัว)	3,967 ^a	4,218 ^b	4,356 ^b	47.14	2.73
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	2,118 ^a	2,413 ^b	2,416 ^b	27.99	2.91
การเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว	1.87 ^a	1.75 ^b	1.80 ^b	0.02	3.25
ความสม่ำเสมอ (เปอร์เซ็นต์)	89.31 ^a	92.28 ^b	92.01 ^b	0.53	1.76

^{a, b} ค่าที่แตกต่างกันทางสถิติในแถวเดียวกัน ($P < 0.05$)

ผลต่อคุณภาพซาก

การใช้แหล่งกรดอะมิโนเมทไธโอนีนจาก 3 แหล่ง คือ ไม่เสริม เสริมในรูป DL-Met และ MHA พบว่า เปอร์เซ็นต์ของไขมันช่องท้อง เท่ากับ 2.42, 1.88 และ 1.83 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า การเสริมเมทไธโอนีนทั้งสองรูป ทำให้เปอร์เซ็นต์ไขมันช่องท้อง น้อยกว่า กลุ่มไม่เสริมเมทไธโอนีน ($P < 0.05$) ขณะที่ เปอร์เซ็นต์ของกล้ามเนื้อสันนอก เท่ากับ 11.39, 12.91 และ 12.97 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า การเสริมเมทไธโอนีนทั้งสองรูป ทำให้เปอร์เซ็นต์กล้ามเนื้อสันนอก มากกว่า กลุ่มควบคุม ($P < 0.05$) อย่างไรก็ตาม ไม่พบความแตกต่างในด้านของเปอร์เซ็นต์ซาก กล้ามเนื้อสะโพก น่อง กล้ามเนื้อสันใน และปีก ของไก่กระທးที่เสริมและไม่เสริมเมทไธโอนีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แม้การเสริมเมทไธโอนีนมีแนวโน้มให้ค่าเหล่านี้ดีขึ้น

เมทไธโอนีนที่เสริมในอาหารไก่กระທးทั้งในรูป DL-Met และ MHA มีแนวโน้มทำให้เปอร์เซ็นต์ซากสูงขึ้น เนื่องจากการสะสมโปรตีนในร่างกายเพิ่มมากขึ้น Meirelles *et al.* (2003); Ajinomoto Heartland (1990); Garcia Neto *et al.* (2000) และ Hickling *et al.* (1990) รายงานว่า เปอร์เซ็นต์ซากที่สูงขึ้นส่งผลต่อกล้ามเนื้อหน้าอกที่เพิ่มขึ้น ในขณะเดียวกัน การเสริมเมทไธโอนีนทำให้การสะสมของไขมันในร่างกายลดลง (Jensen *et al.*, 1989; Mendonca and Jensen, 1989 และ

Meirelles *et al.*, 2003) จากการทดลองพบว่า กล้ามเนื้อหน้าอกและไขมันในช่องท้องมีความสัมพันธ์กันดังสมการถดถอย คือ $y = -0.295x + 2.63$ (y = กล้ามเนื้อหน้าอก x = ไขมันช่องท้อง $R^2 = 0.81$) ซึ่งอาจเกิดจาก โปรตีนและไขมันที่สะสมในร่างกายนั้นมีสหสัมพันธ์ทางลบต่อกัน (Ratchett, 2000) โดย Bartov and Plavnik (1998) รายงานเช่นกันว่า การเพิ่มขึ้นของกล้ามเนื้อหน้าอก และการลดลงของไขมันในช่องท้อง มีสหสัมพันธ์ทางลบต่อกัน จึงทำให้การสะสมโปรตีนในร่างกายที่เพิ่มขึ้น (กล้ามเนื้อ) ในการทดลองครั้งนี้จึงทำให้การสะสมไขมันลดลง

ตารางที่ 10 คุณภาพซากของไก่กระทงเพศผู้ ระยะ 0-42 วัน ที่เลี้ยงในโรงเรือนระบบปิด

ลักษณะที่ศึกษา	Basal diet	DL-Met	MHA	SEM	CV (%)
เปอร์เซ็นต์ซาก (%)	83.66	84.75	84.62	0.35	1.41
สะโพก (%)	12.48	12.45	13.20	0.33	8.04
น่อง (%)	10.65	10.73	10.98	0.19	7.20
กล้ามเนื้อสันใน (%)	3.27	3.46	3.44	0.10	10.34
กล้ามเนื้อสันนอก (%)	11.39 ^a	12.91 ^b	12.97 ^b	0.35	11.80
ปีก (%)	7.93	7.93	8.01	0.07	5.03
ไขมันช่องท้อง (%)	2.42 ^a	1.88 ^b	1.83 ^b	0.12	22.04

^{a, b} ค่าที่แตกต่างทางสถิติในแถวเดียวกัน ($P < 0.05$)

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของแหล่งกรดอะมิโนเมทไธโอนีนต่อการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหาร

ผลต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต

จากการทดลองเลี้ยงไก่กระทงจำนวน 24 ตัว โดย metabolic cage แบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ ไม่เสริม (กลุ่มควบคุม) เสริมเมทไธโอนีนในรูป DL-Met และ MHA ผลของสมรรถภาพการเจริญเติบโตแสดงในตารางที่ 11 ปรากฏผลการทดลองดังต่อไปนี้

ผลการศึกษาการใช้แหล่งกรดอะมิโนเมทไธโอนีนจาก 3 แหล่ง คือ ไม่เสริม เสริมเมทไธโอนีนในรูป DL-Met และ MHA พบว่า ในระยะ 35-42 วัน ไก่กระทงมีการเจริญเติบโต 486, 524

และ 522 กรัม ตามลำดับ มีอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน เท่ากับ 69.52, 74.91 และ 74.57 กรัม ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า การเสริมเมทไธโอนีนทั้งสองรูปและการไม่เสริมเมทไธโอนีน ไม่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของไก่กระต๊อระยะ 35-42 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ยังพบว่า การเสริมและไม่เสริมเมทไธโอนีน ไม่มีผลต่อปริมาณการกินอาหาร และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวของไก่กระต๊อระยะ 35-42 วัน

การเสริมเมทไธโอนีนในอาหารไก่กระต๊อทั้งในรูป DL-Met และ MHA ทำให้น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (7 วัน) ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม อาจเนื่องจากระยะเวลาที่ใช้ทดลองนั้นสั้น (7 วัน) และเป็นระยะที่มีอัตราการเจริญเติบโตช้า Wang *et al.* (2004) ได้รายงานว่ ในสัตว์ปีกอายุ 6 สัปดาห์ การเสริมเมทไธโอนีนนั้นไม่มีผลต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต ซึ่งผลการทดลองที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดเนื่องจาก สัตว์ปีกที่เจริญเติบโตเต็มที่มีความต้องการเมทไธโอนีนเพื่อการเจริญเติบโตต่ำกว่าไก่ที่มีอายุน้อยกว่า (Murillo and Jensen, 1976) สอดคล้องกับ Brody (1994) ที่รายงานว่ สัตว์ที่เติบโตเต็มที่แล้ว ใช้เมทไธโอนีนไปสร้างเป็นโปรตีน เพื่อการดำรงชีพ น้อยกว่า สัตว์ที่กำลังเจริญเติบโต ผลจากการวิเคราะห์สมการถดถอยของการเจริญเติบโตและปริมาณกินได้ในการศึกษานี้ก็พบว่า ไม่มีความสัมพันธ์กันของค่าทั้งสอง อย่างไรก็ตามผลการทดลองยังคงขัดแย้งกับ NRC (1994) ที่ได้กำหนดค่าความต้องการเมทไธโอนีนในไก่กระต๊อ มีค่าประมาณ 0.45 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร (ระยะ grower) เมื่อพิจารณาถึงระดับความต้องการเมทไธโอนีนแล้ว กลุ่มควบคุมได้รับเมทไธโอนีนที่ระดับ 0.28 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร ขณะที่กลุ่มที่เสริมเมทไธโอนีนได้รับเมทไธโอนีนที่ระดับ 0.48 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร ซึ่งสูงกว่า NRC กำหนด ดังนั้น การเสริมเมทไธโอนีนมีแนวโน้มสูงกว่ากลุ่มควบคุม (74.91 และ 74.57 กรัม/วัน เทียบกับ 69.52 กรัม/วัน) จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการกิน TSSA กับอัตราการเจริญเติบโต พบความสัมพันธ์ดังนี้

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงความสมดุลของกรดอะมิโนเมื่อเทียบกับไลซีนแล้ว พบว่า กลุ่มไม่ได้เสริมเมทไธโอนีนได้รับความสมดุลของเมทไธโอนีนต่อไลซีน เท่ากับ 26 ขณะที่กลุ่มที่เสริม DL-Met เท่ากับ 45 NRC (1994) ซึ่งกำหนดไว้ที่ 38 และ Baker (1996) กำหนดไว้ที่ 36 ซึ่งเห็นได้ว่า กลุ่มที่เสริม DL-Met ได้รับสัดส่วนของเมทไธโอนีนต่อไลซีนที่สูงกว่าคำแนะนำ จึงอาจทำให้สมดุลของกรดอะมิโนไม่ดัดนัก ตรงข้ามกับสูตรอาหารในระยะ starter ที่มีระดับของเมทไธโอนีนและความสมดุลของกรดอะมิโนตรงกับความต้องการของไก่กระต๊อ คือ เท่ากับ 43 ขณะที่ NRC (1994) กำหนดไว้ที่ 45 และ Baker (1996) กำหนดไว้ที่ 38

ตารางที่ 11 สมรรถภาพการผลิตของไก่กระทุงระยะ 35-42 วัน ที่เลี้ยงในกรง metabolic cage

ลักษณะที่ศึกษา	Basal diet	DL-Met	MHA	SEM	CV(%)
จำนวนไข่เนื้อ (ตัว)	8	8	8	-	-
น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)	1,691	2,030	1,981	-	-
น้ำหนักสุดท้าย (กรัม)	2,177 ^a	2,554 ^b	2,503 ^b	34.97	4.10
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	486	524	522	10.52	19.04
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน)	69.52	74.91	74.57	10.52	2.72
ปริมาณการกินอาหาร (กรัม)	1,387	1,505	1,393	11.50	57.48
ปริมาณการกินอาหาร (กรัม/วัน)	198	215	199	11.50	8.21
การเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว	2.87	2.88	2.69	11.84	0.15

^{a, b} ค่าที่แตกต่างทางสถิติในแถวเดียวกัน ($P < 0.05$)

ผลต่อน้ำหนักอวัยวะภายใน

ระบบทางเดินอาหารส่วนบน (กระเพาะแท้ และก้น)

ผลการศึกษาการใช้แหล่งกรดอะมิโนเมทไธโอนีนจาก 3 แหล่ง คือ ไม่เสริม เสริมเมทไธโอนีนในรูป DL-Met และ MHA พบว่า น้ำหนักกระเพาะแท้ของไก่กระทุง เท่ากับ 9.95, 11.44 และ 9.76 กรัม ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า การเสริม DL-Met ทำให้น้ำหนักของกระเพาะแท้ มากกว่า การเสริม MHA ($P < 0.05$) เมื่อคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว พบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ขณะที่ น้ำหนักก้นของไก่กระทุง เท่ากับ 27.44, 26.43 และ 29.76 กรัม ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า การเสริม DL-Met ทำให้น้ำหนักของก้น น้อยกว่า การเสริม MHA ($P < 0.05$) เมื่อคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว พบว่า ไก่กระทุงมีขนาดของก้น 1.26, 1.03 และ 1.19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า การเสริม DL-Met ทำให้อายุของก้น เล็กกว่า การเสริม MHA และ กลุ่มที่ไม่เสริมเมทไธโอนีน ($P < 0.05$) (ตารางที่ 12 และ 13)

การเสริม DL-Met มีผลทำให้ขนาดของกระเพาะแท้ใหญ่ขึ้น ซึ่งขนาดกระเพาะแท้ที่ใหญ่ขึ้นสามารถผลิตน้ำย่อยได้มากขึ้น (Paul, 1981; Williams, 1982; Wear and Haddon, 1987) ทำให้การย่อยการดูดซึมสารอาหารมีมากขึ้น เมื่อเสริม DL-Met ทำให้กระเพาะแท้ผลิตน้ำย่อยได้มากขึ้น ช่วยทำให้การย่อยมีประสิทธิภาพสูงขึ้นแล้ว จึงทำให้กินเล็กลง เพราะไม่ต้องใช้กล้ามเนื้อในการบิอาหารให้เล็กลงมาก (King, 1996) โดยเป็นที่ทราบกันดีว่าในขบวนการย่อยอาหารของสัตว์ปีก อาหารที่เข้าสู่ถิ่นจะถูกนำไปย่อยใหม่ในกระเพาะแท้ได้

ระบบทางเดินอาหารส่วนล่าง (ลำไส้เล็ก และ ลำไส้ใหญ่)

การเสริมและไม่เสริมเมทไธโอนีน ไม่มีผลต่อน้ำหนักของลำไส้เล็กส่วนต้น (duodenum) ลำไส้เล็กส่วนกลาง (jejunum) และไส้ติ่ง (caecum) แต่ผลของการเสริมเมทไธโอนีนทำให้น้ำหนักลำไส้เล็กส่วนปลาย เท่ากับ 20.05, 23.99 และ 21.35 กรัม ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าการเสริม DL-Met ทำให้น้ำหนักของลำไส้เล็กส่วนปลาย (ileum) มากกว่า กลุ่มที่ไม่ได้เสริมเมทไธโอนีน ($P<0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่า การเสริมและไม่เสริมเมทไธโอนีน ทำให้น้ำหนักของทวารร่วม (cloaca) เท่ากับ 2.95, 3.68 และ 3.75 ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าการเสริมเมทไธโอนีนทั้งสองรูปทำให้น้ำหนักของทวารร่วม มากกว่า กลุ่มที่ไม่ได้เสริมเมทไธโอนีน ($P<0.05$) (ตารางที่ 12)

เมื่อคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว พบว่า การเสริมเมทไธโอนีนไม่ทำให้เปอร์เซ็นต์ลำไส้เล็กส่วนต้น ลำไส้เล็กส่วนปลาย และทวารร่วม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ผลของการเสริมเมทไธโอนีนทำให้เปอร์เซ็นต์ของลำไส้เล็กส่วนกลาง เท่ากับ 1.12, 0.93 และ 0.97 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การเสริมเมทไธโอนีนทำให้เปอร์เซ็นต์ลำไส้เล็กส่วนกลาง น้อยกว่า กลุ่มควบคุม ($P<0.05$) ขณะที่พบว่า การเสริมเมทไธโอนีนทำให้ เปอร์เซ็นต์ของไส้ติ่งเท่ากับ 0.42, 0.35 และ 0.36 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยการเสริม DL-Met ทำให้เปอร์เซ็นต์ของไส้ติ่ง น้อยกว่า กลุ่มที่ไม่ได้เสริมเมทไธโอนีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ตารางที่ 13)

การเสริมเมทไธโอนีนทั้ง 2 รูป ทำให้น้ำหนักของลำไส้เล็กส่วนกลางลดลง สอดคล้องกับ Dudley *et al.* (1998) ที่รายงานว่า การเสริมเมทไธโอนีนจากแหล่งต่าง ๆ ทำให้น้ำหนักของลำไส้เล็กส่วนกลางลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้เสริมเมทไธโอนีน อาจเป็นไปได้ว่า การเสริมเมทไธโอนีนให้เพียงพอต่อความต้องการของสัตว์ปีก ทำให้สัตว์ปีกได้รับเมทไธโอนีนตามความต้องการ

ขนาดของลำไส้เล็กส่วนกลางที่ใช้ในการดูดซึมเมทไธโอนีนจึงมีขนาดเล็ก ในทางตรงกันข้าม ถ้าสัตว์ปีกขาดเมทไธโอนีนหรือได้รับเมทไธโอนีนไม่เพียงพอต่อความต้องการ มีผลทำให้ร่างกายสัตว์ปีกเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซึมเมทไธโอนีนโดยการเพิ่มขนาดของลำไส้เล็กส่วนกลาง (Chediack *et al.*, 2005) เมื่อพิจารณาถึงขนาดไส้ติ่ง พบว่า การเสริม DL-Met ทำให้ขนาดของไส้ติ่งเล็กกว่า กลุ่มที่ไม่ได้เสริมเมทไธโอนีน ซึ่งอาจเกิดจาก สัตว์ปีกที่ขาดเมทไธโอนีน จะเพิ่มประสิทธิภาพการหมักย่อยโดยจุลินทรีย์ (Hassan *et al.*, 2006) เพื่อให้ได้สารอาหารให้ครบตามร่างกายต้องการ จึงทำให้ขนาดของ ไส้ติ่งเพิ่มขึ้น

อวัยวะที่เกี่ยวข้องกับการย่อยอาหาร (ตับ และตับอ่อน)

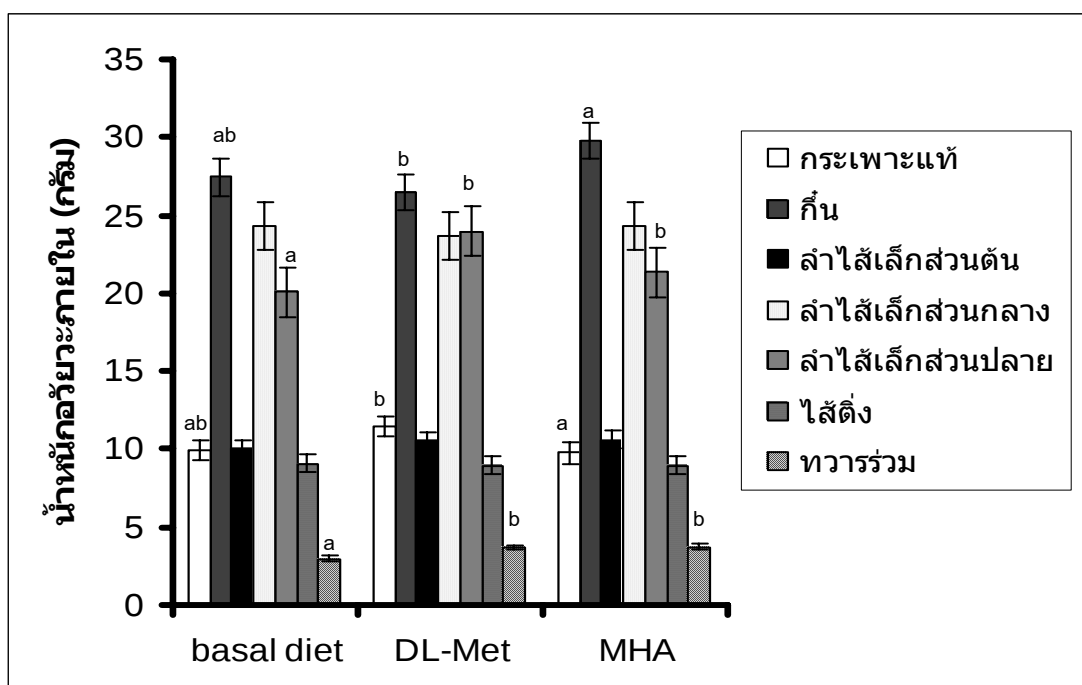
การเสริมและไม่เสริมเมทไธโอนีน ไม่มีผลต่อน้ำหนักของตับและตับอ่อน เมื่อคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัวแล้วพบว่า การเสริมเมทไธโอนีนไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ของตับอ่อน ขณะที่พบว่า ผลการเสริมเมทไธโอนีนทำให้เปอร์เซ็นต์ของตับเท่ากับ 2.55, 2.27 และ 2.36 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โดยการเสริม DL-Met ทำให้เปอร์เซ็นต์ของตับ น้อยกว่า กลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

การเสริม DL-Met มีผลทำให้ขนาดของตับ (% น้ำหนักตัว) น้อยกว่า กลุ่มควบคุม สอดคล้องกับ Garcia Neto *et al.* (2000) ที่พบว่า การเสริมเมทไธโอนีนในอาหารสัตว์ปีก ทำให้ตับมีขนาดเล็กลง ขนาดของตับไม่ได้บ่งบอกถึงอัตราการสังเคราะห์โปรตีนจากตับ เพราะขนาดของตับใหญ่ไม่ได้บ่งบอกถึงจำนวนเซลล์ที่มีมากกว่าขนาดตับที่เล็กกว่า Hiramoto *et al.* (1990) กล่าวว่า ความไม่สมดุลของกรดอะมิโนในอาหารทำให้ตับต้องทำงานมากขึ้นเพื่อการสังเคราะห์โปรตีนหรือสังเคราะห์กรดอะมิโนขึ้นมาใหม่เพื่อให้ร่างกายได้รับกรดอะมิโนอย่างเพียงพอต่อการดำรงชีพ ซึ่งไก่กลุ่มที่ไม่ได้เสริมเมทไธโอนีนมีขนาดร่างกายเล็กกว่ากลุ่มอื่นจึงทำให้สัดส่วนของน้ำหนักตับเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักร่างกายสูงกว่ากลุ่มอื่น ขณะที่ขนาดของตับอ่อนพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทั้งเสริมและไม่เสริมเมทไธโอนีน ซึ่งขนาดของตับอ่อนจะมีความสัมพันธ์กับขนาดของลำไส้เล็กส่วนต้น ในการทดลองพบว่า ขนาดลำไส้เล็กส่วนต้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากการวิเคราะห์สมการถดถอยระหว่างปริมาณการกิน TSAA และขนาดของตับ พบความสัมพันธ์ดังนี้

หัวใจ

ผลการเสริมเมทไธโอนีนทำให้น้ำหนักหัวใจของไก่กระทง เท่ากับ 13.29, 14.56 และ 12.20 กรัม ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า การเสริม DL-Met ทำให้น้ำหนักของหัวใจ มากกว่า การเสริม MHA ($P<0.05$) เมื่อคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว พบว่า ไก่กระทงมีขนาดของหัวใจ 0.61, 0.57 และ 0.49 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า การเสริม MHA ทำให้น้ำหนักของหัวใจ เล็กกว่า การเสริม DL-Met และ กลุ่มควบคุม ($P<0.05$)

กลุ่มที่เสริม MHA ทำให้น้ำหนักของหัวใจเล็กกว่ากลุ่มที่เสริม DL-Met โดย Suga *et al.* (1973) รายงานว่าหัวใจที่มีขนาดเล็กลงทำให้กล้ามเนื้อหัวใจบริเวณห้องล่างซ้ายลดลง ส่งผลให้อัตราการเต้นของหัวใจลดลง และทำให้การไหลเวียนโลหิตน้อยกว่าหัวใจที่มีขนาดใหญ่ (Liu *et al.*, 1993) อย่างไรก็ตามมีรายงานเช่นกันว่า ขนาดของหัวใจ ไม่มีผลต่ออัตราการเต้นของหัวใจ โดย Knut Schmidt-Nielsen (1997) ได้เสนอสมการคำนวณอัตราการเต้นของหัวใจ ซึ่งในสูตรที่ใช้คำนวณ น้ำหนักหรือขนาดหัวใจนั้นไม่มีผลต่ออัตราการเต้นของหัวใจ

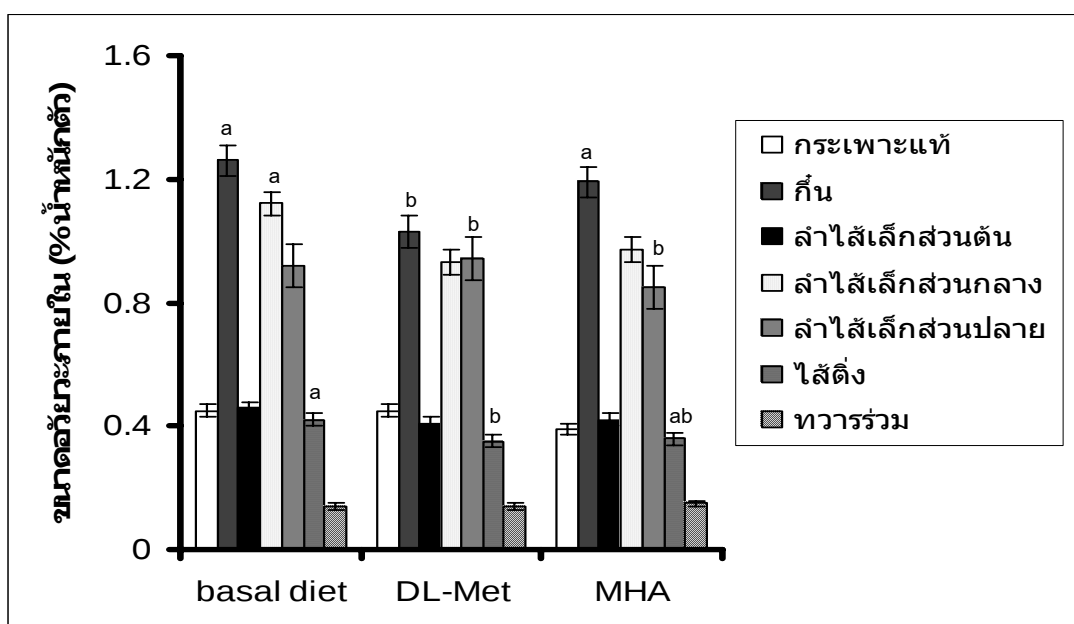


ภาพที่ 15 น้ำหนักอวัยวะภายใน (กรัม) ของไก่กระทงอายุ 42 วัน

ตารางที่ 12 น้ำหนักอวัยวะภายในของไก่กระทง อายุ 42 วัน

ลักษณะที่ศึกษา (กรัม)	Basal diet	DL-Met	MHA	SEM	CV(%)
น้ำหนักมีชีวิต	2,177 ^a	2,554 ^b	2,503 ^b	37.82	4.40
กระเพาะแท้	9.95 ^{ab}	11.44 ^b	9.76 ^a	0.67	18.64
กึ้น	27.44 ^{ab}	26.43 ^a	29.79 ^b	1.16	11.62
ลำไส้เล็กส่วนต้น	10.03	10.54	10.61	0.58	15.56
ลำไส้เล็กส่วนกลาง	24.33	23.69	24.31	1.51	18.19
ลำไส้เล็กส่วนปลาย	20.05 ^a	23.99 ^b	21.35 ^{ab}	1.60	21.07
ไส้ติ่ง	9.06	8.95	8.95	0.57	17.78
ทวารร่วม	2.95 ^a	3.68 ^b	3.75 ^b	0.17	13.77
ตับอ่อน	5.09	5.51	5.56	0.24	12.99
ตับ	55.58	58.09	59.23	2.20	10.76
หัวใจ	13.29 ^{ab}	14.56 ^a	12.20 ^b	0.54	11.70

^{a, b} ค่าที่แตกต่างทางสถิติในแถวเดียวกัน ($P < 0.05$)



ภาพที่ 16 ขนาดอวัยวะภายใน (% น้ำหนักตัว) ของไก่กระทงอายุ 42 วัน

ตารางที่ 13 ขนาดอวัยวะภายใน (% น้ำหนักตัว) ของไก่กระทง อายุ 42 วัน

ลักษณะที่ศึกษา (% น้ำหนักตัว)	Basal diet	DL-Met	MHA	SEM	CV(%)
กระเพาะแท้	0.45	0.45	0.39	0.02	15.97
กิ้น	1.26 ^a	1.03 ^b	1.19 ^a	0.05	11.24
ลำไส้เล็กส่วนต้น	0.46	0.41	0.42	0.02	14.64
ลำไส้เล็กส่วนกลาง	1.12 ^a	0.93 ^b	0.97 ^b	0.04	12.24
ลำไส้เล็กส่วนปลาย	0.92	0.94	0.85	0.07	21.20
ไส้ติ่ง	0.42 ^a	0.35 ^b	0.36 ^{ab}	0.02	15.82
ทวารร่วม	0.14	0.14	0.15	0.01	14.38
ตับอ่อน	0.23	0.22	0.22	0.01	12.29
ตับ	2.55 ^a	2.27 ^b	2.36 ^{ab}	0.08	9.85
หัวใจ	0.61 ^a	0.57 ^a	0.49 ^b	0.02	10.80

^{a, b} ค่าที่แตกต่างทางสถิติในแถวเดียวกัน ($P < 0.05$)

ผลต่อความยาวอวัยวะภายใน

การเสริมและไม่เสริมเมทไธโอนีน ทำให้ความยาวของกระเพาะแท้ ลำไส้เล็กส่วนต้น ลำไส้เล็กส่วนกลาง ลำไส้เล็กส่วนปลาย ไส้ติ่ง ทวารร่วม และ ตับอ่อน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 14)

การเสริมเมทไธโอนีนทั้งในรูปแบบ DL-Met และ MHA ไม่มีผลต่อความยาวของ กระเพาะแท้ ลำไส้เล็กส่วนต้น ลำไส้เล็กส่วนกลาง ลำไส้เล็กส่วนปลาย ไส้ติ่ง ทวารร่วมและตับอ่อน ซึ่งเป็นไปได้ว่า การดูดซึมเมทไธโอนีนมีการดูดซึมที่ลำไส้เล็ก (Harold *et al.*, 1968 และ Randal *et al.*, 2001) จึงไม่น่าเกี่ยวข้องกับอวัยวะส่วนอื่น ๆ อย่างไรก็ตาม Pan *et al.* (2001) รายงานว่า เมทไธโอนีนมีการดูดซึมที่ลำไส้เล็กส่วนกลาง นอกจากนี้การดูดซึมอาหารไม่มีผลต่อความยาวของลำไส้เล็ก (Evered and Sadoogh-Abasian, 1979) ขณะที่ Koenig *et al.* (1999) รายงานว่า ในลำไส้เล็กส่วนต้นไม่มีผลต่อการดูดซึมเมทไธโอนีน การเสริมเมทไธโอนีนจึงไม่มีผลต่อความยาวของลำไส้เล็กส่วนต้น

ตารางที่ 14 ความยาวอวัยวะภายใน ของไก่กระทง อายุ 42 วัน

ความยาวอวัยวะภายใน (cm)	Basal diet	DL-Met	MHA	SEM	CV(%)
กระเพาะแท้	4.38	4.69	4.63	0.18	11.26
ลำไส้เล็กส่วนต้น	28.50	29.88	29.00	1.09	10.62
ลำไส้เล็กส่วนกลาง	66.81	68.44	63.69	3.87	16.86
ลำไส้เล็กส่วนปลาย	61.44	67.51	69.81	3.91	16.98
ไส้ติ่ง	18.00	16.94	17.13	0.77	12.67
ทวารร่วม	8.06	8.31	8.13	0.44	15.25
ตับอ่อน	11.00	11.19	11.31	0.41	10.30

ผลต่อค่า pH ในทางเดินอาหาร

การเสริมและไม่เสริมเมทไธโอนีน ทำให้ค่า pH ของกระเพาะแท้ ก็น้ำ ลำไส้เล็กส่วนต้น ลำไส้เล็กส่วนปลาย ไส้ติ่ง ทวารร่วม และมูล ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ แต่การเสริม MHA ทำให้ค่า pH ของลำไส้เล็กส่วนกลาง น้อยกว่า กลุ่มที่ไม่เสริมเมทไธโอนีน และกลุ่มที่เสริม DL-Met ($P<0.05$) (ตารางที่ 15)

การเสริม MHA ทำให้ pH ใน ก้น เท่ากับ 4.46 ซึ่งไม่แตกต่างกับการเสริม DL-Met และ กลุ่มที่ไม่เสริมเมทไธโอนีน ซึ่งได้ค่าที่สูงกว่าการทดลองของ Atapattu and Nelligaswatta (2005) ที่ได้ทดลองเสริมกรดซิตริก (citric acid) ในอาหารไก่กระทงระดับ 2 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ในก้นมี pH ประมาณ 3.33 ขณะที่ Dahlke *et al.* (2003) พบว่า การใช้อาหารไก่กระทงอัดเม็ดขนาดเล็กลงไก่กระทงทำให้ pH ในก้น เท่ากับ 3.87 นอกจากนี้ Andrys *et al.* (2003) รายงานว่า ในก้นมี pH ประมาณ 3.42

การเสริม MHA ทำให้ pH ในลำไส้เล็กส่วนกลางเท่ากับ 5.86 ซึ่งแตกต่างกับการเสริม DL-Met และกลุ่มควบคุม เป็นไปได้ว่า การเสริม MHA ลงในอาหารไก่กระทง ทำให้ pH ในอาหารต่ำลง สอดคล้องกับ Atapattu and Nelligaswatta (2005) ที่ได้ทำการทดลองเสริมกรดซิตริก (citric acid) ในอาหารไก่กระทง มีผลทำให้ pH ใน digesta ของลำไส้เล็ก ลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม

ตารางที่ 15 ค่า pH ในอาหารและทางเดินอาหารของไก่กระทอง อายุ 42 วัน

ค่า pH	Basal diet	DL-Met	MHA	SEM	CV(%)
อาหารระยะ starter	6.14	6.13	6.02	0.01	0.24
อาหารระยะ grower	6.17	6.19	6.04	0.01	0.12
กระเพาะแท้	4.83	4.97	4.83	0.19	11.15
ก้น	4.54	4.75	4.64	0.21	13.02
ลำไส้เล็กส่วนต้น	6.19	6.17	6.09	0.07	3.16
ลำไส้เล็กส่วนกลาง	6.17 ^a	6.20 ^a	5.86 ^b	0.14	6.51
ลำไส้เล็กส่วนปลาย	6.20	6.38	6.86	0.29	12.44
ไส้ติ่ง	7.14	6.93	7.03	0.19	4.77
ทวารร่วม	6.51	6.61	6.51	0.24	10.33
มูล	5.76	5.69	5.70	0.06	2.87

^{a, b} ค่าที่แตกต่างทางสถิติในแถวเดียวกัน ($P < 0.05$)

ผลต่อคุณภาพซาก

การเสริมและไม่เสริมเมทไธโอนีน ทำให้เปอร์เซ็นต์ซากของไก่กระทองเท่ากับ 79.09, 81.25 และ 81.37 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยพบว่า การเสริมทั้ง DL-Met และ MHA ทำให้เปอร์เซ็นต์ซากของไก่กระทอง มากกว่า กลุ่มที่ไม่เสริมเมทไธโอนีน ($P < 0.05$) ขณะที่เปอร์เซ็นต์กล้ามเนื้อสะโพก กล้ามเนื้อน่อง และกล้ามเนื้อสันในไม่มีความแตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม การเสริมและไม่เสริมเมทไธโอนีนทำให้ เปอร์เซ็นต์ของกล้ามเนื้อสันนอก เท่ากับ 11.82, 13.16 และ 12.69 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยการเสริมเมทไธโอนีนทั้งสองรูป ทำให้เปอร์เซ็นต์กล้ามเนื้อสันนอก มากกว่า กลุ่มที่ไม่เสริมเมทไธโอนีน ($P < 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่า การเสริม DL-Met ทำให้กล้ามเนื้อปีก น้อยกว่า การเสริม MHA ($P < 0.05$) (ตารางที่ 16)

เมทไธโอนีนที่เสริมในอาหารไก่กระทองทั้งในรูป DL-Met และ MHA ทำให้ เปอร์เซ็นต์ซากสูงขึ้น เนื่องจากการสะสมโปรตีนในร่างกายเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับ Meirelles *et al.* (2003); Ajinomoto Heartland (1990) และ Hickling *et al.* (1990) ซึ่งรายงานว่าการเสริมเมทไธโอนีนที่เพิ่มขึ้น

ส่งผลต่อกล้ามเนื้อหน้าอก ในขณะที่เดียวกันการเสริมเมทไธโอนีนทำให้กล้ามเนื้อปีกเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Araujo *et al.*, (2004) ที่รายงานว่า การเสริมเมทไธโอนีนในอาหารไก่กระตังทำให้เปอร์เซ็นต์กล้ามเนื้อปีกเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเกิดเนื่องจากเปอร์เซ็นต์ซากที่เพิ่มสูงขึ้น

ตารางที่ 16 คุณภาพซากของไก่กระตังเพศผู้ ระยะ 42 วัน ที่เลี้ยงในกรง metabolic cage

ลักษณะที่ศึกษา	Basal diet	DL-Met	MHA	SEM	CV(%)
เปอร์เซ็นต์ซาก (%)	79.09 ^a	81.25 ^b	81.37 ^b	0.69	2.44
สะโพก (%)	11.85	11.98	11.85	0.24	5.79
น่อง (%)	10.27	10.52	10.81	0.18	5.00
กล้ามเนื้อสันใน (%)	3.33	3.58	3.57	0.09	7.36
กล้ามเนื้อสันนอก (%)	10.82 ^a	13.16 ^b	12.69 ^b	0.35	8.09
ปีก (%)	7.94 ^{ab}	7.73 ^a	8.03 ^b	0.05	3.85

^{a, b} ค่าที่แตกต่างทางสถิติในแถวเดียวกัน ($P < 0.05$)

ผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของมูล

ผลการศึกษาการใช้แหล่งกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 3 แหล่ง คือ ไม่เสริม (กลุ่มควบคุม) เสริมเมทไธโอนีนในรูป DL-Met และ MHA พบว่า การเสริมเมทไธโอนีนทั้งสองรูปทำให้ปริมาณมูลที่ขับออกมาแต่ละวันไม่แตกต่างจากกลุ่มที่ไม่เสริมเมทไธโอนีน นอกจากนี้ยังพบว่า การเสริมเมทไธโอนีนทั้งสองรูปทำให้เปอร์เซ็นต์ความชื้น วัตถุแห้ง และ โปรตีน ในมูลที่ขับออกมาแต่ละวันไม่แตกต่างจากกลุ่มที่ไม่เสริมเมทไธโอนีน อย่างไรก็ตาม พบว่า การเสริมและไม่เสริมเมทไธโอนีนทำให้เปอร์เซ็นต์เถ้าในมูลเท่ากับ 4.73, 4.86 และ 5.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยการเสริม MHA ทำให้เปอร์เซ็นต์เถ้าในมูล มากกว่า การเสริม DL-Met และกลุ่มควบคุม ($P < 0.05$) ขณะที่เปอร์เซ็นต์ไขมันที่ขับออกในมูลเท่ากับ 2.14, 2.87 และ 2.75 เปอร์เซ็นต์ การเสริม DL-Met ทำให้เปอร์เซ็นต์ไขมันในมูลมากกว่ากลุ่มที่ไม่เสริมเมทไธโอนีน ($P < 0.05$) เมื่อคำนวณเป็นปริมาณไขมันที่ขับออกมาแต่ละวัน พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ขณะที่เปอร์เซ็นต์แคลเซียมที่ขับออกในมูลเท่ากับ 1.76, 1.74 และ 1.80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า การเสริม DL-Met ทำให้เปอร์เซ็นต์แคลเซียมในมูลน้อยกว่า การเสริม MHA ($P < 0.05$) เมื่อคำนวณเป็นปริมาณ

แคลเซียมที่ขับออกมาแต่ละวัน พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันในการเสริมและไม่เสริมเมทไธโอนีน นอกจากนี้ยังพบว่า เปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสที่ขับออกในมูลเท่ากับ 1.32, 1.34 และ 1.41 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า การเสริม MHA ทำให้เปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสในมูลมากกว่า กลุ่มควบคุม ($P < 0.05$) เมื่อคำนวณเป็นปริมาณฟอสฟอรัสที่ขับออกมาแต่ละวัน พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 17 และ 18)

การเสริม MHA ลงไปในอาหารไก่กระทอง มีผลทำให้เถ้าในมูลของไก่กระทองสูงกว่า การเสริม DL-Met และกลุ่มควบคุม เป็นไปได้ว่า การเสริม MHA มีผลทำให้ pH ในอาหารไก่กระทองต่ำลง ซึ่ง pH ที่ต่ำลงนี้เอง ส่งผลต่อการขับถ่ายแคลเซียมและฟอสฟอรัสออกจากร่างกายเพิ่มขึ้น (Ramos *et al.*, 2001) ทำให้มีการขับถ่ายเถ้าออกจากร่างกายสูงขึ้น ในขณะที่การเสริม DL-Met มีผลทำให้ไขมันในมูลสูงขึ้น อาจเกิดเนื่องจาก เมทไธโอนีนมีผลต่อการขับถ่ายไขมันออกจากร่างกาย ซึ่งทำให้ไก่กระทองมีการสะสมไขมันในช่องท้องน้อยลง (Jensen *et al.*, 1989) อย่างไรก็ตาม พบว่า การเสริม MHA ทำให้การขับถ่ายแคลเซียมและฟอสฟอรัสในร่างกายสูงขึ้น ส่งผลต่อการขับถ่ายเถ้าออกมาสูงขึ้น (Mori *et al.*, 1992) ซึ่งเป็นไปตามผลการทดลองครั้งนี้

ตารางที่ 17 องค์ประกอบของสารอาหารในมูลไก่กระทองอายุ 35-42 วัน

องค์ประกอบทางเคมี	Basal diet	DL-Met	MHA	SEM	CV (%)
ปริมาณมูล (กรัม/ตัว/วัน)	201	209	211	14.54	19.97
ความชื้น (%)	74.38	75.11	75.60	1.09	4.13
วัตถุแห้ง (%)	25.62	24.89	24.40	1.09	12.34
เถ้า (%)	4.73 ^a	4.86 ^a	5.05 ^b	0.07	4.04
โปรตีน (%)	12.16	11.40	11.38	0.38	20.55
ไขมัน (%)	2.14 ^a	2.87 ^b	2.75 ^{ab}	0.26	27.53
แคลเซียม (%)	1.76 ^{ab}	1.74 ^a	1.80 ^b	0.02	3.52
ฟอสฟอรัส (%)	1.32 ^a	1.34 ^{ab}	1.41 ^b	0.04	7.57

^{a, b} ค่าที่แตกต่างทางสถิติในแถวเดียวกัน ($P < 0.05$)

ตารางที่ 18 ปริมาณสารอาหารในมูลไก่กระทองอายุ 35-42 วัน

องค์ประกอบทางเคมี	Basal diet	DL-Met	MHA	SEM	CV (%)
ปริมาณมูล (กรัม/ตัว/วัน)	201	209	211	14.54	19.97
โปรตีน (กรัม/ตัว/วัน)	8.58	8.38	8.43	0.59	20.25
ไขมัน (กรัม/ตัว/วัน)	1.55	2.10	2.12	0.28	40.81
แคลเซียม (กรัม/ตัว/วัน)	1.25	1.28	1.34	0.10	21.65
ฟอสฟอรัส (กรัม/ตัว/วัน)	0.93	0.99	1.04	0.07	20.43

ผลต่อการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหาร

จากการทดลองเลี้ยงไก่กระทองจำนวน 24 ตัว โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ ไม่เสริม (กลุ่มควบคุม) เสริมเมทไธโอนีนในรูป DL-Met และ MHA ผลของการสะสมสารอาหารในร่างกายไก่กระทอง แสดงในตารางที่ 19 ปรากฏผลการทดลองดังต่อไปนี้

ก. การใช้ประโยชน์ได้ของสารอินทรีย์ (โปรตีนและไขมัน)

ไก่กระทองมีการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีน (Protein utilization) เท่ากับ 56.80, 60.16 และ 58.48 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า การเสริม DL-Met ทำให้การใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีนในร่างกาย มากกว่า กลุ่มที่ไม่เสริมเมทไธโอนีน ($P < 0.05$) ขณะที่ การใช้ประโยชน์ได้ของไขมัน (Fat utilization) เท่ากับ 89.78, 86.86 และ 85.96 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า การเสริม MHA ทำให้การใช้ประโยชน์ได้ของไขมันในร่างกาย น้อยกว่า กลุ่มที่ไม่เสริมเมทไธโอนีน ($P < 0.05$)

การเสริม DL-Met ทำให้การใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีน มากกว่า กลุ่มควบคุม สอดคล้องกับ Meirelles *et al.*, (2003), Hickling *et al.*, (1990) และ Van Weerden *et al.*, (1983) ซึ่งรายงานว่า การเสริมเมทไธโอนีนในอาหารไก่กระทอง ทำให้ไก่กระทองมีการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีนในร่างกายเพิ่มขึ้น อาจเกิดเนื่องจากอิทธิพลของเมทไธโอนีน ซึ่งเป็นกรดอะมิโนเริ่มต้นในการสังเคราะห์โปรตีน (Harold and Rajbhandary, 1998) ทำให้ร่างกายมีการสังเคราะห์โปรตีนมากขึ้น ส่งผลต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีนในร่างกายเพิ่มขึ้น ขณะที่การเสริม MHA มีผลทำให้การใช้

ประโยชน์ได้ของไขมันในร่างกายน้อยกว่ากลุ่มที่ไม่เสริมเมทไธโอนีน สอดคล้องกับ Mendonca and Jensen (1989) และ Meirelles *et al.* (2003) ที่พบว่า การเสริมเมทไธโอนีนทำให้การใช้ประโยชน์ได้ของไขมันในร่างกายลดลง ขณะที่การไม่เสริมเมทไธโอนีน ทำให้ไก่อะทงได้รับเมทไธโอนีนไม่เพียงพอ และได้รับเมทไธโอนีนที่ไม่สมดุล มีผลต่อการใช้ประโยชน์ของไขมันในร่างกายเพิ่มขึ้น

ข. การใช้ประโยชน์ได้ของสารอนินทรีย์ (แคลเซียมและฟอสฟอรัส)

ไก่อะทงมีการใช้ประโยชน์ได้ของแคลเซียม (Calcium utilization) เท่ากับ 45.16, 37.91 และ 37.32 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ ไก่อะทงมีการใช้ประโยชน์ของฟอสฟอรัส (Phosphorus utilization) เท่ากับ 50.49, 49.60 และ 41.54 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า การเสริม MHA ทำให้การใช้ประโยชน์ของฟอสฟอรัสในร่างกาย น้อยกว่า กลุ่มที่ไม่เสริมเมทไธโอนีน ($P < 0.05$)

การเสริมเมทไธโอนีนทั้งสองรูปในอาหารไก่อะทง มีแนวโน้มทำให้การใช้ประโยชน์ได้ของแคลเซียมน้อยกว่ากลุ่มที่ไม่เสริมเมทไธโอนีน สอดคล้องกับ Nielsen *et al.*, (1988) ที่รายงานว่า การเสริมเมทไธโอนีน ทำให้การขับถ่ายแคลเซียมในร่างกายลดลง ซึ่งเป็นไปได้ว่า การเสริมเมทไธโอนีน ทำให้ไก่อะทงมีน้ำหนักมากขึ้น (Van Weerden *et al.*, 1983) เมื่อคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ แคลเซียมที่สะสมอยู่ในร่างกายแล้ว ทำให้กลุ่มที่ไม่เสริมเมทไธโอนีนมีการใช้ประโยชน์ได้ของแคลเซียมมากที่สุด เนื่องจากน้ำหนักตัวของไก่อะทงในกลุ่มที่ไม่เสริมเมทไธโอนีน มีน้ำหนักน้อยกว่ากลุ่มที่เสริมเมทไธโอนีน ขณะที่ การเสริม MHA ทำให้การใช้ประโยชน์ได้ของฟอสฟอรัสต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่เสริมเมทไธโอนีน อาจเกิดเนื่องจาก MHA ที่เสริมในอาหารไก่อะทง ทำให้ pH ในอาหารต่ำลง pH ที่ต่ำลง ทำให้การดูดซึมและการใช้ประโยชน์ได้ของฟอสฟอรัสต่ำลง (Lowell *et al.*, 1998) ส่งผลต่อการใช้ประโยชน์ได้ของฟอสฟอรัสลดลง ขณะที่ Richardson *et al.* (1988) รายงานว่า ระดับ pH ที่ 6.5 ทำให้การใช้ประโยชน์ของฟอสฟอรัสสูงสุด เมื่อพิจารณาถึงค่า pH ในอาหาร พบว่า กลุ่มที่ไม่ได้เสริมเมทไธโอนีนมี pH ในอาหารสูงกว่า กลุ่มที่เสริม MHA (6.17 เทียบกับ 6.04) ซึ่งในอาหารที่ไม่ได้เสริมเมทไธโอนีนมี pH ที่ใกล้เคียง 6.5 มากกว่ากลุ่มที่เสริม MHA

ตารางที่ 19 การใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหารในร่างกายไก่กระทง 35-42 วัน

การใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหาร ¹	Basal diet	DL-Met	MHA	SEM	CV(%)
การใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีน (%)	56.80 ^a	60.16 ^b	58.48 ^{ab}	3.12	19.68
การใช้ประโยชน์ได้ของแคลเซียม (%)	45.16	37.91	37.32	3.56	25.56
การใช้ประโยชน์ได้ของฟอสฟอรัส (%)	50.49 ^a	49.60 ^{ab}	41.45 ^b	3.44	21.38
การใช้ประโยชน์ได้ของไขมัน (%)	89.78 ^a	86.86 ^{ab}	85.96 ^b	1.57	5.09

^{a, b} ค่าที่แตกต่างทางสถิติในแถวเดียวกัน (P<0.05)

¹การใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหาร =
$$\frac{(\text{สารอาหารที่กินเข้าไป} - \text{สารอาหารที่ออกมาจกมูล}) \times 100}{\text{สารอาหารที่กินเข้าไป}}$$

ผลต่อองค์ประกอบทางเคมีในกระดูก tibia

จากการทดลองเลี้ยงไก่กระทงจำนวน 24 ตัว โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ ไม่เสริม (กลุ่มควบคุม) เสริมเมทไธโอนีนในรูป DL-Met และ MHA ผลของการสะสมสารอาหารในกระดูก tibia แสดงในตารางที่ 20 และ 21 ปรากฏผลการทดลองดังต่อไปนี้

ก. การสะสมโปรตีนในกระดูก tibia

ไก่กระทงมีการสะสมโปรตีนในกระดูก tibia เท่ากับ 33.91 , 35.56 และ 34.41 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า การเสริม DL-Met ทำให้การสะสมโปรตีนในกระดูก tibia มากกว่า การเสริม MHA และกลุ่มที่ไม่ได้เสริมเมทไธโอนีน (P<0.05) เมื่อคำนวณเป็นปริมาณการสะสมโปรตีนในกระดูก tibia เท่ากับ 2.87, 3.32 และ 3.21 กรัม ตามลำดับ ซึ่งพบว่า การเสริมทั้ง DL-Met และ MHA ทำให้ปริมาณการสะสมโปรตีนในกระดูก tibia มากกว่า กลุ่มควบคุม (P<0.05)

การเสริม DL-Met ทำให้การสะสมโปรตีนในกระดูก tibia เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Epstein *et al.*, (1982) รายงานว่า การเสริมเมทไธโอนีนในอาหารไก่กระทงส่งผลต่อการสะสมโปรตีนในกระดูก เพิ่มมากขึ้น อาจเกิดเนื่องจากเมทไธโอนีน มีผลทำให้การดูดซึมและการใช้ประโยชน์ได้

ของโปรตีนดีขึ้น (Van Weerden *et al.*, 1983) แต่เนื่องจาก pH ที่ต่ำลงของ MHA ทำให้การดูดซึมและการใช้ประโยชน์ของโปรตีนลดลง (Beynen *et al.*, 2001)

ข. การสะสมแคลเซียมและฟอสฟอรัสในกระดูก tibia

ไก่กระທงมีการสะสมแคลเซียมในกระดูก tibia เท่ากับ 17.68, 17.22 และ 16.96 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า การเสริม MHA ทำให้การสะสมแคลเซียมในกระดูก tibia น้อยกว่า กลุ่มควบคุม ($P < 0.05$) เมื่อคำนวณเป็นปริมาณการสะสมแคลเซียมในกระดูก tibia แล้ว มีเท่ากับ 1.45, 1.61 และ 1.58 กรัม ตามลำดับ ซึ่งพบว่า การเสริมทั้ง DL-Met และ MHA ทำให้ปริมาณการสะสมแคลเซียมในกระดูก tibia มากกว่า กลุ่มควบคุม ($P < 0.05$) ขณะที่ไก่กระທงมีการสะสมฟอสฟอรัสในกระดูก tibia เท่ากับ 9.90, 9.39 และ 9.66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อคำนวณเป็นปริมาณการสะสมฟอสฟอรัสในกระดูก tibia เท่ากับ 0.81, 0.88 และ 0.90 กรัม ตามลำดับ ซึ่งพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นกัน

การเสริม MHA ในอาหารไก่กระທง ส่งผลต่อการสะสมแคลเซียมในกระดูก tibia น้อยกว่า กลุ่มควบคุม เป็นไปได้ว่า การเสริมเมทไธโอนีนทำให้การสะสมแคลเซียมในร่างกายลดลง ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการสะสมแคลเซียมในกระดูก เนื่องจากแคลเซียมที่สะสมในร่างกายส่วนใหญ่จะสะสมอยู่ในกระดูก (Heaney, 2000) ขณะที่การเสริมเมทไธโอนีนทั้ง 2 รูป ไม่มีผลต่อการสะสมฟอสฟอรัสในกระดูก tibia สอดคล้องกับ Silva and Moraes (2002) ซึ่งรายงานว่าการเสริมเมทไธโอนีนในอาหารไก่กระທง ไม่มีผลต่อการสะสมฟอสฟอรัสในกระดูก อาจเกิดเนื่องจาก กลุ่มที่เสริม MHA ทำให้การใช้ประโยชน์ของฟอสฟอรัสในร่างกายน้อยกว่า กลุ่มที่ไม่ได้เสริมเมทไธโอนีน ซึ่งฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ในร่างกายไม่ได้ไปสะสมที่กระดูกทั้งหมด มีเพียงร้อยละ 80 สามารถถูกดูดซึมและเก็บสะสมไว้ในกระดูก (Williams and Pujol, 2001) ส่งผลต่อการสะสมฟอสฟอรัสในกระดูกไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 20 การสะสมสารอาหารในกระดูก tibia ของไก่กระทงอายุ 42 วัน

ลักษณะที่ศึกษา	Basal diet	DL-Met	MHA	SEM	CV(%)
น้ำหนักกระดูก tibia (กรัม)	8.21 ^a	9.35 ^b	9.34 ^b	0.22	6.85
การสะสมแคลเซียม (%)	17.68 ^a	17.22 ^{ab}	16.96 ^b	0.21	3.47
การสะสมฟอสฟอรัส (%)	9.90	9.39	9.66	0.29	8.30
การสะสมโปรตีน (%)	33.91 ^a	35.56 ^b	34.41 ^a	0.40	3.24

^{a, b} ค่าที่แตกต่างทางสถิติในแถวเดียวกัน ($P < 0.05$)

ตารางที่ 21 ปริมาณการสะสมสารอาหารในกระดูก tibia ของไก่กระทงอายุ 42 วัน

ลักษณะที่ศึกษา	Basal diet	DL-Met	MHA	SEM	CV(%)
กระดูก tibia (% น้ำหนักตัว)	0.38	0.37	0.37	0.01	5.83
การสะสมแคลเซียม (กรัม)	1.45 ^a	1.61 ^b	1.58 ^b	1.57	5.09
การสะสมฟอสฟอรัส (กรัม)	0.81	0.88	0.90	0.03	10.92
การสะสมโปรตีน (กรัม)	2.78 ^a	3.32 ^b	3.21 ^b	0.08	7.03

^{a, b} ค่าที่แตกต่างทางสถิติในแถวเดียวกัน ($P < 0.05$)

ผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของตับ

ผลการศึกษาการใช้แหล่งกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 3 แหล่ง คือ ไม่เสริม (กลุ่มควบคุม) เสริมเมทไธโอนีนในรูป DL-Met และ MHA พบว่า เปอร์เซ็นต์ความชื้นในตับ เท่ากับ 72.34, 71.97 และ 70.06 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยพบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ นอกจากนี้ยังพบว่า การเสริมและไม่เสริมเมทไธโอนีน ทำให้โปรตีน และไขมัน ในตับ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ไม่ว่าจะคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ หรือปริมาณสารอาหารในตับ (กรัม) ก็ตาม (ตารางที่ 22 และ 23)

จากผลการทดลอง พบว่า การเสริมและไม่เสริมเมทไธโอนีน ไม่มีผลต่อความชื้นในระดับ สอดคล้องกับ Morita *et al.*, (1997) ที่รายงานว่า การเสริมเมทไธโอนีนลงในอาหารสัตว์ ไม่มีผลต่อ ความชื้นในอวัยวะภายในของสัตว์ อาจเกิดขึ้นเนื่องจากอวัยวะภายในของสัตว์ปีก จำเป็นต้องมีการ รักษาความชื้นในอวัยวะภายในเหล่านั้น เพื่อให้อวัยวะภายในสามารถทำงานได้ต่อไป (Osweiler, 2005) ถ้าความชื้นมากหรือน้อยกว่าปกติ อาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของอวัยวะภายในเหล่านั้นได้ ซึ่งเป็นผลเสียต่อตัวสัตว์ ขณะที่พบว่า การเสริมและไม่เสริมเมทไธโอนีน ไม่มีผลต่อไนโตรเจนหรือ โปรตีนในระดับ สอดคล้องกับ Loest *et al.*, (2002) ที่รายงานว่า การเสริมเมทไธโอนีน ไม่มีผลต่อ ไนโตรเจนในอวัยวะภายในของสัตว์ อาจเกิดเนื่องจาก ในตับซึ่งเป็นอวัยวะที่เกี่ยวข้องกับเมตาบอลิซึมของไนโตรเจน จำเป็นต้องรักษาสมดุลของไนโตรเจนในระดับ (Horejsi and Zazvoka, 1952) เพื่อให้ตับสามารถทำงานได้ตามปกติ อย่างไรก็ตาม พบว่า การเสริมและไม่เสริมเมทไธโอนีนไม่มี ผลต่อไขมันในระดับ สอดคล้องกับ (Bertics and Grummer, 1999) ที่รายงานว่า การเสริมเมทไธโอนีน ในอาหารสัตว์ ไม่มีผลต่อไขมันในอวัยวะภายในของสัตว์ เป็นไปได้ว่า ตับเป็นอวัยวะที่เกี่ยวข้อง กับการเมตาบอลิซึมของไขมัน การรักษาสมดุลของไขมันในระดับ ทำให้ตับสามารถทำงานต่อไปได้ ตามปกติ (Horejsi and Zazvoka, 1952) ซึ่งการเสริมเมทไธโอนีนจึงไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง ไขมันในระดับ อย่างไรก็ตามการเสริมเมทไธโอนีนมีแนวโน้มทำให้การสะสมไขมันในระดับเพิ่มมา กขึ้น (4.93 และ 5.18 เทียบกับ 4.26 เปอร์เซ็นต์) โดยเมทไธโอนีนสนับสนุนให้ร่างกายสะสม พลังงานส่วนเกินไว้ในรูปของไขมันในระดับโดยกระตุ้นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์กรด ไขมันเปลี่ยนพลังงานส่วนเกินเป็นกรดไขมันสะสมไว้ในตับเพิ่มขึ้น (Smith *et al.*, 1983)

ตารางที่ 22 องค์ประกอบทางเคมีของสารอาหารในระดับไก่กระทงอายุ 42 วัน

สารอาหาร (%)	Basal diet	DL-Met	MHA	SEM	CV (%)
ความชื้น	72.34	71.97	70.06	0.75	2.96
ไนโตรเจน	2.71	2.64	2.66	0.03	3.60
โปรตีน	16.95	16.51	16.65	0.22	3.62
ไขมัน	4.26	4.93	5.18	0.30	17.58

ตารางที่ 23 ปริมาณสารอาหารในตับและกรดยูริกในพลาสมาของไก่กระทงอายุ 42 วัน

สารอาหาร	Basal diet	DL-Met	MHA	SEM	CV (%)
น้ำหนักตับ (กรัม)	56.63	57.53	57.23	-	-
ไนโตรเจน (กรัม)	1.53	1.52	1.53	0.05	8.84
โปรตีน (กรัม)	9.56	9.51	9.53	0.30	8.75
ไขมัน (กรัม)	2.46	2.85	2.98	1.04	17.56
กรดยูริกในพลาสมา (%mg)	6.15	6.70	7.23	0.21	4.28

ผลต่อปริมาณกรดยูริกในพลาสมา

จากการทดลองเลี้ยงไก่กระทงจำนวน 24 ตัว โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ ไม่เสริม (กลุ่มควบคุม) เสริมเมทไธโอนีนในรูป DL-Met และ MHA พบว่า ปริมาณของกรดยูริกในพลาสมา เท่ากับ 6.15, 6.70 และ 7.23 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ (mg%) ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าการเสริม MHA ทำให้มีปริมาณยูริกในพลาสมา มากกว่า การเสริม DL-Met และ กลุ่มควบคุม ($P < 0.05$) (ตารางที่ 23)

การสะสมกรดยูริกในกระแสเลือดของ กลุ่มที่เสริมด้วย MHA เพิ่มขึ้นเนื่องจาก MHA มี ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนเป็น L-Methionine ดีกว่า DL-Met (Dibner and Ivey, 1991) ทำให้การนำกรดอะมิโนเมทไธโอนีนไปใช้ได้ดีกว่า DL-Met จึงมีกรดอะมิโนส่วนเกินและถูกเปลี่ยนเป็นกรดยูริก ซึ่งกรดยูริกบ่งบอกถึงไนโตรเจนส่วนเกินที่ถูกขับทิ้งออกจากร่างกายของไก่กระทง ส่งผลให้การเสริม MHA มียูริกในเลือดสูงกว่าการเสริม DL-Met และการไม่เสริมเมทไธโอนีน จึงอาจเป็นไปได้ว่าค่า bioefficacy ของ MHA อาจสูงกว่า 80% ของ DL-Met