



วิทยานิพนธ์

ผลของกรดอะมิโนเมไทโอนีนสังเคราะห์ในรูปไฮดรอกซีอะนาล็อกต่อสมรรถภาพการผลิต
การใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหาร เมแทบอลิซึมของลิพิด และการเกิดโรค ascites ใน
ไก่กระตงเพศผู้ ช่วงอายุ 1-42 วันผลของกรดอะมิโนเมไทโอนีนสังเคราะห์ในรูปไฮดรอกซี
อะนาล็อกต่อสมรรถภาพการผลิต การใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหาร เมแทบอลิซึมของลิพิด
และการเกิดโรค ascites ในไก่กระตงเพศผู้ ช่วงอายุ 1-42 วัน

EFFECT OF METHIONINE HYDROXY ANALOGUE ON PRODUCTION
PERFORMANCE, NUTRIENT UTILIZATION, LIPID METABOLISM AND INCIDENCE
OF ASCITES SYNDROME IN MALE BROILER CHICKEN DURING 1-42 DAYS OF AGE

นางสาวตกรรณ สุขศรีแดง

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

ปริญญญา

สัตวบาล

สาขา

สัตวบาล

ภาควิชา

เรื่อง ผลของกรดอะมิโนเมไทโอนีนสังเคราะห์ในรูปไฮดรอกซีอะนาล็อกต่อสมรรถภาพการผลิต การใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหาร เมแทบอลิซึมของลิพิด และการเกิดโรค ascites ในไก่กระທေးเพศผู้ ช่วงอายุ 1-42 วัน

Effect of Methionine Hydroxy Analogue on Production Performance, Nutrient Utilization, Lipid Metabolism and Incidence of Ascites Syndrome of Male Broiler Chicken During 1-42 Days of Age

นามผู้วิจัย นางสาวศวรรณ สุขศรีแดง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ดวงสมร สีนเจิมศิริ, วท.ม.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ชัยภูมิ บัญชาศักดิ์, Ph.D.)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จำเริญ เทียงธรรม, Ph.D.)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อมรรัตน์ พรหมบุญ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์ชัยภูมิ บัญชาศักดิ์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วันชัย อาจคงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ _____ เดือน _____ พ.ศ. _____

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของกรดอะมิโนเมไทโอนีนสังเคราะห์ในรูปไฮดรอกซีอะนาล็อกต่อสมรรถภาพการผลิต การใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหาร เมแทบอลิซึมของลิพิด และการเกิดโรค ascites ในไก่กระທးเพศผู้ ช่วงอายุ 1-42 วัน

Effect of Methionine Hydroxy Analogue on Production Performance, Nutrient Utilization, Lipid Metabolism and Incidence of Ascites Syndrome of Male Broiler Chicken During 1-42 Days of Age

โดย

นางสาวดกวรรณ สุขศรีแดง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อขอความสมบูรณัแห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)
พ.ศ. 2550

ดกวรรณ สุขศรีแดง 2550: ผลของกรดอะมิโนเมไทโอนีนสังเคราะห์ในรูปไฮดรอกซีอะนาล็อกต่อสมรรถภาพการผลิต การใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหาร เมแทบอลิซึมของลิพิด และการเกิดโรค ascites ในไก่กระตังเพศผู้ ช่วงอายุ 1-42 วัน ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) สาขาสัตวบาล ภาควิชาสัตวบาล ปรธาน กรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์ดวงสมร สีนจิมสิริ, วท.ม. 124 หน้า

การศึกษาผลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อก (DL-Met-OH) เพื่อเป็นแหล่งของเมไทโอนีนต่อสมรรถภาพการผลิต การใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหาร เมแทบอลิซึมของลิพิด และการเกิดโรค ascites ในไก่กระตังเพศผู้ (สายพันธุ์ Ross 208) อายุ 1-42 วัน วางแผนการทดลองแบบ CRD โดยแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของ DL-Met-OH ต่อสมรรถภาพการผลิต การเกิดโรค ascites และสารเมแทบอลิซึมในเลือดของไก่กระตังที่เลี้ยงบนพื้นแบ่งไก่จำนวน 875 ตัว ออกเป็น 5 กลุ่มๆ ละ 7 ซ้ำๆ ละ 25 ตัว ให้อาหารทดลอง 2 ระยะ คือ 1. ระยะเล็ก 1-21 วัน โดยกลุ่มที่ 1 ไม่เสริม DL-Met-OH ในอาหารพื้นฐาน กลุ่มที่ 2, 3, 4 และ 5 เสริม DL-Met-OH ในอาหารพื้นฐานร้อยละ 0.32, 0.33, 0.35 และ 0.37 ตามลำดับ และ 2. ระยะรุ่น 22-42 วัน กลุ่มที่ 1 ไม่เสริม DL-Met-OH กลุ่มที่ 2, 3, 4 และ 5 เสริม DL-Met-OH ร้อยละ 0.30, 0.32, 0.33 และ 0.35 ตามลำดับ โดยคำนวณการเสริมให้มี TSAA ตรงความต้องการตามคำแนะนำของสายพันธุ์ (ยกเว้นกลุ่มที่ 1) จากผลการทดลองทั้งสองระยะพบว่าไก่ทุกกลุ่มที่เสริม DL-Met-OH มีสมรรถภาพการเจริญเติบโตดีกว่ากลุ่มที่ไม่เสริม DL-Met-OH อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และการเสริม DL-Met-OH ที่ระดับสูงกว่า 0.320.30% ในอาหาร ไม่ทำให้สมรรถภาพการเจริญเติบโตของไก่เพิ่มขึ้น ส่วนผลต่อคุณภาพซาก พบว่าการเสริม DL-Met-OH ที่ระดับ 0.320.30 และ 0.350.33% มีแนวโน้มเปอร์เซ็นต์กล้ามเนื้อสูงกว่ากลุ่มอื่น ($p = 0.05$) และไขมันช่องท้องต่ำสุด ($p = 0.07$) นอกจากนี้พบว่าการกินอาหารเสริม DL-Met-OH ทำให้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักหัวใจ หัวใจห้องล่างขวา และซ้ายลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และพบวาระดับฮอร์โมน T3 ในพลาสมาของไก่ระยะเล็กลดลงยกเว้นการเสริมที่ระดับ 0.330.32% แม้ว่าจากผลการทดลองไม่พบอิทธิพลของ DL-Met-OH ต่อค่าอัลบูมินเม็ดเลือดแดง ระดับไตรกลีเซอไรด์ กรดไขมันอิสระในซีรัม แต่กรดยูริกในพลาสมามีแนวโน้มสูงขึ้น ($p = 0.07$) ในการทดลองที่ 2 ศึกษาผลของ DL-Met-OH ต่อการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหาร และกระบวนการเมแทบอลิซึมของลิพิดเลี้ยงไก่บนกรง metabolic ที่อายุ 14-21 และ 35-42 วัน ใช้อาหารเดียวกันกับการทดลองที่ 1 โดยแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มๆ ละ 8 ซ้ำๆ ละ 1 ตัว พบว่าการเสริม DL-Met-OH ที่สูงขึ้นทำให้ pH ในอาหารลดลง ($p < 0.05$) แต่ไม่ส่งผลต่อ pH ในทางเดินอาหารและมูลและไก่ในกลุ่มที่เสริม DL-Met-OH 0.350.33% มีการขับฟอสฟอรัสในมูลต่ำสุด ($p < 0.05$) ขณะที่การใช้ประโยชน์ได้ของแคลเซียมมีแนวโน้มลดลง ($p = 0.05$) เมื่อเสริม DL-Met-OH และการใช้ประโยชน์ได้ของฟอสฟอรัสในกลุ่มเสริม 0.320.30% มีค่าต่ำกว่ากลุ่มอื่น แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีนและไขมัน นอกจากนี้การเสริม DL-Met-OH ในทุกระดับ ไม่ส่งผลกระทบต่อองค์ประกอบทางเคมีและปริมาณไตรกลีเซอไรด์ในตับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเสริม DL-Met-OH ให้ตรงตามความต้องการทำให้สมรรถภาพการเจริญเติบโตดีขึ้น โดยไม่เสี่ยงต่อการเกิดโรค ascites และระดับ TSAA ในอาหารที่เพิ่มขึ้นในอาหาร ไม่ทำให้สมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซากแตกต่างกัน ขณะที่ไม่มีผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหาร และกระบวนการเมแทบอลิซึมของลิพิด

Takawan Sooksridang 2007: Effect of Methionine Hydroxy Analogue on Production Performance, Nutrient Utilization, Lipid Metabolism and Incidence of Ascites Syndrome of Male Broiler Chicken During 1-42 Days of Age. Master of Science (Agriculture), Major Field: Animal Science, Department of Animal Science. Thesis Advisor: Associate Professor Duangsamorn Sinjermsiri, M.S. 124 pages.

Two studies were conducted to investigate the effects of adding DL-methionine hydroxy analogue (DL-Met-OH) as source of DL-methionine (DL-Met) on production performance, nutrient utilization, lipid metabolism and incidence of ascites syndrome during 1-42 days of age. Both studies was completely randomized design of treatments. First experiment was carried out to investigate the effect of DL-Met-OH on production performance , incidence of ascites syndrome and metabolites in blood. Eight hundred and seventhty-five chicks (ROSS strain) were divided into 5 groups; each group consisted of 7 replications of twenty five chicks each, and the chicks were kept in floor pens. The following five experimental diets were provided into 2 phases of feeding: 1) corn-soybean based diet deficient in methionine, 2) based diet with 0.32/0.30 %DL-Met-OH, 3) based diet with 0.33/0.32 %DL-Met-OH, 4) based diet with 0.35/0.33 %DL-Met-OH and 5) based diet with 0.37/0.35 %DL-Met-OH. The results showed that during the starter and grower period, growth performance of chicks fed DL-Met-OH were significantly better than chicks received methionine-deficient diet ($P<0.01$), while addition of DL-Met-OH more than 0.32/0.30 % could not improved growth performance higher as compared to another groups. Adding DL-Met-OH at 0.33/0.32 % and 0.35/0.33 % trends to significantly improved percentage of meat ($P=0.05$) and abdominal fat ($P=0.07$). As for incidence of ascites syndrome, the effects of methionine addition on heart characteristic and hematocrit value were not seen, but adding methionine significantly depressed plasma triiodothyronine (T_3 ; at 21 days of age). In addition, there were no significant differences among groups in serum triglyceride and non-esterified fatty acid but trends to increase in plasma uric acid,. In the second experiment, were conducted for nutrient utilization and lipid metabolism. Chicks were raised in metabolic cage during 14-21 and 35-42 days of age and they were fed the same diet as in the first experiment. Chicks were seperated into 5 groups; each group consisted of 8 replications of one chick each. Adding DL-Met-OH significantly decreased pH value in diet compare to unsupplemented group, but no significant differences among groups in pH of gastrointestinal and fecal samples. Although calcium utilization trends to decrease ($p=0.05$) when supplement with DL-Met-OH and phosphorus utilization was lower than another groups, there was no effect on protein and fat utilization. Adding of DL-Met-OH in the diet had no effects on liver chemical composition and triglyceride in liver. Therefore, the results suggested that supplemented DL-Met-OH to meet requirement could improve production performance and increasing TSAA in diet could not improved either growth performance or carcass quality, but not affected to nutrient utilization.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

/ /

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดวงสมร สันเจิมสิริ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยภูมิ บัญชาศักดิ์ กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จำเริญ เทียงธรรม กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อมรรัตน์ พรหมบุญ กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก ที่ได้สนับสนุน ให้คำปรึกษาแนะนำ อำนวยความสะดวก และแก้ไขการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้อย่างใกล้ชิด และผู้ช่วยศาสตราจารย์.สมพงษ์ เจษฎาธรรมสถิต ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ บริษัท Sumitomo Chemical Co., Ltd. (Japan) ที่สนับสนุนงบประมาณในการวิจัย ขอขอบคุณ บริษัท ศูนย์วิจัยสัตว์กรุงเทพ จำกัด ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ทำงานวิจัย รวมทั้งเจ้าหน้าที่และพนักงานทุกท่านที่ได้อำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ ในระหว่างทำการวิจัย ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร วิทยาเขตบางเขน และศูนย์เครื่องจักรกลทางการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสนที่ให้คำปรึกษาและอำนวยความสะดวกในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อเดิม สุขศรีแดง และคุณแม่พวง สุขศรีแดง คุณพี่กนกธดา สุขศรีแดง ที่ให้โอกาสในการศึกษา คอยให้กำลังใจ และเป็นต้นแบบที่ดีในการดำเนินชีวิตมาโดยตลอด ขอขอบคุณพี่สาวที่ดูแลและให้กำลังใจน้องสาวเสมอมา และขอบคุณครอบครัว สุขศรีแดงที่มอบความอบอุ่นและความห่วงใยมาโดยตลอด ตลอดจนคณาจารย์ทุกท่านที่ให้การอบรมสั่งสอนจนสำเร็จการศึกษา รวมทั้งขอขอบคุณ พี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ สัตวบาลทุกท่านที่ได้ให้การช่วยเหลือและให้คำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ดกวรรณ สุขศรีแดง

เมษายน 2550

สารบัญ

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	20
การทดลองที่ 1	20
การทดลองที่ 2	31
ผลและวิจารณ์	35
การทดลองที่ 1	35
การทดลองที่ 2	57
สรุป	78
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	80
ภาคผนวก	94
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	124

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ความต้องการกรดอะมิโนในไก่กระตัง (คำนวณจาก % ไลซีน)	10
2 สัดส่วนของกรดอะมิโนและโปรตีนในวัตถุดิบอาหารสัตว์จากการวิเคราะห์	22
3 ส่วนประกอบของวัตถุดิบอาหารและค่าโภชนะที่ได้จากการคำนวณของอาหารทดลองสูตรพื้นฐานระยะเล็ก (1-21 วัน) และระยะรุ่น (22-42 วัน)	23
4 สัดส่วนของกรดอะมิโนในอาหารพื้นฐานระยะเล็ก และระยะรุ่น จากการคำนวณและการวิเคราะห์ของไก่กระตัง	24
5 ปริมาณกรดอะมิโนเมไทโอนีนที่เสริมในอาหารทดลองในระยะเล็ก และระยะรุ่น	25
6 องค์ประกอบทางโภชนะของอาหารที่ใช้ทดลองจากการคำนวณและการวิเคราะห์	26
7 แสดงผลของการเสริมเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาโลคต่อปริมาณอาหารที่กินได้ของไก่กระตังในแต่ละช่วงอายุ	36
8 แสดงผลของการเสริมเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาโลคต่อปริมาณกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบที่ได้รับของไก่กระตังในแต่ละช่วงอายุ	36
9 แสดงผลของการเสริมเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาโลคต่อน้ำหนักตัว และอัตราการเจริญเติบโตของไก่กระตังในแต่ละช่วงอายุ	38
10 แสดงผลของการเสริมเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาโลคต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวของไก่กระตังในแต่ละช่วงอายุ	41
11 แสดงผลของการเสริมเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาโลคต่อความสม่ำเสมอของฝูง และอัตราการตายของไก่กระตังในแต่ละช่วงอายุ	43
12 แสดงผลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาโลคต่อคุณภาพซากของไก่กระตังที่อายุ 42 วัน (% น้ำหนักตัว)	45
13 แสดงผลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาโลคต่อลักษณะของหัวใจแบบตัดขวางของไก่กระตังที่อายุ 42 วัน	49
13 แสดงผลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาโลคต่อลักษณะของหัวใจแบบตัดขวางของไก่กระตังที่อายุ 42 วัน (ต่อ)	50

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
14	แสดงผลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อกต่อการอัดแน่นของเม็ดเลือดแดงในไก่กระทงที่อายุ 42 วันและระดับฮอร์โมนไทรอยด์ในพลาสมาของไก่กระทงในแต่ละช่วงอายุ	51
15	แสดงผลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อกต่อระดับฮอร์โมนไทรอยด์ (T3) ในพลาสมาของไก่กระทงที่อายุ 42 วัน	53
16	แสดงผลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อกต่อกรดยูริกในพลาสมาของไก่กระทงช่วงระยะเล็ก และระยะรุ่น	55
17	แสดงผลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อกต่อกรดไขมัน (NEFA) และไตรกลีเซอไรด์ในซีรัมของไก่กระทงช่วงระยะแรก และระยะรุ่น	56
18	ผลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อกต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตของไก่กระทงช่วงอายุ 14-21 วัน	58
19	ผลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อกต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตของไก่กระทงช่วงอายุ 35-42 วัน	59
20	แสดงผลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อกต่อ pH ในอาหาร ระบบทางเดินอาหาร และมูลของไก่กระทงในระยะเล็ก และระยะรุ่น	62
21	แสดงผลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อกต่อน้ำหนักอวัยวะภายในของไก่กระทงระยะเล็ก (% น้ำหนักตัว)	64
22	แสดงผลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อกต่อน้ำหนักอวัยวะภายในของไก่กระทงระยะรุ่น (% น้ำหนักตัว)	65
23	แสดงผลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อกต่อการสะสมแคลเซียมและฟอสฟอรัสในกระดูกน่อง (tibia) ของไก่กระทงระยะรุ่น	67
24	แสดงผลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อกต่อองค์ประกอบทางเคมีในมูลของไก่กระทงระยะรุ่น	69
25	แสดงผลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อกต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีนและไขมันในมูลของไก่กระทงระยะรุ่น	72

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
26 แสดงผลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อกต่อการใช้ประโยชน์ได้ของ แคลเซียมและฟอสฟอรัสในมูลของไก่กระต๊อกระยะรุ่น	73
27 แสดงผลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อกต่อองค์ประกอบทางเคมีในตับของ ไก่กระต๊อกระยะเล็กและระยะรุ่น	76
28 แสดงผลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อกต่อปริมาณไตรกลีเซอไรด์ในตับของ ไก่กระต๊อกระยะเล็กและระยะรุ่น	77
 ตารางผนวกที่	
1 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนของการทดลองที่ 2 อายุ 14 - 21 วัน	95
2 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนของการทดลองที่ 2 อายุ 35 - 42 วัน	96
3 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด สูงสุดภายในโรงเรือนระบบปิดที่ควบคุม สภาพแวดล้อมด้วยระบบไอน้ำ (Evaporative cooling system) อายุ 0 - 21 วัน	97
4 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด สูงสุดภายในโรงเรือนระบบปิดที่ควบคุม สภาพแวดล้อมด้วยระบบไอน้ำ (Evaporative cooling system) อายุ 22-42 วัน	98
5 ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันอิสระและค่าการดูดกลืนแสง	107
6 ค่าความเข้มข้นของกรดและค่าการดูดกลืนแสง	111
7 การสอบเทียบน้ำหนักจากมวลมาตรฐานของกราฟที่มีช่วงระยะห่าง 10 (range 10)	119

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 โครงสร้างทางเคมีของกรดอะมิโนเมไทโอนีน	5
2 กระบวนการสังเคราะห์กรดอะมิโนที่มีหมู่ซัลเฟอร์จากกรดอะมิโนเมไทโอนีน	6
3 กระบวนการเมทาบอไลซึมของกรดอะมิโนเมไทโอนีน	8
4 โครงสร้างทางเคมีของกรดอะมิโนเมไทโอนีนในรูป L-methionine และ L-methionine hydroxy analogue	12
5 วิธีการเปลี่ยนแปลง DL-methionine hydroxy analogue และ DL-methionine เป็นเมไทโอนีนในรูป L-methionine	13
6 สรุปลำดับสาเหตุและขั้นตอนการเกิดสภาวะอาการของโรค ascites syndrome	19
7 แสดงตำแหน่งที่ตัด cross section	28
8 แสดงภาพ cross section ของหัวใจ	29
9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการกินอาหารกับอัตราการเจริญเติบโตในระยะ 1-21 วัน	40
10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการกินอาหารกับอัตราการเจริญเติบโตในระยะ 22-42 วัน	40
 ภาพผนวกที่	
1 แสดงอุณหภูมิต่ำสุด และสูงสุดต่ำในโรงเรือนระบบปิดในแต่ละสัปดาห์	102
2 แสดงเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนระบบปิดในแต่ละสัปดาห์	102
3 แสดงความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกรดไขมันชนิดกรดโอเลอิกในความเข้มข้นต่าง ๆ	111
4 แสดงความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกรดยูริกในความเข้มข้นต่าง ๆ	114
5 ลักษณะการวางกระดูกเพื่อวัดความแข็งแรงของกระดูก	121
6 ความสัมพันธ์ระหว่างมวลมาตรฐานกับมวลปรากฏของกราฟที่มีช่วงระยะห่าง 10 (range 10)	123

ผลของกรดอะมิโนเมไทโอนีนสังเคราะห์ในรูปไฮดรอกซีอะนาล็อกต่อสมรรถภาพการผลิต
การใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหาร เมแทบอลิซึมของลิพิด และการเกิดโรค ascites ในไก่
กระທေးเพศผู้ ช่วงอายุ 1-42 วัน

**Effect of Methionine Hydroxy Analogue on Production Performance, Nutrient
Utilization, Lipid Metabolism and Incidence of Ascites Syndrome of Male Broiler
Chicken During 1-42 Days of Age**

คำนำ

ปัจจุบันการใช้ปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนคุณภาพสูงในอาหารไก่กระທေးมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากความผันแปรทางด้านราคาและการปนเปื้อน จึงนำกากถั่วเหลืองมาใช้ทดแทนมากขึ้น แม้ในสูตรอาหารที่ใช้ข้าวโพดและกากถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบหลักจะมีกรดอะมิโนจำเป็นหลายชนิดแต่กลับมีเมไทโอนีนในปริมาณต่ำจึงจัดเป็นกรดอะมิโนจำกัดอันดับแรก (First limiting amino acid) ทำให้ต้องเสริมเมไทโอนีนสังเคราะห์ เพื่อให้ครบตามความต้องการของสายพันธุ์

แหล่งของเมไทโอนีนสังเคราะห์ในอาหารสัตว์ปีก ได้แก่ DL-methionine (DL-Met) ซึ่งนิยมใช้กันทั่วไป และ DL-methionine hydroxy analogue (DL-Met-OH) ที่มีโครงสร้างทางเคมีคล้ายเมไทโอนีน แต่มีต้นทุนการผลิตต่ำกว่าและสะดวกในการผสมอาหาร จึงเริ่มนำมาใช้ทดแทน DL-Met มากขึ้น ถึงแม้ประสิทธิภาพของ DL-Met-OH จะดีกว่า โดยใช้เสริมในปริมาณที่เท่ากัน (Esteve-Garcia and Austic, 1993; Huyghebaert, 1993) อย่างไรก็ตามงานวิจัยส่วนหนึ่งรายงานว่าประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของ DL-Met-OH นั้นไม่แตกต่างจาก DL-Met (Waldroup *et al.*, 1981; Elkin and Hester, 1983; Garlich, 1985) อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยที่ผ่านมาชี้ให้เห็นว่า การศึกษาความต้องการใช้เมไทโอนีนสังเคราะห์ในรูป Hydroxy analogue ในอาหารไก่กระທေးนั้นยังคงมีความไม่ชัดเจน ทั้งนี้อาจเนื่องจากความต้องการกรดอะมิโนเมไทโอนีนเพื่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร การสร้างเนื้อหน้าอก หรือแม้กระทั่งเพื่อลดสัดส่วนที่เป็นไขมันในร่างกาย นั้น มีค่าที่แตกต่างกัน (Jensen *et al.*, 1989; Moran, 1994; Schutte and Pack, 1995) ซึ่งอาจเนื่องด้วย ความแตกต่างของสายพันธุ์ อายุ และสภาพแวดล้อม แต่อย่างไรก็ตามจุดประสงค์ของผู้ผลิตไก่กระທေး นั้น คือการทำให้สัตว์ได้รับโภชนาที่เหมาะสม โดยมีสมรรถภาพการผลิตสูงสุด และต้นทุน

ต่ำ ซึ่งปัจจุบันมีการพัฒนาสายพันธุ์ไก่กระทงให้มีอัตราการเจริญเติบโตที่รวดเร็ว ใช้ระยะเวลาการผลิตสั้น ทำให้อัตราเมแทบอลิซึมของร่างกายสัตว์สูงขึ้น ส่งผลให้สัตว์มีความต้องการใช้ออกซิเจนสูงในกระบวนการเมแทบอลิซึม โดยการเจริญเติบโตในลักษณะเช่นนี้มีผลทำให้เกิดโรคซึ่งเกี่ยวข้องกับระบบหมุนเวียนโลหิตภายในร่างกายทำงานจนผิดปกติและอาจรุนแรงถึงขั้นเสียชีวิตอย่างฉับพลัน ซึ่งเป็นปัญหาที่สร้างความสูญเสียทางเศรษฐกิจอย่างมาก

โรคที่เกิดจากความผิดปกติของกระบวนการเมแทบอลิซึม (metabolic disorder) เช่น โรค ascites syndrome นั้น เกิดเนื่องจากร่างกายสัตว์เพิ่มการหมุนเวียนโลหิตเพื่อต้องการเพิ่มออกซิเจนใช้ในกระบวนการเมแทบอลิซึมที่สูงขึ้น หัวใจจึงต้องสูบฉีดโลหิตมากขึ้น ทำให้ค่าอัตราแน่นเม็ดเลือดแดงสูง และอาจส่งผลให้การทำงานของหัวใจล้มเหลว (Leeson *et al.*, 1995) โดยรัชฎาภรณ์ และคณะ (2548) ได้ศึกษาแนวโน้มการเกิดโรค ascites syndrome เมื่อเสริม DL-Met และ DL-Met-OH ในอาหารที่ปริมาณเท่ากันให้ตรงความต้องการตามสายพันธุ์ ได้รายงานค่าอัตราแน่นเม็ดเลือดแดงของไก่ที่ได้รับอาหารเสริม DL-Met สูงกว่ากลุ่มที่เสริม DL-Met-OH จึงอาจเป็นไปได้ว่าระดับการเสริมเมไทโอนีนในอาหารที่ส่งผลดีต่อสมรรถภาพการผลิตสูงสุด และโดยไม่เสี่ยงต่อความผิดปกติทางเมแทบอลิซึมของร่างกาย

อย่างไรก็ตามในการศึกษาความต้องการ DL-Met-OH ในอาหาร ต้องคำนึงถึงการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนาต่างๆ ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของเมไทโอนีนสังเคราะห์ในรูปไฮดรอกซีอะนาล็อกในระดับต่าง ๆ ที่เหมาะสมต่อสมรรถภาพการผลิต การใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหาร เมแทบอลิซึมของไขมัน และการเกิดโรค ascites syndrome ในไก่กระทงเพศผู้ช่วงอายุ 1-42 วัน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความต้องการของ DL-methionine hydroxy analogue ในไก่กระทงเพศผู้ ต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต คุณภาพซาก และการเกิดโรค Ascites syndrome
2. เพื่อศึกษาผลของ DL-methionine hydroxy analogue ต่อการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหารในร่างกายไก่กระทง และกระบวนการเมแทบอลิซึมของลิพิด

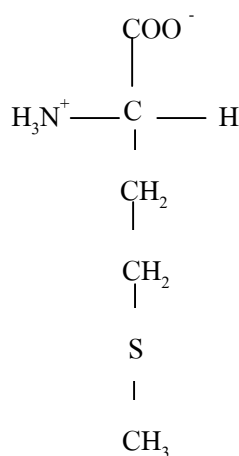
การตรวจเอกสาร

บทบาทและคุณสมบัติของเมไทโอนีน

บทบาทของกรดอะมิโนโดยทั่วไป ถือเป็นหน่วยสร้างของโปรตีน โปรตีนที่ถูกสร้างขึ้นมาจะมีคุณสมบัติอย่างไรขึ้นอยู่กับสมบัติของกรดอะมิโนในสายโพลีเปปไทด์นั้น กรดอะมิโนและอนุพันธ์ของกรดอะมิโนยังมีบทบาทอื่นๆ อีก เช่น เป็นตัวส่งสัญญาณเคมี (neurotransmitter) ในการติดต่อกันระหว่างเซลล์ ได้แก่ กรดแกมมาอะมิโนบิวทิริก (γ -aminobutyric acid, GABA) โดพามีน (dopamine) และไทรอกซีน (thyroxine) ฮอร์โมนที่ผลิตจากต่อมไทรอยด์ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของกรดอะมิโนไทโรซีน (tyrosine) หรือสารฮิสตามีน (histamine) ซึ่งได้จากปฏิกิริยาการตัดหมู่คาร์บอกซิล (decarboxylation) ของกรดอะมิโนฮิสทีดีน (histidine) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของกรดอะมิโนไทโรซีน เป็นต้น (พจน์ และคณะ, 2543) นอกจากร่างกายจะนำกรดอะมิโนไปใช้สังเคราะห์โปรตีนและเอนไซม์ และกรดอะมิโนส่วนหนึ่งยังสามารถสลายต่อไปเพื่อให้ได้พลังงาน (มนตรี และคณะ, 2542)

กรดอะมิโนเมไทโอนีน (Methionine) จัดอยู่ในกลุ่มของกรดอะมิโนจำเป็น (Essential amino acids) หมายถึงกรดอะมิโนที่สิ่งมีชีวิตไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นใช้เองจากสารตัวกลางในเมแทบอลิซึมได้เพียงพอต่อความต้องการ จำเป็นต้องได้รับเมไทโอนีนจากอาหาร จึงเรียกอีกอย่างว่า กรดอะมิโนชนิดที่ขาดไม่ได้ (indispensable amino acids) และยังเป็นกรดอะมิโนที่เป็นตัวจำกัดการใช้ประโยชน์ของโปรตีนจากอาหาร ในสัตว์ปีกนั้นเมไทโอนีน ถือเป็นกรดอะมิโนจำกัดอันดับแรก (first-limiting amino acid) เนื่องจากวัตถุดิบที่ประกอบสูตรอาหารมีปริมาณเมไทโอนีนที่ต่ำ

โครงสร้างทางเคมีของกรดอะมิโนเมไทโอนีน ประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group, $-\text{COOH}$) หมู่อะมิโน (amino group, $-\text{NH}_2$) อะตอมไฮโดรเจน (hydrogen atom, $-\text{H}$) และมีหมู่ R (side chain) ที่มีหมู่กำมะถัน (S) ประกอบด้วย ดังภาพที่ 1 ซึ่งเป็น non polar methyl thioester group ทำให้เมไทโอนีนมีคุณสมบัติเป็น hydrophobic amino acid (Finkelstein, 1990)

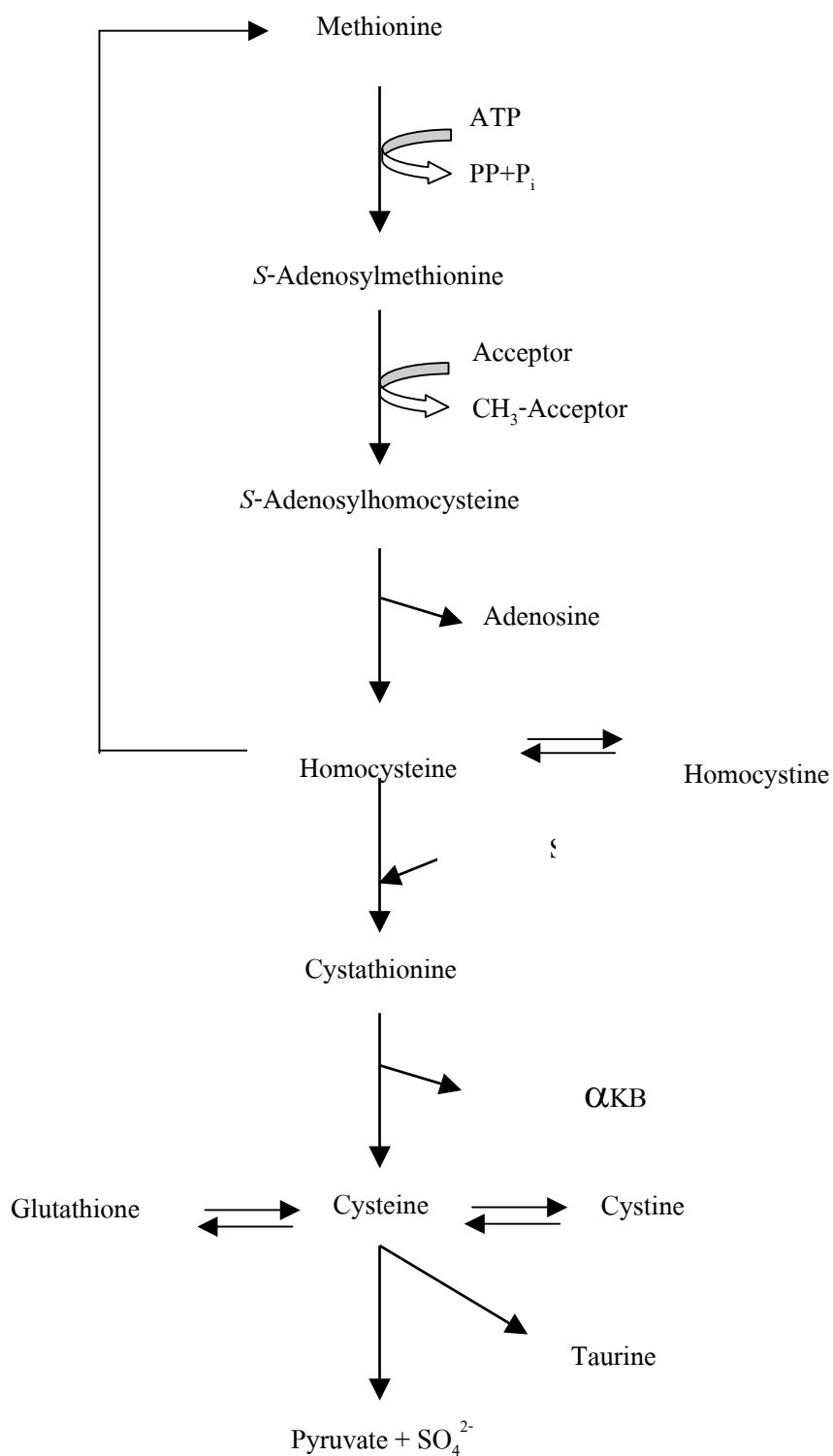


ภาพที่ 1 โครงสร้างทางเคมีของกรดอะมิโนเมไทโอนีน

ที่มา: Horton *et al.* (2002)

กรดอะมิโนเมไทโอนีน (methionine) มีความสำคัญต่อกระบวนการภายในร่างกาย เช่น การเจริญเติบโต ระบบภูมิคุ้มกัน ระบบสืบพันธุ์ และเป็นกรดอะมิโนตัวแรกที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนบนสายอาร์เอ็นเอ (RNA) เป็นต้น ดังนั้นปริมาณที่มากเกินไปหรือน้อยเกินไปของเมไทโอนีน จึงมีผลกระทบต่อความสมดุลของกรดอะมิโนชนิดอื่นๆ ในอาหาร Finkelstein (1990) รายงานว่า เมไทโอนีนเป็นกรดอะมิโนที่ทำหน้าที่ในการป้อนหมู่เมทิลที่สำคัญที่สุดในร่างกาย โดยเมไทโอนีนในรูปของ S-adenosylmethionine (SAM) จะให้หมู่เมทิล (CH_3) ในกระบวนการ transmethylation ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์กรดอะมิโนซิสเทอีน (cysteine) และซิสทีน (cystine) ซึ่งอาจนำไปใช้ในการสังเคราะห์อนุพันธ์เมทิลของสารประกอบชนิดต่างๆ เช่น พิวรีน (purine) และไพริมิดีน (pyrimidine) หรือสารตัวกลางในกระบวนการเมตาบอลิซึมของไขมัน เช่น ครีเอทีน (creatine) โคลีน (choline) ฟอสโฟลิปิด (phospholipid) เป็นต้น (Martin, 2003) อย่างไรก็ตามร่างกายของสัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์เมไทโอนีนได้เองในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการ จึงต้องได้รับจากอาหาร

นอกจากนี้เมไทโอนีนยังมีความเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์กรดอะมิโนชนิดอื่น ๆ โดยเฉพาะกรดอะมิโนที่มีหมู่ซัลเฟอร์ อย่างซิสทีน ซิสเทอีน ทอรีน และกลูตาไธโอน ที่มีบทบาทสำคัญในระบบภูมิคุ้มกัน เช่น การทำลายเชื้อโรคในกระแสเลือด และสารอนุมูลอิสระ (Scott *et al.*, 1982) ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 กระบวนการสังเคราะห์กรดอะมิโนที่มีหมู่ซัลเฟอร์จากกรดอะมิโนเมไทโอนีน
ที่มา: ดัดแปลงจาก Baker (1994)

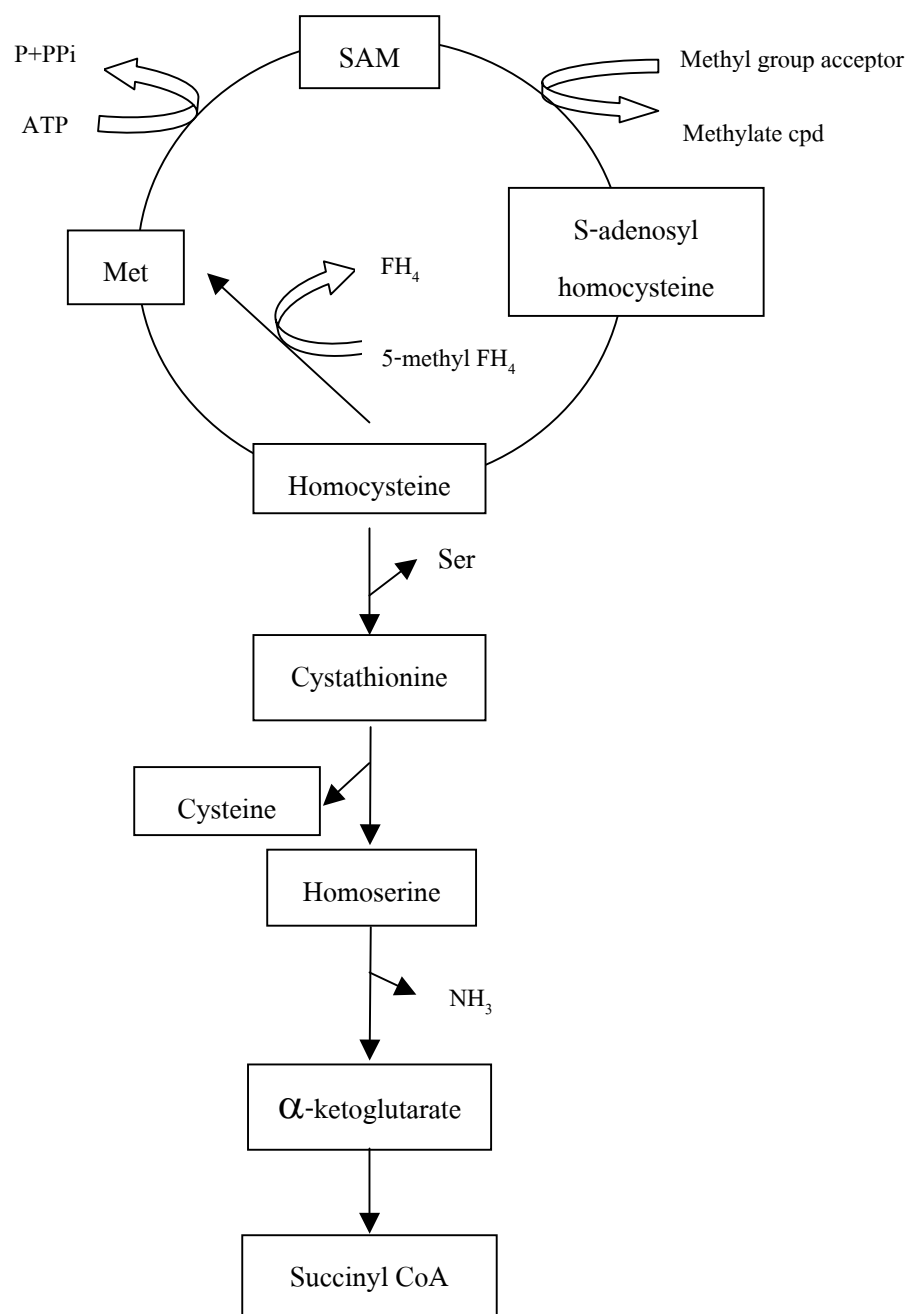
เมแทบอลิซึมของเมไทโอนีน

กรดอะมิโนเมไทโอนีนที่อยู่ในอาหารโปรตีนจะถูกปล่อยออกมาโดยการย่อยของเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารหลังจากโปรตีนถูกย่อยจนเป็นกรดอะมิโนและเกิดการดูดซึม โดยการดูดซึมของกรดอะมิโนในอาหารโปรตีนแตกต่างจากกรดอะมิโนที่ทำการเสริมในรูปอิสระ (กรดอะมิโนสังเคราะห์) ซึ่งสัตว์สามารถดูดซึมและนำไปใช้ได้เลย (Ruff, 1974) อย่างไรก็ตามการดูดซึมเมไทโอนีนสังเคราะห์ที่อยู่ในรูป DL-Met-OH ของสัตว์ปีกนั้นต่างไปจากเมไทโอนีนในรูป DL-Met ดูดซึมที่ลำไส้เล็กตอนกลาง (jejunum) โดยวิธี active transport ซึ่งต้องอาศัยพลังงาน ขณะที่ DL-Met-OH เกิดขึ้นที่ลำไส้เล็กตอนต้น (duodenum) และตอนกลาง (jejunum) โดยวิธี passive transport (Knight and Dibner, 1984) ซึ่งไม่ต้องอาศัยพลังงานและตัวขนส่ง (carrier protein) ในการนำเข้าสู่เซลล์ นอกจากนี้ Dibner *et al.* (1992) รายงานว่า ความสามารถในการดูดซึมผ่านผนังลำไส้เล็กของ DL-Met ในสภาวะอากาศร้อนจะลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับ DL-Met-OH ซึ่งสอดคล้องกับ Knight *et al.* (1994) รายงานว่า การเสริม DL-Met-OH ในอาหารไก่กระທง ที่สภาวะอากาศร้อน พบว่าจะมีผลในการเพิ่มสมรรถนะการเจริญเติบโตของไก่กระທงได้สูงกว่าเมื่อเทียบกับ DL-Met ซึ่งอาจเป็นผลดีในอุตสาหกรรมการผลิตสัตว์เขตร้อนขึ้นอย่างประเทศไทย

กระบวนการเมแทบอลิซึมของเมไทโอนีนครั้งหนึ่งเกิดขึ้นที่ตับ วิธีหลักในการสลายเมไทโอนีน คือ ปฏิกริยาการย้ายหมู่ซัลเฟอร์ (transsulfuration) เพื่อสังเคราะห์กรดอะมิโนซิสเทอีน และปฏิกริยาการย้ายหมู่เมทิล (transmethylation) โดยเมไทโอนีนจะเปลี่ยนเป็น S-adenosylmethionine ซึ่งเป็นรูปที่สามารถให้หมู่เมทิล (Mato *et al.*, 2002) เมื่อเมไทโอนีนให้หมู่เมทิลไปแล้ว จะกลายเป็นโฮโมซิสเทอีน (homocysteine) ซึ่งจะทำหน้าที่ให้ S อะตอมในการสังเคราะห์ซิสเทอีนต่อไป ส่วนที่เหลือ คือ โฮโมเซอรีน (homoserine) จะถูกเปลี่ยนแปลงต่อไปจนได้ succinyl CoA (Mato *et al.*, 2002) ดังภาพที่ 3

อย่างไรก็ตามพบว่าร่างกายสัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์หรือสังเคราะห์ในปริมาณที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการ จึงมีการเปลี่ยนกลับไปกลับมาระหว่างเมไทโอนีนและซิสเทอีน (พจน์ และคณะ, 2543) โดยผ่านทางปฏิกริยาการรับหมู่เมทิล (remethylation) ซึ่งปฏิกริยานี้มีสารตัวกลางที่สำคัญ คือ โฮโมซิสเทอีน (homocysteine) โดยรับหมู่เมทิลจาก 5- methyl FH₄ แต่สังเคราะห์ได้เพียงบางส่วนเท่านั้น ดังภาพที่ 3 แต่กรณีที่มีระดับโฮโมซิสเทอีนในกระแสเลือดสูง และขาดสารที่ให้หมู่เมทิล จะชักนำให้เกิดโรคเกี่ยวกับระบบหมุนเวียนโลหิตของหัวใจ (cardiovascular disease) (Malinow, 1996)

โดยส่งผลทำให้เกิดการสะสมในเนื้อเยื่อและของเหลวในร่างกาย หลอดเลือดเกิดการอุดตัน เพราะบางและอาจหัวใจวายเฉียบพลัน (Carson *et al.*, 1963) ดังนั้นสัตว์จึงต้องได้รับเมไทโอนีนให้เพียงพอต่อความต้องการในการสังเคราะห์สารต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับเมไทโอนีนด้วย



ภาพที่ 3 กระบวนการเมทาบอลิซึมของกรดอะมิโนเมไทโอนีน
ที่มา: ดัดแปลงจาก สุรางค์ (2524)

ในสภาวะที่กรดอะมิโนที่ถูกปลดปล่อยออกมา แต่มิได้นำไปใช้สังเคราะห์โปรตีนโมเลกุลใหม่ กรดอะมิโนเหล่านั้นจะถูกสลายต่อไปเป็นพลังงาน หรือกรณีที่ได้รับกรดอะมิโนมากเกินไปเกินความต้องการที่ร่างกายนำไปสังเคราะห์โปรตีน กรดอะมิโนที่มากเกินไปจะถูกสลายไป (พจน์ และคณะ, 2543) ทั้งนี้เนื่องจากสัตว์ไม่สามารถสะสมกรดอะมิโนที่มากเกินไปเกินความต้องการได้ ซึ่งโครงสร้างคาร์บอนของกรดอะมิโนที่หมู่อะมิโนถูกขจัดออกแล้วจะถูกนำไปสังเคราะห์ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต ส่วนไนโตรเจนในหมู่อะมิโนจะถูกขับออกจากร่างกาย (Stevens, 1996) โดยการสลายกรดอะมิโนจะมีการสูญเสียหมู่อะมิโน ($-NH_2$) ออกไป ในรูปของแอมโมเนีย และถูกขับออกจากร่างกาย หรือถูกนำกลับไปใช้สังเคราะห์สารประกอบไนโตรเจนต่างๆ ต่อไป (มนตรี และคณะ, 2542) ส่วนโครงสร้างคาร์บอนที่เหลือนั้นเป็นกรดแอลฟาคีโต (α -keto acid) ซึ่งสามารถสลายต่อไปด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน จนกระทั่งได้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงาน โดยบางส่วนถูกสลายในวัฏจักรเครบส์ (Krebs' cycle) หรือเข้าสู่วิถีไกลโคไลซิส (glycolysis) (Horton *et al.*, 2002)

ดังนั้นการรักษาสมดุลของกรดอะมิโนให้เหมาะสมนั้น มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพการใช้โปรตีน การมีกรดอะมิโนเกินความต้องการหรือไม่เพียงพอและไม่สมดุล จะทำให้สมรรถภาพการผลิตลดลง จากการศึกษาของ Sugahara *et al.* (1969) รายงานว่า การที่สัตว์ได้รับกรดอะมิโนมากเกินไปมีผลให้สภาพสมดุลของกรดอะมิโนเสียไป ส่งผลต่อการเจริญเติบโตที่ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับ Waldroup *et al.* (1976) รายงานว่าระดับกรดอะมิโนในกระแสเลือดที่สูงเกินไปมีผลต่อการทำงานของต่อมไฮโปธาลามัสทำให้ไม่รู้สึกลอยากกินอาหาร ส่งผลให้ปริมาณการกินได้ลดลง

ความต้องการกรดอะมิโนเมไทโอนีนในไก่กระทง

ไก่กระทงแต่ละสายพันธุ์มีความสามารถในการใช้ประโยชน์จากกรดอะมิโนและระดับความต้องการกรดอะมิโนแตกต่างกัน โดยระดับกรดอะมิโนที่มีอยู่ในอาหารจะส่งผลต่อปริมาณการกินได้ของไก่ ทำให้เป็นปัจจัยหลักในการตอบสนองของกรดอะมิโนต่อการเจริญเติบโต จากการศึกษาของ Miller *et al.* (1960) รายงานว่า ระดับกรดอะมิโนที่สูงในอาหารมีผลต่อการกินอาหารซึ่งทำให้เพิ่มสมรรถภาพการผลิต ทั้งนี้ปริมาณกรดอะมิโนแต่ละชนิดที่อยู่ในอาหารที่มากเกินไปอาจส่งผลเสียต่อสัตว์เกิดจากสัดส่วนของกรดอะมิโนที่ไม่สมดุล โดย Harper and Roger (1965) ได้ศึกษาผลกระทบของสัตว์ที่ได้รับอาหารที่มีกรดอะมิโนไม่สมดุลต่อความอยากกินอาหาร พบว่าสัตว์มีความอยากอาหารลดลงภายใน

ใน 3-6 ชั่วโมง ปริมาณอาหารที่ลดลงจึงทำให้การเจริญเติบโตลดลง ฉะนั้นในอาหารควรมีกรดอะมิโนตรงตามความต้องการกรดอะมิโนที่สัดส่วนต่างๆ ของไก่กระทอง ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความต้องการกรดอะมิโนในไก่กระทอง (คำนวณจาก % ไลซีน)

กรดอะมิโน	Baker (1997)	NRC (1994)	Mactetual (1999)	Baker et al. (2002)
ไลซีน	100	100	100	100
เมไทโอนีน	36	42	-	-
ซีสทีน	36	33	-	-
เมไทโอนีน+ซีสทีน	72	75	70	-
ทรีโอนีน	67	67	59	56
แวลีน	77	75	76	78
ไอโซลิวซีน	67	67	66	61
ลิวซีน	109	100	-	-
ทรีปโตเฟน	16	17	17	17
อาร์จินีน	105	104	104	105
ฮิสติดีน	35	29	-	-
ฟีนอลอะลานีน+ไทโรซีน	105	112	-	-

ที่มา: Baker (2003)

เมไทโอนีนจัดเป็นกรดอะมิโนจำกัดอันดับที่ 1 (first limiting amino acid) ในอาหารสัตว์ปีก โดยมีไลซีน และอาร์จินีน เป็นกรดอะมิโนจำกัดอันดับที่ 2 ส่วนอันดับที่ 3 คือ วาลีน และทรีโอนีน (NRC, 1984) โดยทั่วไปวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นแหล่งของโปรตีนคุณภาพดีคือโปรตีนจากสัตว์ แต่เนื่องจากมีความผันแปรทางด้านคุณภาพและราคา จึงมีการทดแทนโดยใช้โปรตีนจากพืช ได้แก่ กากถั่วเหลือง ซึ่งเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพสูง มีกรดอะมิโนที่จำเป็นหลายชนิด อย่างไรก็ตามในกากถั่วเหลืองนั้นมีปริมาณกรดอะมิโนเมไทโอนีนต่ำ และเพื่อให้ไก่ได้รับเมไทโอนีนเพียงพอต่อความต้องการจึงต้องมีการเสริมเมไทโอนีนสังเคราะห์ในอาหารไก่กระทองที่ใช้กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนเพียงอย่างเดียว

จากการศึกษาของ Bruyer and Vanbelle (1990) รายงานว่า เมื่อเสริมเมไทโอนีนในรูปแบบ DL-Met และ DL-Met-OH ที่ระดับ 0.20 % ในอาหาร โดยอาหารพื้นฐาน (basal diet) มีระดับเมไทโอนีน 0.31 % ซึ่งเป็นระดับที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการของไก่กระหว่ พบว่า การเสริมเมไทโอนีนทำให้น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น และประสิทธิภาพการใช้อาหารดีขึ้น นอกจากนี้ Almquist (1947) ได้ศึกษาผลของการเสริมเมไทโอนีนและซิสเทอีนในอาหารที่ขาดกรดอะมิโนทั้งสองชนิด ในระดับต่าง ๆ จนสูงสุดที่ระดับ 0.9 % พบว่าระดับการเสริมซิสเทอีนไม่มีผลต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต แต่การเสริมเมไทโอนีนที่ 0.55 % ส่งผลให้ไก่มีสมรรถภาพการเจริญเติบโตดีที่สุด โดยปกติร่างกายของสัตว์สามารถสังเคราะห์กรดอะมิโนซิสทีนและซิสเทอีน โดยใช้เมไทโอนีนเป็นสารตั้งต้น (Card and Nesheim, 1972) ขณะที่ร่างกายไม่สามารถใช้ปฏิกิริยาย้อนกลับในการสร้างเมไทโอนีนจากซิสทีน หรือซิสเทอีน ได้เพียงพอ ดังนั้นการหาความต้องการเมไทโอนีนจึงต้องคำนึงความต้องการกรดอะมิโนซิสทีน โดยจะแสดงในรูปของความ ต้องการกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ (total sulfur amino acid; TSAA)

แหล่งของกรดอะมิโนเมไทโอนีน

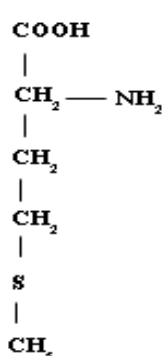
โดยปกติสัตว์ได้รับกรดอะมิโนเมไทโอนีนจากอาหาร ซึ่งวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นแหล่งของเมไทโอนีนตามธรรมชาติ สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ แหล่งที่มาจากพืชศักดิ์น้ำมัน ได้แก่ กากถั่วลิสง กากถั่วเหลือง และ กากเมล็ดทานตะวัน เป็นต้น และแหล่งที่มาจากสัตว์ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์จากนม และปลาป่น เป็นต้น (นวลจันทร์, 2544)

นอกจากนี้ยังมีแหล่งของกรดอะมิโนเมไทโอนีนในรูปแบบสังเคราะห์ ดังที่กล่าวแล้วว่าเมไทโอนีนเป็นกรดอะมิโนจำกัดในวัตถุดิบอาหารสัตว์ จึงมีการเสริมเมไทโอนีนสังเคราะห์ในอาหารสัตว์ปีก เพื่อให้สัตว์ได้รับกรดอะมิโนที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบเพียงพอต่อความต้องการ ในการเสริมกรดอะมิโนเมไทโอนีนในอาหารสัตว์ นิยมใช้ในรูปแบบสังเคราะห์ ซึ่งมีอยู่หลายรูปแบบ ได้แก่ DL-methionine, DL-methionine-Na, DL-methionine hydroxyl analogue-Ca, DL-methionine hydroxyl analogue free acid (Van Weerder, 1982) โดยลักษณะโครงสร้างของ methionine hydroxyl analogue คล้ายกับเมไทโอนีน

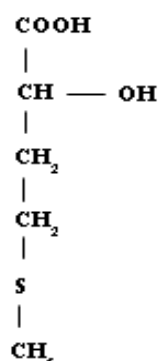
เมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อก

เมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อก (DL-Met-OH) มีชื่อทางเคมีว่า 2-ไฮดรอกซี-4-(เมทิลไธโอ) บิวทิริกแอซิด (2-hydroxy-4-(methylthio) butyric acid) มีลักษณะโครงสร้างทางเคมีคล้ายกับกรดอะมิโนเมไทโอนีน โดยมีการแทนที่หมู่เอมิโน (amino group, $-\text{NH}_2$) ด้วยหมู่ไฮดรอกซี (hydroxy group, $-\text{OH}$) ตรงคาร์บอนตำแหน่งแอลฟา (Patrick and Schaible, 1980) ดังภาพที่ 4 และมีสูตรโครงสร้างทางเคมีอย่างง่ายเป็น $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{NO}_2\text{S}$ น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 149.21 (Baker, 1994) โดยมีทั้งรูป D และ L-OH ซึ่งผลิตขึ้นในรูปของเกลือแคลเซียม (DL-Met-OH-Ca) และกรดอิสระ (DL-Met-OH-FA) มีทั้งชนิดผงและชนิดเหลว มีการใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์กันอย่างแพร่หลาย เพื่อทดแทนเมไทโอนีนที่ขาดในวัตถุดิบอาหารสัตว์

เนื่องจากเมไทโอนีนในรูปไฮดรอกซีอะนาล็อกนี้ ไม่มีหมู่เอมิโนหรือองค์ประกอบของไนโตรเจน จึงไม่จัดเป็นกรดอะมิโนที่แท้จริง แต่สามารถเปลี่ยนเป็นกรดอะมิโนเมไทโอนีน โดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ซึ่งอาศัยสารตัวกลางพวกคีโตแอซิด (keto acid) ดับจะทำหน้าที่ออกซิไดซ์ DL-Met-OH ให้กลายเป็น คีโตเมไทโอนีน (keto methionine) และจากนั้นจะเปลี่ยนเป็นเมไทโอนีน ผ่านปฏิกิริยาย้ายหมู่เอมิโน (transamination) (Gordon and Sizer, 1964) โดย Dibner and Knight, 1984 รายงานว่า เอนไซม์สำคัญต่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงนี้คือ เอนไซม์ dehydrogenase ทำหน้าที่เปลี่ยน D-Met-OH เป็น α ketoanalogue methionine และ เอนไซม์ oxidase เพื่อเปลี่ยน L-Met-OH เป็น keto methionine ดังภาพที่ 5



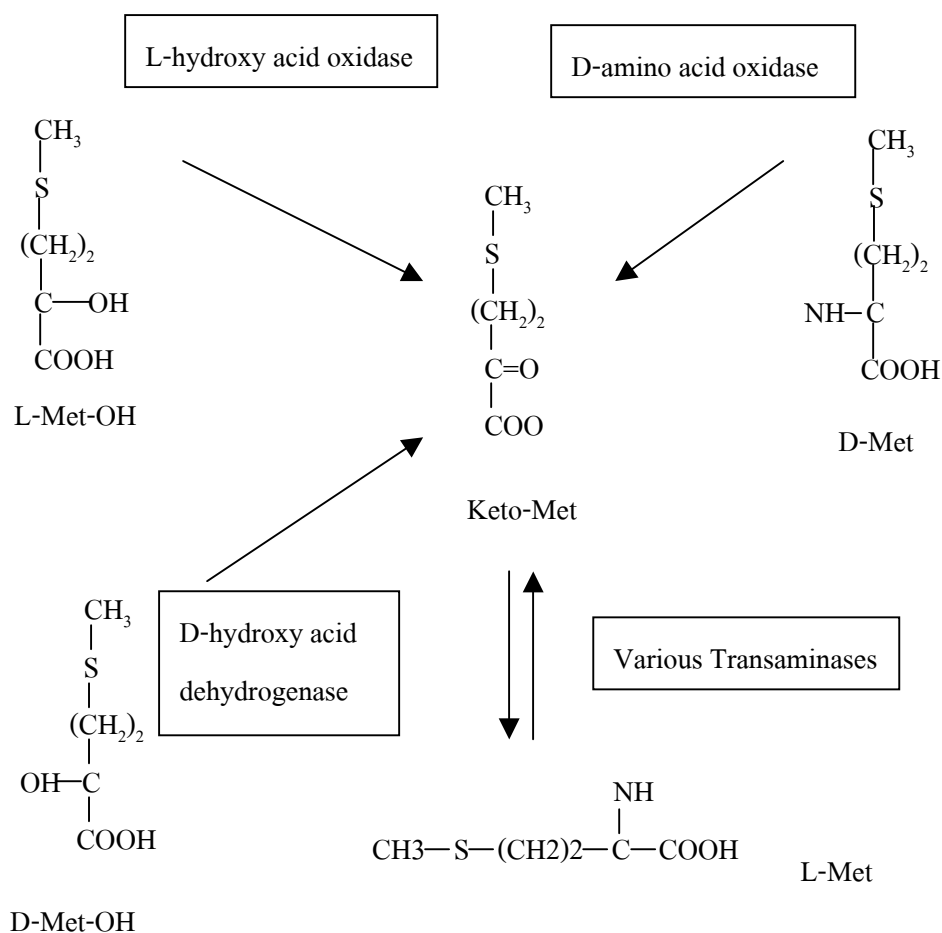
L-methionine



L-Methionine hydroxy analogue

ภาพที่ 4 โครงสร้างทางเคมีของกรดอะมิโนเมไทโอนีนในรูป L-methionine และ L-methionine hydroxy analogue

ที่มา: Patrick and Schaible (1980)



ภาพที่ 5 วิธีการเปลี่ยนแปลง DL-methionine hydroxy analogue และ DL-methionine เป็นเมไทโอนีนในรูป L-methionine

ที่มา: Dupuis *et al.* (1990)

การเสริมเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อกในอาหารไก่กระตัง

ในปัจจุบันเริ่มมีการนำ DL-Met-OH ซึ่งจัดเป็นสารเสริม (feed additive) มาใช้ทดแทน DL-Met ในสูตรอาหารไก่กระตัง การนำกรดอะมิโนเมไทโอนีนสังเคราะห์ในรูป DL-Met-OH มาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์นั้น เพราะมีราคาถูก โครงสร้างง่ายต่อการเปลี่ยนแปลงไปเป็น L-methionine (L-Met) และการใช้ DL-Met-OH ซึ่งอยู่ในรูปของเหลวเติมลงไปในอาหาร จะเพิ่มการกระจายตัวในอาหาร ง่ายต่อการผสม และลดพลังงานที่ใช้ในการอัดเม็ด (Elkin and Hester, 1983)

ด้วยเหตุนี้การนำ DL-Met-OH มาใช้นั้นจะต้องศึกษาถึงประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ได้ของสัตว์ และทราบความต้องการที่เหมาะสมเพื่อการทดแทน DL-Met ในอาหารไก่กระทอง โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตที่แตกต่างกัน มีหลายงานวิจัยที่ได้ศึกษาถึงประสิทธิภาพของ DL-Met-OH เทียบกับ DL-Met พบว่า เมื่อนำเมไทโอนีนสังเคราะห์ทั้งสองมาเปรียบเทียบโดยคิดที่มวลโมเลกุลเท่ากัน (equimolar basis) ไม่พบความแตกต่างในการแสดงสมรรถภาพการผลิตของไก่กระทอง (Waldroup *et al.*, 1981; Elkin and Hester, 1983; Garlich, 1985)

จากการศึกษาของ Waldroup *et al.* (1981) ที่เลี้ยงไก่กระทองด้วยอาหารกึ่งบริสุทธิ์ (semi-purified diets) และอาหารปกติ (practical diets) ที่เสริมเมไทโอนีนสังเคราะห์ในรูปแบบต่าง ๆ คือ DL-Met-OH-FA, DL-Met-OH-Ca, DL-Met, และ L-Met รายงานว่า ไก่กระทองสามารถให้ผลผลิตไม่แตกต่างกันตามแหล่งของเมไทโอนีนซึ่งสอดคล้องกับ Elkin and Hester (1983) รายงานว่า ไม่พบความแตกต่างระหว่างประสิทธิภาพในการเสริมกรดอะมิโนเมไทโอนีนในรูปแบบ DL-Met, L-Met, และ DL-Met-OH ต่อน้ำหนักตัวไก่กระทองที่ส่งตลาด ที่ใช้ข้าวโพดและกากถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบหลัก ซึ่งขัดแย้งกับ Mandal *et al.* (2004) ได้รายงานว่าการตอบสนองของไก่กระทองในช่วง 0-3 สัปดาห์ ในกลุ่มที่เสริมเมไทโอนีนด้วย DL-Met ให้ผลตอบสนองของน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น และการเปลี่ยนอาหารดีกว่าไก่กระทองในกลุ่มที่เสริมด้วย DL-Met-OH-FA แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบตลอดช่วงการเจริญเติบโต (0-6 สัปดาห์) ไม่มีความแตกต่างระหว่างกลุ่ม

อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ (bioefficacy) ของ DL-Met-OH กับ DL-Met พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 70-80% (Rostagno and Barbosa, 1995) โดยจากการศึกษาของ Thomas *et al.* (1991) รายงานผลของการใช้ DL-Met-OH-FA ซึ่งมีประสิทธิภาพของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเปลี่ยนอาหาร คิดเป็น 72% และ 73% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ DL-Met เช่นเดียวกับ Lemme *et al.* (2002) ศึกษาประสิทธิภาพของ DL-Met-OH ในรูปของเหลว เทียบกับ DL-Met โดยใช้การวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบรีเกรชัน (regression analysis) เพื่อประเมินประสิทธิภาพในด้านของน้ำหนักตัว การเปลี่ยนอาหาร และลักษณะซาก ที่ตอบสนองต่อแหล่งของเมไทโอนีนพบว่า ประสิทธิภาพของ DL-Met-OH ในการเพิ่มน้ำหนักตัว การเปลี่ยนอาหาร และการสร้างกล้ามเนื้อหน้าอก คิดเป็น 68%, 67%, และ 64% ตามลำดับ ในกรณีที่ไก่กระทองอยู่ภายใต้สภาวะที่เกิดความเครียด จะยังทำให้ความสามารถในการดูดซึมและใช้ประโยชน์ของ DL-Met-OH น้อยกว่า DL-Met (Rostagno and Barbosa, 1995) อย่างไรก็ตามการใช้เมไทโอนีนที่แตกต่างกัน 3 แหล่ง ได้แก่ DL-Met, L-Met, และ DL-Met-OH นั้น หากเสริมเมไทโอนีนในระดับที่เหมาะสมตรงตามความต้องการ

ของ TSAA ในสูตรอาหารที่ใช้ข้าวโพดและกากถั่วเหลืองในไก่กระทองช่วงอายุ 0-7 สัปดาห์นั้น ไม่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างในการใช้ประโยชน์ได้ของสัตว์ (Garlich, 1985)

นอกจากนี้การเสริม DL-Met-OH ซึ่งมีลักษณะคล้ายโครงคาร์บอนอาจช่วยลดปัญหาการสูญเสียไนโตรเจนจากการได้รับโปรตีนที่เกินความจำเป็นโดยกระบวนการ transamination สร้างกรดอะมิโนตัวใหม่ จากการศึกษาของ Patrick and Schaible (1980) รายงานว่าการใช้ DL-Met-OH ร่วมกับการเติมไนโตรเจนในรูปของไดแอมโมเนียมซัลเฟตหรือยูเรีย เพื่อให้จับกับ DL-OH-Met ทำให้การเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของไก่กระทองไม่แตกต่างกันกับการเสริม DL-Met โดยมีงานสนับสนุนของ Summers *et al.* (1987) ซึ่งทำการศึกษาประสิทธิภาพของ DL-Met-OH ในอาหารโปรตีนต่ำ (15 เปอร์เซ็นต์) โดยมีการเสริมกรดอะมิโนไกลซีน (glycine) กรดแอสพาทิก (aspartic acid) และกรดกลูตามิก (glutamic acid) เพื่อใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนในสูตรอาหารที่เสริม DL-Met-OH ซึ่งรายงานว่าการเติมไนโตรเจนมีผลทำให้ประสิทธิภาพของ DL-Met-OH เท่ากับ DL-Met และพบว่าหากไม่เสริมไนโตรเจนทำให้ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของ DL-Met-OH ลดลง ฉะนั้นการเสริมเมไทโอนีนในรูปไฮดรอกซีอะนาโลอ์อาจเป็นอีกหนึ่งแนวทางในการแก้ปัญหาผลพิษจากการจับของเสียในการผลิตสัตว์

ผลของเมไทโอนีนต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมของลิพิด

เมไทโอนีนเกี่ยวข้องกับกระบวนการเมแทบอลิซึมของลิพิด โดยมีหน้าที่เติมหมู่เมทิลให้กับสารชีวโมเลกุลต่างๆ ที่เป็นสารตั้งต้นหรือสารตัวกลางในการสังเคราะห์ไขมัน (Devlin, 1997) เช่น phosphatidylcholine และ carnitine เป็นต้น โดยการสังเคราะห์ phosphatidylcholine เกิดในตับ 20-40 % โดยกระบวนการ methylation ซึ่งได้รับหมู่เมทิลจาก S-adenosylmethionine (SAM) กล่าวคือ phosphatidylethanolamine รับหมู่เมทิลจาก SAM แล้วเปลี่ยนเป็น phosphatidylcholine (Gurr and Harwood, 1991) ส่วน carnitine นั้นเกี่ยวข้องกับกระบวนการสลายกรดไขมันที่เกิดขึ้นในเมทริกซ์ (matrix) ของไมโทคอนเดรีย โดยกรดไขมันที่มีความยาวคาร์บอนมาก ๆ (long chain fatty acid) ไม่สามารถผ่านเมมเบรน (membrane) ของไมโทคอนเดรีย เพื่อเข้าสู่เมทริกซ์ (matrix) ได้โดยตรงจำเป็นต้องอาศัย carnitine ในการพาเข้าสู่เมทริกซ์ของไมโทคอนเดรีย คาร์นิทีนเป็นสารชีวโมเลกุลที่ร่างกายสามารถสังเคราะห์ขึ้นเองได้ โดยกระบวนการสังเคราะห์คาร์นิทีนในตับที่ด้อยอาศัยเมไทโอนีนเป็นแหล่งของหมู่เมทิล (Brody, 1994)

กรดอะมิโนเมไทโอนีนยังทำหน้าที่เป็น lipotropic amino acid ซึ่งมีผลต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมของลิพิดในร่างกายและยังเป็นตัวให้หมู่เมทิลที่ดี ในการสังเคราะห์ triglyceride และ phospholipid มีความสัมพันธ์กัน เนื่องจากทั้งสองกระบวนการมีความต้องการ phosphatidic acid ในการสังเคราะห์ รวมทั้งยังมีความสามารถในการใช้สารตั้งต้นได้เท่ากัน โดยอาศัยสารตัวกลางคือ SAM (Gurr and Harwood, 1991) ดังที่กล่าวข้างต้น ดังนั้นหากสัตว์ขาดเมไทโอนีนก็จะทำให้ปริมาณ SAM ลดลง และปฏิกิริยาการเกิดกระบวนการ Methylation จะถูกยับยั้ง (Anon, 2002) ส่งผลต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมของลิพิด

Bunchasak *et al.* (1998) รายงานว่าเมไทโอนีน ทำให้การทำงานของเอนไซม์ acetyl-CoA carboxylase และ fatty acid synthetase ใน cytosol ที่ควบคุมการสังเคราะห์ไขมันในตับลดลง ซึ่งสอดคล้องกับ Smith (1983) รายงานว่าการเสริมเมไทโอนีน ทำให้ acetyl-CoA carboxylase และ malic enzyme ลดลงเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับ Bunchasak *et al.* (1997) พบว่าไก่กระทงที่ได้รับอาหารโปรตีนต่ำและเสริมเมไทโอนีนร่วมกับซิสตีนในระดับ 1.25 % มีปริมาณ phospholipid ในตับและกล้ามเนื้อหน้าอกสูงขึ้น ในขณะที่ปริมาณ triglyceride และ cholesterol ลดลง ซึ่งการเสริมเมไทโอนีนในไก่กระทงอาจช่วยให้คุณภาพซากดีขึ้น โดยลดการสะสมไขมันในร่างกาย ซึ่งสอดคล้องกับ Mendonca and Jensen (1989) ที่เสริมกรดอะมิโน SAA ในระดับเกินความต้องการ ทำให้เกิดการสะสมไขมันช่องท้องลดลง

โรค Ascites syndrome

ที่มาและปัญหาของโรค

ในปัจจุบันการคัดเลือกทางพันธุกรรมของไก่กระทงได้รับผลสำเร็จอย่างมาก ซึ่งอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 4-5 % ต่อปี และทำให้สมรรถภาพการผลิตดีขึ้น ดังนั้นไก่กระทงที่เลี้ยงในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จึงเป็นสายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง โดยมีระยะเวลาในการผลิตสั้นลง ในอดีตระยะเลี้ยงไก่ 56 วัน น้ำหนักไก่ 2 กิโลกรัม แต่ในปัจจุบันสามารถพัฒนาการให้ผลผลิตได้น้อยกว่า 40 วัน (Julian, 1990)

ฉะนั้นการปรับปรุงพันธุกรรมจึงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีระของสัตว์ เพื่อรองรับอัตราการเจริญเติบโตที่สูงขึ้น อย่างไรก็ตามการเจริญเติบโตที่รวดเร็วนี้ มักนำไปสู่การเกิดโรคที่มักเป็นปัญหาสำคัญ ซึ่งเกี่ยวข้องกับสภาวะร่างกายทำงานผิดปกติ ได้แก่ โรค ascites ซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบหมุนเวียนโลหิตและอวัยวะต่างๆ ให้เกิดความเสียหาย (Julian, 1987) ดังภาพที่ 6 อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจะมีงานวิจัยค้นคว้าเกี่ยวกับโรค ascites มานานหลายปี แต่ยังคงเป็นปัญหาที่สร้างความสูญเสียให้กับผู้ผลิตสัตว์ปีกทั่วโลกนับหลายล้านดอลลาร์สหรัฐ (Maxwell and Robertson, 1997)

สาเหตุของการเกิดโรค

Ascites syndrome เป็นโรคที่เกี่ยวข้องกับความผิดปกติของเมแทบอลิซึมภายในร่างกาย (metabolic disorder) เกิดจากสภาวะที่ร่างกายนั้นมีความต้องการใช้ออกซิเจนในปริมาณที่สูง (Leeson *et al.*, 1995) จนทำให้สัตว์อยู่ในสภาวะที่ได้รับออกซิเจนไม่เพียงพอหรือขาดออกซิเจน (hypoxia) ซึ่งอาจเกิดจากปัจจัยต่างๆ ร่างกายจึงจำเป็นต้องหมุนเวียนโลหิตเร็วขึ้นเพื่อให้ร่างกายได้รับออกซิเจนในปริมาณที่ต้องการ ส่งผลให้มีการเพิ่มจำนวนเม็ดเลือดแดง และทำให้เลือดมีความข้นหนืดขึ้น (blood viscosity สูงขึ้น) ซึ่งยากต่อการสูบน้ำเลือดเข้าสู่ปอด ความดันของเส้นเลือดภายในปอดจึงเพิ่มขึ้น (pulmonary hypertension) (Julian, 2000; Wideman, 2000) และหากร่างกายมีการเพิ่มปริมาณและอัตราในการสูบน้ำเลือดออกจากหัวใจเข้าสู่เส้นเลือดฝอยในปอด เพื่อนำไปแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซออกซิเจน (oxygenation) มากขึ้นอย่างต่อเนื่องและระบบหมุนเวียนโลหิตทำงานหนักกว่าปกติ อาจนำไปสู่ภาวะการทำงานของห้องหัวใจล่างขวาล้มเหลว (right-ventricle heart failure, RHF) (Julian, 1993) ดังนั้นอวัยวะที่ได้รับผลกระทบโดยตรง คือ หัวใจและปอด

อัตราเมแทบอลิซึมที่สูงตามการเจริญเติบโตของไก่กระทงนั้น ถูกควบคุมภายใต้การทำงานของฮอร์โมนหลายชนิด โดยเฉพาะฮอร์โมนไทรอยด์ (thyroid hormone) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเกิดโรค ascites เนื่องจาก thyroid hormone มีหน้าที่กระตุ้นการสังเคราะห์โปรตีน และกระบวนการเมแทบอลิซึมโดยการหลั่งฮอร์โมน thyroxine (T_4) และ triiodothyronine (T_3) มีความสัมพันธ์กับอัตราเมแทบอลิซึมที่สูง (McNabb and King, 1993, Gabarrou *et al.*, 1997) นอกจากนี้ Sugden and Fuller (1991) รายงานว่าเมื่อเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น ทำให้ไก่อวัยวะเกิดสภาวะ hyperthyroid

ดังนั้นค่าอัตราส่วนของเม็ดเลือดแดง (hematocrit) และระดับฮอร์โมนไทรอยด์ (thyroid hormone) ถือเป็นค่าที่บ่งชี้ความผิดปกติต่อเกิดจากโรค ascites ได้ดี (Luger *et al.*, 2001) และจากการศึกษาของ Maxwell *et al.* (1990) รายงานว่า ไก่ที่เป็นโรค ascites มีปริมาณเม็ดเลือดแดง และ hematocrit สูง ซึ่งสอดคล้องกับ Olkowski and Classen (1998) รายงานว่าปริมาณของฮอร์โมน T_3 ลดลง และค่า hematocrit สูงขึ้น โดยเฉพาะในช่วงสุดท้ายของอายุไก่ (Luger *et al.*, 2002)

ปัจจัยที่ก่อให้เกิดโรค

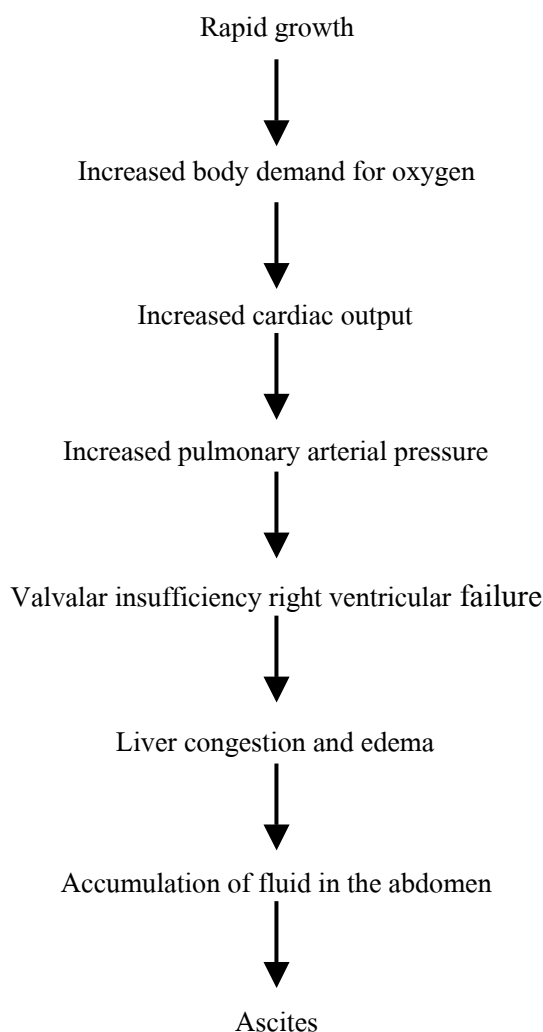
ซึ่งปัจจัยที่เห็นยวน่าให้เกิดโรค ascites สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเด็นหลัก คือ ปัจจัยจากภายนอก ได้แก่ อาหาร และสิ่งแวดล้อม เช่น ความเข้มข้นของโภชนะสูงมาก อุณหภูมิต่ำ และความกดอากาศสูง เป็นต้น และปัจจัยภายใน ได้แก่ โครงสร้างและการทำงานของอวัยวะ เช่น จี๊ดจำกัดในการทำงานและความผิดปกติของอวัยวะ เป็นต้น (Decuypere *et al.*, 2000) นอกจากนี้ การเพิ่มมวลกล้ามเนื้อ (Currie, 1999) และการกินอาหารในปริมาณที่มากเกินไป (Odom *et al.*, 1992) ปัจจัยเหล่านี้นำไปสู่สภาวะที่ร่างกายต้องการใช้ออกซิเจนภายในเซลล์และเนื้อเยื่อที่สูงขึ้น

วิธีการของการเกิดโรค

ลักษณะวิธีการที่พบของโรค ascites คือมีการสะสมของเหลวในช่องท้อง ซึ่งเรียกว่า ascites fluid เกิดจากการรั่วไหลของพลาสมาที่ดันออกมาสะสมอยู่ภายในช่องท้อง อันเป็นผลจากแรงดันย้อนกลับภายในเส้นเลือด (back-pressure) ซึ่งทำให้ตับเกิดการบวมและมีเลือดคั่ง (Leeson *et al.*, 1995) นอกจากนี้ Julian (1990) ได้รายงานว่ ขนาดหัวใจโตขึ้น และมีการสะสมของเหลวที่เยื่อหุ้มหัวใจ และยังพบว่าสัดส่วนและความหนาของผนังหัวใจห้องล่างซ้ายขยายมากขึ้นอาจเป็นเท่าตัว (Julian, 1993) เนื่องจากร่างกายต้องการเพิ่มแรงบีบของกล้ามเนื้อหัวใจ

จากงานวิจัยของ รัชฎาภรณ์ และคณะ (2548) ระบุว่า การเสริม DL-Met และ DL-Met-OH ในอาหาร ทำให้ค่าอัตราส่วนของเม็ดเลือดแดงของไก่ที่ได้รับอาหารเสริม DL-Met สูงกว่ากลุ่มที่เสริม DL-Met-OH ซึ่งสนับสนุนผลของ Keawarun and Bunchasak (2005) ที่รายงานว่ ไก่กระตังที่ได้รับอาหารเสริม DL-Met-OH มีขนาดของหัวใจเล็กกว่า ไก่ที่ได้รับอาหารเสริม DL-Met ขณะที่ให้สมรรถภาพการผลิตไม่แตกต่างกัน จึงอาจเป็นไปได้ว่าการเสริม DL-Met-OH ไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิต และยังสามารถลดความเสี่ยงต่อการเกิดความผิดปกติทางเมตาบอลิซึมของร่างกายได้

ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นการประเมินระดับการเสริม DL-Met-OH ในอาหารไก่กระตัง ที่เหมาะสมต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต และคุณภาพซาก เพื่อศึกษาความต้องการเมไทโอนีนสังเคราะห์ในรูปไฮดรอกซีเมทไธโอนีน และยังศึกษาผลของการเสริม DL-Met-OH ต่อการเกิดโรค ascites การใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหาร และกระบวนการเมแทบอลิซึมของไขมัน



ภาพที่ 6 สรุปลำดับสาเหตุและขั้นตอนการเกิดสภาวะอาการของโรค ascites syndrome
ที่มา : ดัดแปลงจาก Julian (1987)

อุปกรณ์และวิธีการ

**การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของการเสริมเมทไธโอนีนไฮดรอกซีอะนาลอกในอาหารไก่กระตัง ต่อ
สมรรถภาพการผลิต การเกิดโรค ascites syndrome และสารเมตาบอลิไทน์ในเลือด**

อุปกรณ์

1. สัตว์ทดลอง

ใช้ไก่กระตังเพศผู้ อายุ 1 วัน จำนวน 875 ตัว โดยแบ่งไก่ออกเป็น 5 กลุ่มๆ ละ 7 ซ้ำๆ ละ 25 ตัว น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 38.00 ± 0.12 กรัม ไก่ถูกเลี้ยงในโรงเรือนระบบปิด ให้ไก่ได้รับอาหารและน้ำอย่างเต็มที่ (*ad libitum*) ใช้ระยะเวลาในการทดลองทั้งสิ้น 42 วัน

2. โรงเรือน

ใช้โรงเรือนระบบปิด ควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือนด้วยระบบระเหยไอน้ำ (Evaporative cooling system) ใช้พัดลมระบายอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 48 นิ้วจำนวน 4 ตัว ติดอยู่ที่ท้ายโรงเรือนเป็นการระบายอากาศแบบอุโมงค์ลม (Tunnel ventilation system) ภายในมีคอกขนาดกว้าง 1 เมตร ยาว 2 เมตร สูง 1 เมตร เลี้ยงไก่กระตัง 25 ตัว/คอก (800 ตารางเซนติเมตร/ตัว) ใช้แถบเป็นวัสดุรองพื้น ใช้ถังแขวนให้อาหาร มีระบบการให้น้ำแบบหัวหยดอัตโนมัติ (Nipple)

3. อาหารทดลอง

แบ่งการให้อาหารออกเป็น 2 ระยะ ได้แก่ 1) ระยะเล็ก (1-21 วัน) กำหนดให้อาหารทดลองมีโปรตีน (Crude protein) 22 % ระดับพลังงาน 3,100 kcal ME/kg และ 2.) ระยะรุ่น (22-42 วัน) กำหนดให้มีโปรตีน 20 % และพลังงาน 3,200 kcal ME/kg ประกอบสูตรอาหารโดยใช้วัตถุดิบหลัก คือ ข้าวโพดและกากถั่วเหลือง ซึ่งวิเคราะห์โปรตีน (Crude protein) ตามวิธีของ AOAC (1990) และองค์ประกอบของกรดอะมิโนโดยเครื่อง Amino acid analyzer ดังตารางที่ 2 ก่อนนำมาผสม

อาหารพื้นฐาน (Basal diet) ด้วยเครื่องผสมอาหารแนวนอน ซึ่งคำนวณสูตรอาหารพื้นฐานให้มีปริมาณเมทไธโอนีนต่ำกว่าความต้องการของสายพันธุ์ แสดงในตารางที่ 4

จากนั้นทำการเสริม DL-Met-OH ที่ระดับต่างๆในสูตรอาหารโดยมี TSAA ตรงและเกินความต้องการตามสายพันธุ์ (Aviagen, 1999) การเสริม DL-Met-OH ในอาหารพื้นฐาน กำหนดให้ DL-Met-OH มีค่า Bioefficacy เทียบกับ DL-Met เท่ากับ 88 % โดยมีปริมาณของ TSAA ในอาหารทดลองของกลุ่มที่ 2 คือ 1.07 (ระยะเล็ก) และ 0.94 % (ระยะรุ่น) เป็นระดับที่เสริมตามคำแนะนำตามสายพันธุ์ (Aviagen, 1999) จากนั้นจึงเทียบ Bioefficacy ที่ 84, 80 และ 76 % ดังนั้นปริมาณ DL-Met-OH ที่เสริมในอาหาร ดังตารางที่ 5 เพื่อให้มี TSAA ที่ 1.08/0.95, 1.10/0.97 และ 1.12/0.99 % (ระยะเล็ก/รุ่น) ในอาหารกลุ่มที่ 3, 4 และ 5 ตามลำดับ นำอาหารทดลองที่ผสมแล้วไปอัดเม็ดและบรรจุในถุงอาหารขนาด 20 กิโลกรัม และสุ่มตัวอย่างอาหารพื้นฐานเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของโภชนาด้วยวิธีของ AOAC (1990) อ้างอิงโดย อังคณา และดวงสมร (2523) ในตารางที่ 6

ตารางที่ 2 สัดส่วนของกรดอะมิโนและโปรตีนในวัตถุดิบอาหารสัตว์จากการวิเคราะห์

ส่วนประกอบ (เปอร์เซ็นต์)	ระยะแรก (1-21 วัน)		ระยะรุ่น (22-42 วัน)	
	ข้าวโพด	กากถั่วเหลือง	ข้าวโพด	กากถั่วเหลือง
โปรตีน	7.15	43.50	7.17	46.50
ซิสเตอีน	0.16	0.76	0.16	0.73
เมไทโอนีน	0.15	0.66	0.15	0.63
เมไทโอนีน + ซิสเตอีน	0.31	1.42	0.31	1.36
एसพาราจีน	0.46	5.26	0.460	5.41
ทรีโอนีน	0.23	1.85	0.23	1.96
ซีรีน	0.29	2.42	0.29	2.50
กลูตามีน	1.29	9.01	1.29	8.86
ไกลซีน	0.30	2.00	0.30	2.21
อะลานีน	0.51	1.95	0.51	2.05
วาลีน	0.35	2.21	0.35	2.34
ไอโซลิวซีน	0.24	2.14	0.24	2.37
ลิวซีน	0.69	3.56	0.69	3.65
ไทโรซีน	0.19	1.86	0.19	1.63
เฟนิลอะลานีน	0.24	2.28	0.24	2.63
ฮิสติดีน	0.21	1.21	0.21	1.34
ไลซีน	0.25	2.79	0.25	2.66
อาร์จินีน	0.29	3.39	0.29	3.920
โพรลีน	0.55	2.31	0.55	2.48

ตารางที่ 3 ส่วนประกอบของวัตถุดิบอาหารและค่าโภชนะที่ได้จากการคำนวณของอาหารทดลอง
สูตรพื้นฐานระยะเล็ก (1-21 วัน) และระยะรุ่น (22-42 วัน)

ส่วนประกอบ (%)	ระยะเล็ก	ระยะรุ่น
ข้าวโพด (7.15% โปรตีน)	46.420	54.845
กากถั่วเหลือง (43.5% โปรตีน)	42.790	34.100
น้ำมันถั่วเหลือง	6.390	6.780
แอล-ไลซีน	0.073	0.200
แอล-ทรีโอนีน	0.020	0.020
โมโนไดแคลเซียมฟอสเฟต (15/21%)	0.023	0.023
โคลีนคลอไรด์ (60%)	1.928	1.860
หินฟูน (38.67%)	0.100	0.100
โซเดียมไบคาร์บอเนต (27%)	1.487	1.349
เกลือ	0.200	0.200
พรีมิกซ์ไก่กระทง*	0.235	0.230
Sacox120 (สารกันเชื้อโรค)	0.050	0.050
MTB100 (สารกันเชื้อรา)	0.050	0.050
ส่วนประกอบของโภชนะ (คำนวณ)		
พลังงาน (Kcal/kg)	3100	3200
โปรตีน (%)	22	20
แคลเซียม (%)	0.99	0.90
ฟอสฟอรัสรวม (%)	0.80	0.69
ฟอสฟอรัสใช้ประโยชน์ได้ (%)	0.56	0.46

* ส่วนประกอบ 1 กิโลกรัม: วิตามิน เอ 4.00 ล้านหน่วยสากล, วิตามิน ดี 3 0.50 ล้านหน่วยสากล, วิตามิน อี 4.48 กรัม, วิตามิน เค 3 0.68 กรัม, วิตามิน บี 1 0.52 กรัม, วิตามิน บี 2 2.00 กรัม, วิตามิน บี 6 0.68 กรัม, วิตามิน บี 12 5.60 กรัม, กรดโฟลิก 0.17 กรัม, กรดนิโคตินิก 6.80 กรัม, กรดแพนโททินิก 3.36 กรัม, ไบโอติน 0.014 กรัม, โคลีน คลอไรด์ 200.00 กรัม, แมงกานีส 26.40 กรัม, เหล็ก 17.20 กรัม, สังกะสี 26.40 กรัม, ทองแดง 3.20 กรัม, ไอโอดีน 0.32 กรัม, ซีลีเนียม 0.03 กรัม สารถนอมคุณภาพอาหารสัตว์รวม 4.80 กรัมและสื่อเติมจนครบ 1 กิโลกรัม

ตารางที่ 4 สัดส่วนของกรดอะมิโนในอาหารพื้นฐาน จากการคำนวณและการวิเคราะห์ของไก่
กระทอง

ส่วนประกอบ (เปอร์เซ็นต์)	ระยะเล็ก (1-21 วัน)		ระยะรุ่น (22-42 วัน)	
	คำนวณ	วิเคราะห์	คำนวณ	วิเคราะห์
ซิสเตอีน	0.40	0.38	0.34	0.28
เมทไธโอนีน	0.35	0.34	0.30	0.27
เมทไธโอนีน + ซิสเตอีน*	0.75	0.72	0.64	0.55
แอสปารากีน	2.46	2.35	2.10	2.07
ทรีโอนีน	0.88	0.83	0.80	0.79
ซีรีน	1.17	0.95	1.01	0.97
กลูตามีน	4.45	4.18	3.74	3.79
ไกลซีน	1.00	0.96	0.92	0.86
อะลานีน	1.07	1.07	0.98	0.96
วาลีน	1.11	0.99	0.99	0.89
ไอโซลิวซีน	1.03	0.90	0.94	0.81
ลูซีน	1.84	1.79	1.63	1.66
ไทโรซีน	0.88	0.71	0.66	0.75
เฟนิลอะลานีน	1.09	1.06	1.03	1.07
ฮิสติดีน	0.62	0.66	0.57	0.59
ไลซีน	1.35	1.32	1.247	1.27
อาร์จินีน	1.59	1.44	1.50	1.29
โปรลีน	1.24	1.30	1.15	1.14

หมายเหตุ * เมทไธโอนีน + ซิสเตอีน คือ ปริมาณ Total sulfur amino acid (TSAA) ในอาหาร

ตารางที่ 5 ปริมาณกรดอะมิโนเมไทโอนีนที่เสริมในอาหารทดลองในระยะเล็ก และระยะรุ่น

กลุ่มอาหาร ทดลอง	ระยะเล็ก (1-21 วัน)		ระยะรุ่น (22-42 วัน)	
	ระดับ DL-Met-OH	ปริมาณ TSAA	ระดับ DL-Met-OH	ปริมาณ TSAA
	(%)	(%)	(%)	(%)
1	0	0.75	0	0.64
2	0.32	1.07	0.30	0.94
3	0.33	1.08	0.32	0.95
4	0.35	1.10	0.33	0.97
5	0.37	1.12	0.35	0.99

หมายเหตุ * คำนวณให้ DL-Met-OH มี bioefficacy ที่ระดับ 88 %, 84 %, 80 % และ 76 % ของ DL-Met (1.14, 1.19, 1.25 และ 1.32 เท่า, น้ำหนัก/น้ำหนัก) ในกลุ่มอาหารทดลองที่ 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ

ตารางที่ 6 องค์ประกอบทางโภชนาของอาหารที่ใช้ทดลองจากการคำนวณและการวิเคราะห์

องค์ประกอบทางเคมี	ระยะเล็ก (1-21 วัน)		ระยะรุ่น (22-42 วัน)	
	คำนวณ	วิเคราะห์ ¹	คำนวณ	วิเคราะห์ ¹
พลังงาน (kcal ME/kg)	3100	-	3200	-
ความชื้น (%)	-	6.74	-	11.08
วัตถุแห้ง (%)	-	93.26	-	88.92
ไนโตรเจน (%)	3.52	3.57	3.20	3.26
โปรตีน (%)	22	22.32	20	20.40
ไขมัน (%)	-	9.97	-	8.11
เถ้า (%)	-	7.65	-	6.04
แคลเซียม (%)	0.998	1.61	0.903	1.60
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)	0.80	0.99	0.69	0.80
ฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ (%)	0.56	-	0.46	-

หมายเหตุ ¹วิเคราะห์โภชนา คือ ความชื้น ไนโตรเจน โปรตีน ไขมัน และเถ้า โดยวิธี Proximate analysis ตามวิธีของ AOAC (1990) และวิเคราะห์ปริมาณ แคลเซียม ฟอสฟอรัส ตามวิธีของ AOAC (1990) ดัดแปลงโดย อังคณา และดวงสมร (2523)

วิธีการ

1. แผนการทดลอง

ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design: CRD) โดยพิจารณาปัจจัยหลัก คือ ระดับการเสริมกรดอะมิโน DL-Met-OH ที่แตกต่างกัน 5 ระดับ การทดลองใช้ไก่กระทง 875 ตัว แบ่งไก่กระทงออกเป็น 5 กลุ่ม ๆ ละ 7 ซ้ำๆ ละ 25 ตัว

2. การจัดการเลี้ยงดู

เลี้ยงไก่กระทงในคอกที่มีพื้นเป็นคอนกรีตมีแถบเป็นวัสดุรองพื้น ความหนาแน่น 800 ตารางเซนติเมตรต่อตัว ในโรงเรือนระบบปิด ใช้ระบบควบคุมสภาพแวดล้อมด้วยระบบไอน้ำ (Evaporative cooling system) และระบบการระบายอากาศแบบอุโมงค์ลม (Tunnel ventilation system) โดยให้ไก่กระทงได้รับน้ำและอาหารอย่างเต็มที่ (*ad libitum*) ได้รับน้ำผ่านระบบน้ำหยดระยะเวลาในการเลี้ยง 42 วัน

3. การบันทึกผลและเก็บตัวอย่าง

เพื่อทราบความต้องการของ DL-Met-OH โดยศึกษาการตอบสนองทางสมรรถภาพการเจริญเติบโตของไก่กระทง จะทำการบันทึกผลการทดลอง โดยแบ่งเป็น 2 ช่วง ๆ ละ 21 วัน คือช่วงที่ไก่โตอายุ 1-21 วัน (ระยะเล็ก) และ 22-42 วัน (ระยะรุ่น) โดยแต่ละช่วงมีการบันทึกข้อมูลน้ำหนักตัวไก่เมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง ปริมาณอาหารที่ไก่กินในทุกสัปดาห์ อุณหภูมิโรงเรือน และจำนวนไก่ตายทุกวัน

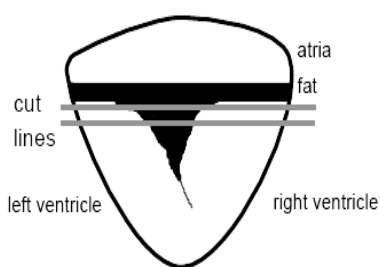
เมื่อสิ้นสุดการทดลองไก่กระทงอายุ 42 วัน สุ่มไก่จาก 6 ซ้ำ ๆ ละ 3 ตัว ในแต่ละกลุ่มทดลอง (18 ตัว/กลุ่มทดลอง) นำมาฆ่าโดยวิธี asphyxiation (ใช้ CO₂) บันทึกน้ำหนักไก่มีชีวิตก่อนชำแหละ และน้ำหนักตัวหลังนำเครื่องในออก ซึ่งน้ำหนักชิ้นส่วนต่างๆ ของซาก ได้แก่ ไกรงและแข้ง สะโพก น่อง สันใน สันนอก ปีกบน ปีกล่าง และไขมันช่องท้อง เพื่อประเมินคุณภาพซาก ซึ่งน้ำหนักหัวใจและเก็บตัวอย่างเพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพของหัวใจต่อไป และเพื่อศึกษาถึงองค์ประกอบทางเคมีในเลือด จะทำการสุ่มไก่ที่อายุ 21 วัน และ 42 วัน จากกลุ่มทดลอง ๆ ละ 1 ซ้ำ ๆ ละ

8 ตัว โดยทำการอดอาหารไก่อีก 12 ชั่วโมง นำเลือดไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 3,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที เพื่อแยกพลาสมา และซีรัม เก็บที่อุณหภูมิ -20°C องศาเซลเซียส ส่วนหนึ่งของตัวอย่างเลือด จะนำไปศึกษาเกี่ยวกับการเกิดโรค ascites syndrome ต่อไป

4. การศึกษาผลต่อการเกิดโรค ascites

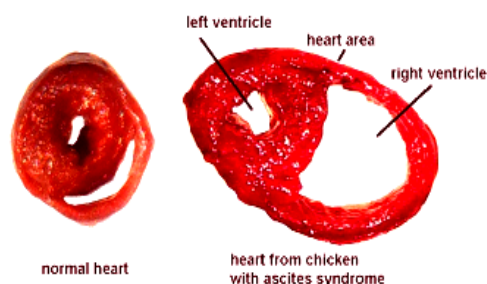
นำตัวอย่างเลือดทั้งสองช่วงการทดลองที่เก็บไว้ในหลอดที่ใส่สารป้องกันการแข็งตัวของเลือด มาวัดค่า hematocrit (% packed cell volume, PCV) ทันทีหลังจากการเจาะเลือด โดยใช้ Heparinized capillary tube จุ่มในหลอดเก็บเลือด ทำซ้ำละ 3 หลอด ของแต่ละซ้ำของกลุ่มทดลอง เพื่อหาค่าเฉลี่ย และนำไปปั่นด้วยเครื่อง Hematocrit centrifuge ด้วยความเร็ว 15,000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที นำมาอ่านค่าด้วย Microhematocrit reader (อุคเดช, 2548) และเก็บตัวอย่างเลือดส่วนหนึ่งเพื่อวิเคราะห์หาระดับฮอร์โมน T_3 ในซีรัมต่อไป

ศึกษาลักษณะทางกายภาพของหัวใจ (heart characteristic) โดยนำตัวอย่างหัวใจที่เก็บไว้ที่ -20°C องศาเซลเซียส ทำการผ่าตัดด้านขวาง (cross section) ที่ตำแหน่งตรงด้านล่างของ tricuspid และ bicuspid valves จากนั้นตัดให้ได้เนื้อหัวใจแผ่นหนาประมาณ 4 มิลลิเมตร (ภาพที่ 7) และวัดค่าต่างๆ ได้แก่ right ventricle weight (RVW), right ventricle area (RVA), left ventricle area (LVA), heart area (HA), right ventricle thickness (RVT) และ left ventricle thickness (LVT) (ภาพที่ 8) ตามวิธีของ McGovern *et al.* (2001)



ภาพที่ 7 แสดงตำแหน่งที่ตัด cross section

ที่มา: McGovern *et al.* (2001)



ภาพที่ 8 แสดงภาพ cross section ของหัวใจ

ที่มา: McGovern *et al.* (2001)

5. การวิเคราะห์ทางเคมี

5.1 สุ่มวัตถุดิบอาหารก่อนการผสมและตัวอย่างอาหารทดลองที่ผสมเสร็จแล้ว เพื่อวิเคราะห์โภชนะต่าง ๆ คือ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และเถ้า โดยวิธี Proximate analysis ตามวิธีของ AOAC (1990) วิเคราะห์พลังงานรวมในอาหารโดยใช้เครื่อง Bomb calorimeter และวิเคราะห์ปริมาณ แคลเซียม ฟอสฟอรัส ตามวิธีของ AOAC (1990) อ้างอิงโดย อังคณา และดวงสมร (2523) และตรวจสอบสภาพความเป็นกรด-ด่าง โดยวัดค่า pH ด้วยเครื่อง pH meter (ราชาวดี, 2546)

5.2 วิเคราะห์หาปริมาณไตรกลีเซอไรด์ในซีรัม โดยวิธี Enzymatic Colorimetric Method ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ใช้ชุดทดสอบของบริษัท Human Gesellschaft fur Biochemica und Diagnostica mbH เพื่อศึกษาผลของ DL-Met-OH ต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมของไขมัน

5.3 วิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระในเลือด (nonesterified fatty acid) โดยวิธี Salting-out technique for colorimetric method ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ตามวิธีการของ Smith 1975 เพื่อศึกษาผลของ DL-Met-OH ต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมของไขมัน

5.4 วิเคราะห์หาปริมาณฮอร์โมน Triiodothyronine (T_3) ในซีรัม โดยวัด Radioactivity ด้วยเครื่อง Gamma Counter ใช้ชุดทดสอบของบริษัท Diagnostic Products Corporation เพื่อศึกษาผลของ DL-Met-OH ต่อการเกิดโรค ascites

5.5 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในเลือด คือ uric acid โดยวิธีตกตะกอน ด้วยวิธี phosphotungstate-carbonate ใช้ชุดทดสอบของบริษัท Life Science Dynamics of Arnaparn Co., LTD เพื่อศึกษาผลของ DL-Met-OH ต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีนในร่างกาย

6. การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design และวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมี (ไทรกลีเซอไรด์ กรดยูริก กรดไขมันอิสระ และฮอร์โมน Triiodothyronine ในเลือด) และค่าการวัดผลทางสมรรถภาพการผลิตต่างๆ รวมทั้งดัชนีที่ศึกษาการเกิดโรค ascites ในแต่ละทรีทเมนต์ โดยวิธีของ Duncan' new multiple range test ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ โดยมีแบบหุ่นทางสถิติคือ

$$Y_{ij} = \mu + A_i + \epsilon_{ij}$$

μ = ค่าเฉลี่ยรวม

A_i = อิทธิพลของระดับการเสริมเมทไธโอนีน (DL-Met-OH)

โดย i = ทรีทเมนต์ที่ 1 (0 %)

ทรีทเมนต์ที่ 2 (DL-Met-OH 0.32/0.30%)

ทรีทเมนต์ที่ 3 (DL-Met-OH 0.33/0.32%)

ทรีทเมนต์ที่ 4 (DL-Met-OH 0.35/0.33%)

ทรีทเมนต์ที่ 5 (DL-Met-OH 0.37/0.35%)

ϵ_{ij} = ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง โดย $\epsilon_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาลอก ต่อการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหาร และกระบวนการเมแทบอลิซึมของไขมัน

อุปกรณ์

1. สัตว์ทดลอง

ใช้ไก่กระทง อายุ 1 วัน จำนวน 250 ตัว แบ่งไก่ออกเป็น 5 กลุ่มๆ ละ 25 ตัว และทำการสุ่มไก่ที่มีน้ำหนักใกล้เคียงค่าเฉลี่ยของกลุ่มออกมากลุ่มละ 8 ตัว เพื่อเลี้ยงบนกรง Metabolic cage (1 ตัวต่อกรง) ซึ่งแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ ที่อายุ 14-21 วัน และ 35-42 วัน จำนวนทั้งหมด 40 ตัว ในแต่ละช่วงใช้ระยะเวลาทั้งสิ้น 7 วัน

2. โรงเรือน

ใช้ระบบโรงเรือนแบบปิด ควบคุมสภาพแวดล้อมด้วย Air Condition ภายในมีกรง Metabolic cage ขนาดกรงกว้าง 35 เซนติเมตร ยาว 45 เซนติเมตร สูง 40 เซนติเมตร เลี้ยงไก่กระทง 1 ตัว/คอก ระบบการให้น้ำแบบหัวหยดอัตโนมัติ ระบบการให้อาหารแบบรางอาหาร ขนาดรางอาหาร กว้าง 10 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร

3. อาหารทดลอง

ใช้อาหารทดลองสูตรเดียวกับการทดลองที่ 1 โดยแบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ ระยะเล็ก (1-21 วัน) และระยะรุ่น (22-42 วัน)

วิธีการ

1. แผนการทดลอง

ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design: CRD) โดยใช้อาหารทดลอง 5 กลุ่ม การทดลองใช้ไก่กระทง 40 ตัว แบ่งเป็น 5 กลุ่ม ๆ ละ 8 ตัว ๆ ละ 1 ตัว

2. การจัดการเลี้ยงดู

สุ่มไก่กระทงที่เลี้ยงบนพื้นคอนกรีตที่รองด้วยแกลบในโรงเรือนระบบปิด เพื่อเตรียมขึ้นกรง Metabolic cage ขนาดกว้าง 35 เซนติเมตร ยาว 45 เซนติเมตร สูง 40 เซนติเมตร โดยใช้โรงเรือนแบบปิด ควบคุมสภาพแวดล้อมด้วย Air Condition อุณหภูมิคงที่ 25 องศาเซลเซียส เลี้ยงไก่กระทงขึ้นกรง 2 ช่วง ที่อายุ 14 วัน และ 35 วัน โดยสุ่มไก่ที่มีน้ำหนักใกล้เคียงของกลุ่มออกมา กลุ่มละ 8 ตัว เลี้ยงในกรง Metabolic cage กรงละ 1 ตัว ทั้งหมด 40 ตัวต่อช่วงการทดลอง ใช้ระยะเวลาทั้งสิ้น 7 วัน/ช่วง ใช้ระบบการให้น้ำแบบหัวหยดอัตโนมัติ ระบบการให้อาหารแบบรางอาหาร โดยชั่งอาหารเข้าและออกทุกวัน

3. การบันทึกผลและเก็บตัวอย่าง

แบ่งการบันทึกข้อมูลออกเป็น 2 ระยะ ๆ ละ 7 วัน คือ ระยะเล็ก อายุ 14-21 วัน และระยะรุ่น อายุ 35-42 วัน บันทึกข้อมูลน้ำหนักตัวไก่ทุกตัวก่อนขึ้นกรงและหลังออกจากกรง บันทึกอุณหภูมิโรงเรือน ปริมาณอาหารที่ไก่กิน และน้ำหนักของมูลที่ขับออกทุกวัน จากนั้นเก็บมูลทั้งหมดที่ไก่ขับออกมาวันละครั้ง เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสถานะความเป็นกรด-ด่าง และทำการฆ่าไก่ทดลองที่อายุ 21 วัน และ 42 วัน โดยชำแหละซากไก่เพื่อชั่งน้ำหนักอวัยวะภายใน วัดความยาวของระบบทางเดินอาหารส่วนต่างๆ และวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในระบบทางเดินอาหารส่วนต่างๆ ได้แก่ กระเพาะบด กระเพาะแท้ ลำไส้เล็กส่วนต้น และลำไส้เล็กส่วนกลาง จากนั้นเก็บกระดูกส่วน Tibia และดับไว้ในตู้แช่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

4. การวิเคราะห์ทางเคมี

4.1 วิเคราะห์หา Total lipid ในตับ เพื่อศึกษาผลต่อการสะสมไขมันในตับ โดยเตรียมตัวอย่างตับซึ่งดัดแปลงจากวิธีของ Folch (1956) คือ ชั่งตัวอย่างตับปริมาณ 3 กรัม ทำการสกัดไขมันด้วยสารละลาย Chloroform และ Methanol ในอัตราส่วน 2:1 (v/v) 10 เท่า แล้วนำไปทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน (Homogenized) ความเร็ว 20,000 รอบ/นาที่ นาน 1 นาที เหย่า 1-2 นาที นำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 และชั่งน้ำหนักไขมันที่สกัดได้ (แสดงรายละเอียดในภาคผนวก)

4.2 วิเคราะห์หาปริมาณไตรกลีเซอไรด์ในตับ เพื่อศึกษาผลต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมของไขมัน โดยดัดแปลงจากวิธีของ Sutton *et al.* (1984) ทำการสกัดไขมันโดยชั่งตัวอย่าง 1 กรัม สกัดด้วยสารละลาย acetone:ethanol (1:1 v/v) 5 เท่า แล้วนำไป Homogenized ที่ความเร็ว 20,000 รอบ/นาที่ นาน 1 นาที หลังจากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 3,000 รอบ/นาที่ นำสารละลายส่วนบนไปวิเคราะห์ไตรกลีเซอไรด์ โดยวิธี Enzymatic Colorimetric Method ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ใช้ชุดทดสอบของบริษัท Human Gesellschaft für Biochemica und Diagnostica mbH

4.3 วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี ในตับคือ โปรตีน และความชื้น โดยวิธี Proximate analysis ตามวิธีของ AOAC (1990) เพื่อทราบปริมาณการสังเคราะห์โปรตีน

4.4 วิเคราะห์หา ความชื้น เถ้า ไขมัน ในโตรเจน โปรตีน ในมูล ด้วยวิธี Proximate analysis ตามวิธีของ AOAC (1990) และแคลเซียม และฟอสฟอรัส ตามวิธี AOAC (1990) อ้างอิงโดย อังคณา และดวงสมร (2523) นอกจากนั้นทดสอบสภาพความเป็นกรด-ด่าง โดยเจือจางด้วยน้ำกลั่นที่ไม่มีประจุ (Deionize) 3 เท่า วัดโดยเครื่อง pH meter (ราชาวดี, 2546) เพื่อศึกษาการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหาร

4.5 วัดความแข็งแรงของกระดูก Tibia (Bending Strength) โดยวิธี 3-Point Bending Test จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาเถ้า แคลเซียม และฟอสฟอรัสในกระดูก Tibia โดยวิธี Proximate analysis ตามวิธีของ AOAC (1990) เพื่อศึกษาการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหาร

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design และวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของข้อมูลจากการวิเคราะห์ทางเคมีในแต่ละทรีทเมนต์ (Total lipid ไตรกลีเซอไรด์ โปรตีน และความชื้นในตับ และความชื้น เนื้อไขมัน ไนโตรเจน โปรตีน แคลเซียม และฟอสฟอรัสในมูล รวมทั้ง Bending Strength เนื้อ แคลเซียม และฟอสฟอรัสในกระดูก) โดยวิธีของ Duncan' new multiple range test ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ โดยมีแบบหุ่นทางสถิติคือ

$$Y_{ij} = \mu + A_i + \epsilon_{ij}$$

μ = ค่าเฉลี่ยรวม

A_i = อิทธิพลของระดับการเสริมเมทไธโอนีน (DL-Met-OH)

โดย i = ทรีทเมนต์ที่ 1 (0 %)

ทรีทเมนต์ที่ 2 (DL-Met-OH 0.32/0.30%)

ทรีทเมนต์ที่ 3 (DL-Met-OH 0.33/0.32%)

ทรีทเมนต์ที่ 4 (DL-Met-OH 0.35/0.33%)

ทรีทเมนต์ที่ 5 (DL-Met-OH 0.37/0.35%)

ϵ_{ij} = ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง โดย $\epsilon_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$

6. ระยะเวลาในการทดลอง

- เริ่มการทดลองประมาณ ธันวาคม 2548
- สิ้นสุดการทดลองประมาณ กุมภาพันธ์ 2549

7. สถานที่ทำการทดลอง

- บริษัท ศูนย์วิจัยสัตว์กรุงเทพ จำกัด
- ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ
- ศูนย์เครื่องจักรกลทางการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

ผลและวิจารณ์

การทดลองที่ 1

การศึกษาผลของการเสริมเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อกในอาหารไก่กระตังต่อสมรรถภาพการผลิต การเกิดโรค ascites และสารเมแทบอลิไทน์ในเลือด ช่วงอายุ 1-42 วัน

1. อิทธิพลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อกต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต

1.1 ผลต่อปริมาณอาหาร และกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบที่ได้รับ

ผลของการเสริม DL-Met-OH เป็นแหล่งเมไทโอนีนในอาหารไก่กระตัง ต่อปริมาณการกินอาหารในทุกช่วงการทดลอง แสดงในตารางที่ 7 พบว่าไก่กระตังที่ได้รับอาหารขาดเมไทโอนีน มีปริมาณอาหารที่กินน้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเมไทโอนีน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

เมื่อพิจารณาผลต่อปริมาณอาหารกินของไก่กระตังในระยะเล็ก (1-21 วัน) พบว่า การเสริม DL-Met-OH ในอาหารที่ระดับสูงกว่า 0.32/0.30 % ทำให้ไก่กินอาหารลดลง ขณะที่ระยะรุ่น (22-42 วัน) และตลอดช่วงการทดลอง ไม่พบความแตกต่างทางสถิติของปริมาณอาหารที่กินเนื่องจากระดับการเสริมเมไทโอนีนที่เพิ่มขึ้น

จากตารางที่ 8 แสดงผลของการเสริมเมไทโอนีนต่อปริมาณ TSAA ที่ได้รับในทุกช่วงการทดลอง โดยพบว่าไก่กระตังในกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเมไทโอนีนทุกระดับทำให้ปริมาณ TSAA ที่ได้รับ มากกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริมเมไทโอนีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และเมื่อพิจารณาระดับเมไทโอนีนที่เสริมในอาหารช่วงแรก ไม่พบความแตกต่างของปริมาณ TSAA ที่ได้รับ สำหรับในช่วงที่สอง พบว่า ปริมาณ TSAA ที่ได้รับของไก่กระตังในกลุ่มที่ได้รับอาหารเมไทโอนีนระดับ 0.33/0.32 % มีค่าเท่ากับ 30.72 ซึ่งต่ำกว่ากลุ่มที่ระดับเมไทโอนีน 0.35/0.33 % มีค่าเท่ากับ 32.69 และในตลอดช่วงการทดลองได้รับอิทธิพลเช่นเดียวกับช่วงที่สอง

ตารางที่ 7 แสดงผลของการเสริมเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะโนลีนต่อปริมาณอาหารที่กินได้ของไก่
กระตังในแต่ละช่วงอายุ

ปริมาณอาหารที่กินได้	เมไทโอนีนไฮดรอกซีอะโนลีน (%)				
	0 ^V	032030 ^V	033032 ^V	035033 ^V	037035 ^V
ระยะเล็ก	965±16.44 ^A	1,157±33.69 ^C	1,090±18.04 ^B	1,126±8.05 ^{BC}	1,089±5.62 ^B
ระยะรุ่น	3,067±74.17 ^A	3,362±99.18 ^B	3,234±45.91 ^{AB}	3,370±55.64 ^B	3,189±31.75 ^{AB}
ระยะเล็ก-ระยะรุ่น	4,030±86.24 ^A	4,498±127.56 ^B	4,319±54.50 ^B	4,491±54.76 ^B	4,268±39.71 ^B

หมายเหตุ ^{A,B} และ ^C อักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01)

^V ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

N = 150 ตัว/กลุ่มทดลอง

ตารางที่ 8 แสดงผลของการเสริมเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะโนลีนต่อปริมาณกรดอะมิโนที่มีซัล
เฟอร์เป็นองค์ประกอบที่ได้รับของไก่กระตังในแต่ละช่วงอายุ

ปริมาณกรดอะมิโน ที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์- ประกอบที่ได้รับ	เมไทโอนีนไฮดรอกซีอะโนลีน (%)				
	0 ^{I/}	032030 ^{I/}	033032 ^{I/}	035033 ^{I/}	037035 ^{I/}
ระยะเล็ก	7.24±0.12 ^a	12.38±0.36 ^b	11.78±0.19 ^b	12.39±0.09 ^b	12.19±0.06 ^b
ระยะรุ่น	19.63±0.47 ^a	31.60±0.47 ^{bc}	30.72±0.44 ^b	32.69±0.54 ^c	31.57±0.31 ^{bc}
ระยะเล็ก-ระยะรุ่น	26.87±0.56 ^a	43.98±1.24 ^{bc}	42.49±0.53 ^b	45.08±0.55 ^c	43.76±0.36 ^{bc}

หมายเหตุ ^{a,b} และ ^c อักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

^{I/} ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

N = 150 ตัว/กลุ่มทดลอง

จากผลการศึกษาการเสริม DL-Met-OH ในอาหารไก่กระตังต่อปริมาณอาหารที่กินตลอด
ช่วงการเจริญเติบโต พบว่าเมื่อไก่ได้รับอาหารที่มีระดับของเมไทโอนีนไม่เพียงพอต่อความต้องการ

ของสัตว์ (methionine deficiency) ทำให้ไก่กินอาหารในปริมาณน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเมไทโอนีน อาจเนื่องจากความไม่สมดุลของกรดอะมิโนในอาหารที่ส่งผลต่อการกินได้ของไก่ จากการศึกษากิจของ Kiraz and Sengol (2005) ได้รายงานไว้ว่า ไก่ที่กินอาหารขาดเมไทโอนีนจะแสดงอาการไม่ยอมกินอาหาร จึงมีผลต่อการกินอาหารลดลง ขณะที่ DL-Met-OH ลงในอาหาร ทำให้ไก่กินอาหารได้เป็นปกติ เช่นเดียวกับ Rostagno and Barbosa (1995) รายงานไว้ว่า การให้อาหารที่ขาดเมไทโอนีน ทำให้ไก่กระตือรือร้นกินอาหารได้น้อยกว่าไก่กินอาหารเสริมเมไทโอนีน ดังนั้นการเสริม DL-Met-OH ในอาหาร สามารถปรับสมดุลของกรดอะมิโนและเป็นแหล่งของเมไทโอนีนได้

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาผลของระดับเมไทโอนีนที่สูงขึ้นในอาหาร พบว่า การเสริม DL-Met-OH ระดับต่ำสุด (0.32/0.30 %) มีผลทำให้ปริมาณการกินอาหารของไก่กระตือรือร้นมากกว่ากลุ่มที่เสริมในระดับอื่น ๆ โดยปริมาณอาหารที่กินของไก่นั้นได้รับอิทธิพลหลักจากระดับของเมไทโอนีนที่มีอยู่ในอาหาร และการเสริม DL-Met-OH ในอาหารที่ระดับสูงกว่า 0.32/0.30 % มีแนวโน้มทำให้ไก่กินอาหารลดลง ซึ่งสอดคล้องกับปรากฏการณ์ที่พบทั่วไปว่า หากสัตว์ได้รับอาหารที่ขาดเมไทโอนีนเพียงเล็กน้อยจะทำให้กินอาหารมากขึ้น เพื่อให้ร่างกายได้รับกรดอะมิโนตรงตามความต้องการ (Hickling *et al.*, 1990) ในทางตรงกันข้าม กรณีที่อาหารขาดเมไทโอนีนหรือไม่สมดุลกับกรดอะมิโนตัวอื่นมาก จนส่งผลให้กินอาหารลดลง จากการศึกษากิจของ Acar *et al.* (2001) รายงานว่า การเสริมเมไทโอนีนที่มากเกินไปเกินความต้องการของไก่กระตือรือร้นโดยเฉพาะในช่วงแรก จะส่งผลต่อการกินอาหารได้ของสัตว์ลดลงและทำให้น้ำหนักลดลงถึง 20.4 % ซึ่งจากการทดลองการเสริม DL-Met-OH ที่ระดับสูงสุด (0.37/0.35 %) มีแนวโน้มทำให้การกินอาหารต่ำกว่ากลุ่มอื่นๆ ส่งผลให้น้ำหนักตัวมีแนวโน้มลดลง อาจเป็นไปได้ว่าการเสริม ในระดับนี้เหนี่ยวนำให้เกิดกรดอะมิโนไม่สมดุล โดย Harper and Roger (1965) รายงานว่า กรดอะมิโนที่ไม่สมดุลในอาหารทำให้ความอยากกินอาหารของสัตว์ลดลง นอกจากนี้ระดับกรดอะมิโนในกระแสเลือดที่มีมากเกินไปก็มีผลต่อการกินได้ที่ลดลง (Waldroup *et al.*, 1976)

1.2 ผลต่อน้ำหนักสิ้นสุด น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโต

ผลของการเสริม DL-Met-OH ในอาหารไก่กระตือรือร้นต่อน้ำหนักตัวสิ้นสุด น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตในแต่ละช่วงอายุ แสดงในตารางที่ 9 โดยไก่กระตือรือร้นมีน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากันทุกกลุ่มการทดลอง คือ 38.60 ± 0.13 กรัม เมื่อไก่กระตือรือร้นได้รับอาหารที่แตกต่างกันตามกลุ่มทดลอง พบว่าทั้งในช่วงระยะแรก และระยะรุ่น ไก่ในกลุ่มที่ได้รับอาหารขาดเมไทโอนีนมีน้ำหนักตัวสิ้นสุด น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตต่ำกว่ากลุ่มอื่น ($P < 0.01$) สำหรับ

การเสริมเมไทโอนีนที่ระดับต่าง ๆ ในอาหาร พบว่าไม่มีอิทธิพลต่อน้ำหนักตัวสิ้นสุด น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตในทั้งสองช่วง

เมื่อพิจารณาตลอดช่วงการทดลอง (1-42 วัน) พบว่าการเสริม DL-Met-OH ทำให้น้ำหนักตัวสิ้นสุด น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการเสริมเมไทโอนีนที่สูงขึ้นแต่ละระดับไม่ทำให้น้ำหนักตัวสิ้นสุด น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตเกิดความแตกต่างทางสถิติ

ตารางที่ 9 แสดงผลของการเสริมเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาไลต์ต่อน้ำหนักตัว และอัตราการเจริญเติบโตของไก่กระตังในแต่ละช่วงอายุ

	เมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาไลต์(%)				
	0 ^{1/}	0.32/0.30 ^{1/}	0.33/0.32 ^{1/}	0.35/0.33 ^{1/}	0.37/0.35 ^{1/}
น้ำหนักตัวเริ่มต้น	38.6	38.6	38.6	38.6	38.6
(กรัม/ตัว)					
น้ำหนักสิ้นสุด (กรัม/ตัว)					
ระยะเล็ก	774±14.47 ^A	977±26.69 ^B	967±9.33 ^B	958±11.84 ^B	958±5.28 ^B
ระยะรุ่น	2,376±52.50 ^A	2,804±65.35 ^B	2,735±35.85 ^B	2,789±29.26 ^B	2,721±25.20 ^B
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม/ตัว)					
ระยะเล็ก	735±14.33 ^A	938±26.68 ^B	929±9.32 ^B	920±11.75 ^B	919±5.09 ^B
ระยะรุ่น	1,602±44.06 ^A	1,827±42.12 ^B	1,768±27.89 ^B	1,831±31.61 ^B	1,763±21.36 ^B
ระยะเล็ก-ระยะรุ่น	2,338±52.39 ^A	2,765±65.35 ^B	2,697±35.93 ^B	2,751±29.36 ^B	2,682±24.99 ^B
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/ตัว/วัน)					
ระยะเล็ก	35.01±0.68 ^A	44.69±1.28 ^B	44.23±0.44 ^B	43.79±0.56 ^B	43.77±0.24 ^B
ระยะรุ่น	76.30±2.09 ^a	86.99±2.01 ^b	84.19±1.33 ^b	87.19±1.50 ^b	83.97±1.02 ^b
ระยะเล็ก-ระยะรุ่น	2,338±52.39 ^A	2,765±65.35 ^B	2,697±35.93 ^B	2,751±29.36 ^B	2,682±24.99 ^B

หมายเหตุ ^A และ ^B อักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01)

^a และ ^b อักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

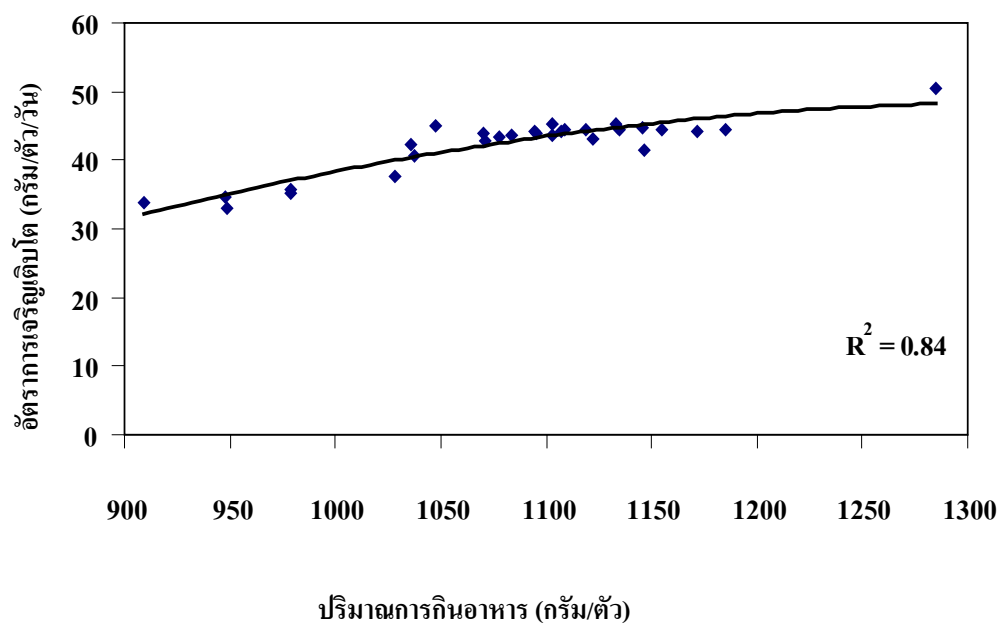
^{1/} ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

N = 150 ตัว/กลุ่มทดลอง

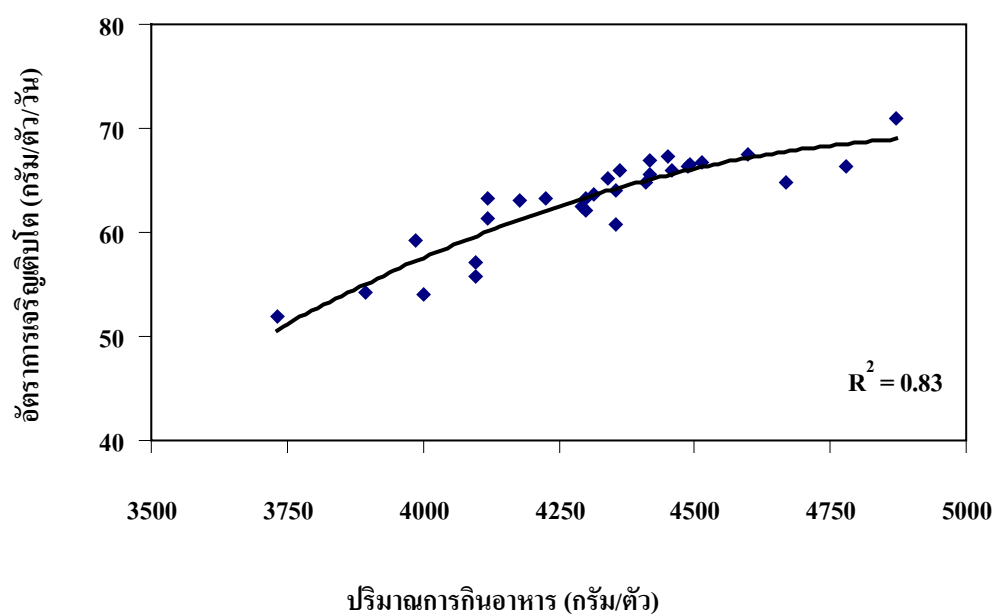
จากการศึกษาผลของการเสริม DL-Met-OH ในสูตรอาหารไก่กระທงที่ใช้ข้าวโพดและกากถั่วเหลืองเป็นหลัก พบว่าสามารถปรับปรุงอัตราการเจริญเติบโตให้ดีขึ้น โดยตลอดระยะเวลาการทดลอง (1-42 วัน) ไก่ที่ได้รับอาหารไม่เสริมเมไทโอนีนมีน้ำหนักตัวน้อยกว่าเนื่องจากปริมาณการกินอาหารต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเมไทโอนีน ซึ่งสอดคล้องกับ Hiratomo *et al.* (1990) ได้รายงานว่ ไก่ที่ขาดเมไทโอนีนจะมีการสังเคราะห์โปรตีนต่ำลงเมื่อเทียบกับไก่ที่ได้รับเมไทโอนีนในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการ ซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโตโดยตรง จากการศึกษาของ Garlich (1985) รายงานว่าการเสริมเมไทโอนีนในอาหารทำให้ไก่มีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นถึง 12.4 % เช่นเดียวกับ Huygbaert (1993) ที่รายงานว่ DL-Met-OH ที่เสริมในอาหาร ทำให้ไก่มีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น 14 % เมื่อเทียบกับไก่ที่ได้รับอาหารขาดเมไทโอนีน ซึ่งในการทดลองนี้พบว่าสามารถเพิ่มน้ำหนักสูงขึ้นโดยเฉลี่ยถึง 16.5 %

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาผลของระดับเมไทโอนีนที่สูงขึ้นในอาหาร ซึ่งเห็นได้ว่าการตอบสนองด้านสมรรถภาพการเจริญเติบโตต่อการเสริม DL-Met-OH ที่ระดับต่ำสุด (0.32/0.30 %) ทำให้ไก่มีน้ำหนักตัวสูงกว่ากลุ่มที่เสริมในระดับสูงกว่า แม้ว่าจะไม่แตกต่างทางสถิติก็ตาม ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณอาหารที่กินมากกว่ากลุ่มอื่น ขณะที่ Elkin and Hester (1983) และ Meirelles *et al.* (2003) ได้รายงานว่ การเสริม DL-Met-OH ที่ระดับต่างๆ ทำให้เกิดการตอบสนองของน้ำหนักตัวไก่กระທงที่เพิ่มขึ้นต่อระดับของกรดอะมิโนที่สูงขึ้นในอาหาร ผลการทดลองที่ไม่สอดคล้องนี้อาจเกิดจากการกำหนดค่า bioefficacy หรือปริมาณของ DL-Met-OH ในอาหารที่ต่างกันแต่ละงานวิจัย Klasing (1998) และ Rodehutsord and Pack (1999) ได้สรุปไว้ว่ อัตราการเจริญเติบโตของไก่กระທงสูงขึ้นตามการเพิ่มระดับเมไทโอนีนในอาหาร แต่จะตอบสนองจนถึงระดับที่ตรงตามความต้องการเท่านั้น ดังนั้นปริมาณเมไทโอนีนที่เกินความต้องการไม่ทำให้การเติบโตของไก่เพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ผลการศึกษายังแสดงให้เห็นว่ปริมาณอาหารที่กินมีอิทธิพลโดยตรงต่อน้ำหนักตัวและอัตราการเจริญเติบโต และพบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการกินอาหารและอัตราการเจริญเติบโต ซึ่งมีค่า $r^2 = 0.84$ ในช่วงอายุ 1-21 วัน และ $r^2 = 0.83$ ในช่วงอายุ 22-42 วัน ดังภาพที่ 9 และ 10 ตามลำดับ จากผลการทดลองในครั้งนี้ แสดงให้เห็นว่การเสริม DL-Met-OH ที่ระดับ 0.32/0.30 % หรือ ค่า bioefficacy เท่ากับ 88 % สามารถเพิ่มสมรรถภาพการเจริญเติบโตของไก่กระທงให้ดีขึ้นได้



ภาพที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการกินอาหารกับอัตราการเจริญเติบโตในระยะ 1-21 วัน



ภาพที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการกินอาหารกับอัตราการเจริญเติบโตในระยะ 22-42 วัน

1.3 ผลต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักรตัว

ผลจากการเสริม DL-Met-OH ในอาหารของแต่ละช่วงอายุ และตลอดการทดลองต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักรตัวของไก่กระทอง ดังแสดงในตารางที่ 10 พบว่าในช่วงอายุ 1-21 วัน ไก่กระทองที่ได้รับอาหารขาดเมไทโอนีนมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักรตัวน้อยที่สุด (1.31) และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักรตัวของไก่ในกลุ่มที่เสริม DL-Met-OH 0.33/0.32 % ในอาหาร มีค่าดีที่สุด (1.17) รองลงมา ได้แก่ กลุ่มที่เสริม DL-Met-OH 0.37/0.35 (1.19) 0.35/0.33 % (1.23) และ 0.32/0.30 % (1.23)

ในช่วงอายุ 22-42 วัน พบว่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักรตัวของไก่กระทองที่ได้รับอาหารขาดเมไทโอนีน มีค่าต่ำกว่าไก่ที่ได้รับอาหารเสริม DL-Met-OH ทุกระดับอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) และเมื่อพิจารณาตลอดช่วงการเจริญเติบโตของไก่กระทอง พบอิทธิพลของการเสริม DL-Met-OH โดยทำให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักรตัวดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่มีการเสริมเมไทโอนีน ($P < 0.01$) แต่ไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มที่เสริมเมไทโอนีนในระดับต่าง ๆ

ตารางที่ 10 แสดงผลของการเสริมเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาไลต์ต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักรตัวของไก่กระทองในแต่ละช่วงอายุ

อัตราการเปลี่ยนอาหาร เป็นน้ำหนักรตัว	เมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาไลต์ (%)				
	0 ^{I/}	0.32/0.30 ^{I/}	0.33/0.32 ^{I/}	0.35/0.33 ^{I/}	0.37/0.35 ^{I/}
ระยะเล็ก	1.31 ± 0.01 ^A	1.23 ± 0.01 ^B	1.17 ± 0.02 ^D	1.23 ± 0.02 ^{BC}	1.19 ± 0.001 ^C
ระยะรุ่น	1.92 ± 0.01 ^A	1.84 ± 0.03 ^B	1.83 ± 0.01 ^B	1.84 ± 0.02 ^B	1.81 ± 0.02 ^B
ระยะเล็ก-ระยะรุ่น	1.72 ± 0.01 ^A	1.63 ± 0.02 ^B	1.60 ± 0.01 ^B	1.63 ± 0.02 ^B	1.59 ± 0.01 ^B

หมายเหตุ ^{A,B,C} และ ^D อักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$)

^{I/} ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

N = 150 ตัว/กลุ่มทดลอง

การเสริม DL-Met-OH ทำให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักร่างกายเพิ่มขึ้น 5 % แม้จะต่ำกว่าการศึกษาของ Huyghebaert (1993) ที่รายงานว่า ระดับเมไทโอนีนที่เพิ่มขึ้นในอาหาร ทำให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักร่างกายเพิ่มขึ้นถึง 11 % เช่นเดียวกับ Schutte and Pack (1995) ซึ่งเมไทโอนีนถือเป็นกรดอะมิโนที่จำกัดในอาหาร เมื่อทำการเสริม DL-Met-OH เพื่อปรับสมดุล ทำให้สัตว์สามารถใช้ประโยชน์จากกรดอะมิโนและโปรตีนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น อย่างไรก็ตามในการทดลองครั้งนี้พบว่าระดับการเสริมเมไทโอนีนที่เพิ่มขึ้นในอาหารไม่ทำให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักร่างกายแตกต่างกัน ทั้งนี้เพราะการกินอาหารที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน และน้ำหนักร่างกายที่เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกัน จึงไม่ส่งผลต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักร่างกาย และอาจเนื่องจากปริมาณ TSAA ที่ได้รับนั้นเกินความต้องการของสัตว์ เช่นเดียวกับ Meirelles *et al.* (2003) ที่รายงานว่า การเสริมเมไทโอนีน ในระดับที่เพิ่มขึ้นนั้นไม่ส่งผลต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักร่างกาย

1.4 ผลต่อความสม่ำเสมอของฝูง และอัตราการตาย

จากตารางที่ 11 แสดงผลของ DL-Met-OH ต่อความสม่ำเสมอของฝูงไก่กระตังในแต่ละช่วงการทดลอง พบว่าในระยะเล็ก (1-21 วัน) ไก่กระตังที่ได้รับอาหารเสริม DL-Met-OH มีความสม่ำเสมอของฝูงไม่แตกต่างกันตามระดับที่เสริมเมไทโอนีนในอาหาร แม้ว่ามีความแตกต่างในกลุ่มที่ไม่ได้เสริมเมไทโอนีนก็ตาม ส่วนระยะรุ่น (22-42 วัน) พบความแตกต่างระหว่างไก่ที่ได้รับอาหารเสริม DL-Met-OH 0.35/0.33 % มีความสม่ำเสมอของฝูงสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารเสริม DL-Met-OH 0.37/0.35 % และกลุ่มที่ไม่ได้เสริมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) สำหรับในระยะแรก – ระยะรุ่น พบว่าไก่ที่ได้รับอาหารขาดเมไทโอนีนมีความสม่ำเสมอของฝูงต่ำกว่ากลุ่มที่เสริม DL-Met-OH ทุกระดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

อัตราการตายของไก่กระตังในระยะเล็ก (1-21 วัน) พบว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารขาดเมไทโอนีน มีอัตราการตายไม่แตกต่างจากกลุ่มที่เสริม DL-Met-OH ในระดับ 0.33/0.32, 0.35/0.33 และ 0.37/0.35 % ยกเว้นกลุ่มที่เสริมระดับต่ำสุด (0.32/0.30 %) มีอัตราการตายสูงกว่ากลุ่มอื่น ๆ ($P < 0.05$) ดังตารางที่ 11 อย่างไรก็ตามอัตราการตายของไก่ในระยะรุ่นและตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโตไม่พบความแตกต่างทางสถิติในแต่ละกลุ่มการทดลอง

ตารางที่ 11 แสดงผลของการเสริมเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อก ต่อความสม่ำเสมอของฝูง และ อัตราการตายของไก่กระตังในแต่ละช่วงอายุ

	เมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อก (%)				
	0 ^{1/}	0.32/0.30 ^{1/}	0.33/0.32 ^{1/}	0.35/0.33 ^{1/}	0.37/0.35 ^{1/}
ความสม่ำเสมอของฝูง (%)					
ระยะเล็ก	88.08±1.42 ^A	92.52±0.42 ^B	91.48±0.38 ^B	91.70±0.63 ^B	91.33±0.61 ^B
ระยะรุ่น	88.07±1.04 ^a	90.07±1.15 ^{ab}	89.82±1.07 ^{ab}	92.29±0.51 ^b	89.06±1.41 ^a
ระยะเล็ก-ระยะรุ่น	88.08±1.17 ^a	91.61±0.67 ^b	90.65±0.66 ^b	92.31±0.39 ^b	90.19±0.91 ^b
อัตราการตาย (%)					
ระยะเล็ก	0.00±0.00 ^A	2.67±0.84 ^B	0.00±0.00 ^A	0.67±0.66 ^A	1.33±0.84 ^{AB}
ระยะรุ่น	0.00±0.00	0.76±0.76	1.33±1.33	0.00±0.00	0.00±0.00
ระยะเล็ก-ระยะรุ่น	0.00±0.00	3.33±1.23	1.33±1.33	0.67±0.67	1.33±0.84

หมายเหตุ ^a และ ^b อักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

^A และ ^B อักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01)

^{1/} ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

N = 150 ตัว/กลุ่มทดลอง

ในกรณีสัตว์ปีกได้รับเมไทโอนีนตามความต้องการแล้ว ทำให้การเจริญเติบโตเป็นไปตามปกติ มีผลต่อความสม่ำเสมอของน้ำหนักตัวไก่กระตังโดยตรง ในทางตรงกันข้าม หากสัตว์ปีกได้รับเมไทโอนีนไม่เพียงพอต่อความต้องการ จะมีผลทำให้ความสม่ำเสมอของน้ำหนักตัวสัตว์ลดลง (Kim and Cross, 2002 และ Cooper and Horbanczuk, 2004) เช่นเดียวกับ Waldroup *et al.* (2002) ที่รายงานว่า หากอาหารไก่กระตังมีความสมดุลของกรดอะมิโนน้อยลง ส่งผลต่อความสม่ำเสมอของน้ำหนักตัวไก่กระตังลดลง อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองพบว่า การเพิ่มระดับ DL-Met-OH ที่เสริมในอาหาร ไม่มีผลต่อการเพิ่มความสม่ำเสมอของฝูงได้

จากการศึกษาพบว่าอัตราการตายตลอดการเจริญเติบโตของไก่กระตังที่ได้รับอาหารขาดเมไทโอนีน ไม่แตกต่างจากกลุ่มที่เสริมเมไทโอนีน ซึ่งสอดคล้องกับ Scott *et al.* (1986) ที่รายงานว่า ไก่กระตังที่ได้รับอาหารขาดเมไทโอนีนนั้นมีสมรรถภาพการผลิตต่ำ แต่ไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราการตาย

ของไก่ อย่างไรก็ตามในช่วงแรก 1-21 วัน พบว่าอัตราการตายของไก่ในกลุ่มที่กินอาหาร DL-Met-OH ระดับต่ำสุดและสูงสุด มีอัตราสูงกว่ากลุ่มอื่น ๆ ทั้งนี้อาจเกิดจากปริมาณการกินอาหารและอัตราการเจริญเติบโตของไก่ในกลุ่มนี้ค่อนข้างสูง ซึ่ง Katz and Baker (1975) รายงานว่า อิทธิพลของระดับเมไทโอนีนในอาหารต่ออัตราการตาย จะต้องมีความที่มากเกินไป หรือปริมาณน้อยจนขาดความสมดุล ฉะนั้นอาจเป็นไปได้ว่าไก่กระตังมีความเสี่ยงต่อการเกิดโรค sudden death syndrome ซึ่งเป็นโรคที่เกี่ยวข้องกับความผิดปกติของกระบวนการเมแทบอลิซึม และมักเกิดขึ้นในไก่ที่เจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว มีอัตราการตายสูงสุดช่วง 3 สัปดาห์แรกของอายุ (Riddell and Springer, 1985) อย่างไรก็ตาม อัตราการตายในการทดลองครั้งนี้ยังคงอยู่ในช่วงปกติ (ต่ำกว่า 5 %)

2. อิทธิพลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อกต่อคุณภาพซาก

2.1 ผลต่อลักษณะซาก

จากการศึกษาผลของ DL-Met-OH ในอาหารที่ระดับต่าง ๆ ต่อคุณภาพซากของไก่กระตังที่อายุ 42 วัน แสดงในตารางที่ 12 โดยพบว่าเปอร์เซ็นต์ซากของไก่ในแต่ละกลุ่มทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เช่นเดียวกับผลของเปอร์เซ็นต์น้ำหนักระโปก น่อง ปีกบนและล่างที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากอาหารทดลอง ขณะที่เปอร์เซ็นต์น้ำหนักกล้ามเนื้อสันใน และสันนอก กล้ามเนื้อหน้าอก และส่วนที่เป็นเนื้อทั้งหมดของไก่กระตังได้รับอิทธิพลจากการเสริมเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อก โดยในกลุ่มที่ได้รับอาหารขาดเมไทโอนีนมีเปอร์เซ็นต์ต่ำกว่ากลุ่มอื่น ๆ ที่เสริมเมไทโอนีน ($P < 0.05$) และเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เนื้อทั้งหมด พบว่าไก่ในกลุ่มที่เสริมเมไทโอนีน 0.35/0.37 % สูงกว่ากลุ่มอื่น ๆ อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 48.11 % (คิดเป็น % ของน้ำหนักตัว)

จากผลการทดลองการเสริม DL-Met-OH ไม่ทำให้เกิดความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ซาก ไชมันช่องท้อง สะโปก น่อง และปีก ซึ่งสอดคล้องกับ Meirells *et al.* (2003) และ Wallis (1999) ที่รายงานว่าระดับของเมไทโอนีนที่เพิ่มขึ้น ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ซาก น่อง สะโปก หน้าอก แม้จะมีผลต่อการเพิ่มน้ำหนักตัว อย่างไรก็ตามพบว่าการเสริมเมไทโอนีนส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์เนื้อหน้าอก (ทั้งสันนอกและสันใน) และเปอร์เซ็นต์เนื้อทั้งหมด ซึ่งมีการตอบสนองสูงสุดที่ระดับของเมไทโอนีนในอาหารแตกต่างกัน (ตารางที่ 12) โดยไก่กระตังในกลุ่มที่เสริมเมไทโอนีน 0.33/0.32 % ให้เปอร์เซ็นต์เนื้อหน้าอกสูงกว่ากลุ่มอื่น แต่เมื่อพิจารณาการให้เปอร์เซ็นต์เนื้อสูงสุดอยู่ที่ระดับ 0.35/0.33 % ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณของ TSAA ที่

ไก่ในกลุ่มนี้ได้รับมีปริมาณสูงสุด (ตารางที่ 8) จากการศึกษาของ Wallis (1999) รายงานว่าการเสริม DL-Met-OH ในอาหารที่ขาดเมไทโอนีนทำให้เปอร์เซ็นต์เนื้อหน้าอกเพิ่มขึ้นตามระดับการเสริมที่เพิ่มขึ้น อาจเพราะเสริมในระดับที่ต่ำกว่าความต้องการของสัตว์ และจากการศึกษาของ Moran (1994) รายงานว่า กรดอะมิโน SAA สามารถกระตุ้นการสร้างเนื้อหน้าอกได้ดีกว่ากรดอะมิโนชนิดอื่น

ตารางที่ 12 แสดงผลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อกต่อคุณภาพซากของไก่กระทงที่อายุ 42 วัน

ลักษณะซาก (% น้ำหนักตัว)	เมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อก (%)				
	0 ^{1/}	0.32/0.30 ^{1/}	0.33/0.32 ^{1/}	0.35/0.33 ^{1/}	0.37/0.35 ^{1/}
เปอร์เซ็นต์ซาก	79.96±0.37	80.19±0.49	80.67±0.30	81.10±0.38	80.03±0.50
สะโพก	12.02±0.15	11.95±0.18	11.99±0.20	12.25±0.12	12.02±0.15
น่อง	10.38±0.12	10.14±0.16	10.20±0.14	10.49±0.15	10.11±0.23
ปีกบนและล่าง	8.07±0.12	8.10±0.11	7.99±0.09	8.15±0.11	7.99±0.12
กล้ามเนื้อสันใน	3.19±0.07 ^A	3.70±0.08 ^B	3.67±0.04 ^B	3.56±0.07 ^B	3.53±0.08 ^B
กล้ามเนื้อสันนอก	12.03±0.26 ^A	13.45±0.26 ^B	13.66±0.26 ^B	13.65±0.25 ^B	13.38±0.22 ^B
กล้ามเนื้อหน้าอก	15.21±0.29 ^A	17.15±0.29 ^B	17.33±0.29 ^B	17.22±0.28 ^B	16.91±0.27 ^B
เปอร์เซ็นต์เนื้อทั้งหมด	45.67±0.35 ^A	47.35±0.35 ^{BC}	47.52±0.35 ^{BC}	48.11±0.31 ^C	47.04±0.29 ^B
ไขมันช่องท้อง	2.10±0.12 ^A	1.69±0.08 ^B	1.81±0.12 ^{AB}	1.68±0.11 ^B	1.78±0.12 ^B

หมายเหตุ ^{A,B} และ ^C อักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01)

^{1/} ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

N = 18 ตัว/กลุ่มทดลอง

จากการศึกษาของ Hickling *et al* (1990) รายงานว่ากรดอะมิโนจำเป็นในอาหารที่เกินความต้องการเพื่อนำหนักตัวสูงสุดนั้น อาจเหมาะสมต่อการสร้างเนื้อหน้าอกสูงสุด โดยพบว่าความต้องการ TSAA ในการเพิ่มน้ำหนักสูงสุดนั้นต่ำกว่า (43.98 กรัม/ตัว) เมื่อเทียบกับการให้เปอร์เซ็นต์กล้ามเนื้อ (45.08 กรัม/ตัว) แสดงให้เห็นว่าความต้องการ TSAA เพื่อการให้ผลผลิตนั้นสูงกว่าการเจริญเติบโต สอดคล้องกับ Schutte and Pack (1995) ได้รายงานไว้ว่า ความต้องการ SAA สำหรับอัตราการผลิตอาหารเป็นน้ำหนักตัวและการให้เปอร์เซ็นต์เนื้อหน้าอก มีค่าสูงกว่าสำหรับการเพิ่มน้ำหนักตัวของไก่กระทง

2.2 ผลต่อการสะสมไขมันช่องท้อง

เมื่อพิจารณาผลของการเสริม DL-Met-OH ต่อการสะสมไขมันช่องท้องของไก่กระทง ที่อายุ 42 วัน ดังแสดงตารางที่ 12 พบว่าการเสริมเมไทโอนีนในอาหารทำให้เปอร์เซ็นต์ไขมันในช่องท้องลดลง โดยไก่กระทงที่ได้รับอาหารเสริมเมไทโอนีนทั้ง 3 ระดับ คือ 0.32/0.30 % 0.35/0.33 % และ 0.37/0.35 % มีเปอร์เซ็นต์ไขมันช่องท้องต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารขาดเมไทโอนีน แต่มีค่าไม่แตกต่างกับไก่ในกลุ่มเสริมเมไทโอนีน 0.33/0.32 % ($P>0.05$)

จากผลการเสริม DL-Met-OH ในอาหาร ทำให้ไขมันช่องท้องลดลง ซึ่งสอดคล้องกับ Mendonca and Jensen (1989) ได้รายงานว่าการเสริมกรดอะมิโน TSAA ในระดับที่เพิ่มขึ้นในอาหารไก่กระทง (โปรตีน 16-20%) ช่วงท้ายของการเลี้ยงนั้น ทำให้เกิดการสะสมของไขมันช่องท้องน้อยลง ซึ่งการเพิ่มปริมาณ TSAA โดยเสริมเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาโลคให้เกินความต้องการมีแนวโน้มทำให้คุณภาพซากให้ดีขึ้น และไขมันช่องท้องลดลง (ทัศนีย์, 2548) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าการเสริมกรดอะมิโนกลุ่ม SAA สามารถลดการสะสมไขมันในร่างกายได้ (Bunchasak *et al.*, 1997 และ Hickling *et al.* 1990) ฉะนั้นหากเสริมเมไทโอนีนในระดับที่เหมาะสมกับความต้องการ TSAA อาจทำให้ไก่กระทงสามารถใช้ประโยชน์จากเมไทโอนีนได้อย่างเต็มที่และส่งเสริมประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของพลังงาน เนื่องจากอัตราการสังเคราะห์โปรตีนที่สูงขึ้น นอกจากนี้ Schutte and Pack (1995) รายงานว่า ปริมาณ TSAA 0.82 % ในอาหาร สามารถลดเปอร์เซ็นต์ไขมันช่องท้อง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาครั้งนี้ ที่ระดับของ TSAA ในอาหารเสริมเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาโลค เท่ากับ 1.07/0.95 % (ระยะเล็ก/ระยะรุ่น) จึงช่วยปรับปรุงการสะสมไขมันช่องท้อง ขณะที่เพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์โปรตีน ซึ่งพิจารณาได้จากผลของการเสริม DL-Met-OH ต่อเปอร์เซ็นต์การสร้างเนื้อ

3. อิทธิพลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อกต่อการเกิดโรค ascites syndrome

3.1 ผลต่อลักษณะทางกายภาพของหัวใจแบบตัดขวาง

ผลของการเสริม DL-Met-OH ต่อการเกิดโรค ascites syndrome ในไก่กระທးช่วงอายุ 1-42 วัน ดังแสดงตารางที่ 13 พบว่าน้ำหนักหัวใจของไก่ในกลุ่มที่ได้รับอาหารขาดเมไทโอนีนมีน้ำหนักไม่แตกต่างกันทางสถิติกับกลุ่มที่เสริมเมไทโอนีนในทุกกระທး แต่เมื่อคืดน้ำหนักหัวใจเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว พบว่าไก่ที่ได้รับอาหารขาดเมไทโอนีนมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักหัวใจสูงกว่ากลุ่มที่เสริมเมไทโอนีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) และเมื่อทำการ cross section ศึกษาลักษณะภาพตัดขวางของหัวใจ พบว่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักห้องหัวใจล่างทั้งซ้ายและขวาของไก่ในกลุ่มที่ได้รับอาหารขาดเมไทโอนีน มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่เสริมเมไทโอนีน แต่อย่างไรก็ตามในการศึกษาลักษณะภาพตัดขวางของหัวใจ ไม่พบอิทธิพลของการเสริม DL-Met-OH ต่อน้ำหนักหัวใจห้องล่างขวาและซ้าย (คิดเป็นกรัม) พื้นที่หัวใจ (ห้องล่างขวาและซ้าย) ความหนาของผนังหัวใจ (ห้องล่างขวาและซ้าย)

ในการทดลองเพื่อศึกษาแนวโน้มของการเกิดโรค ascites ในไก่กระທး พบว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารขาดเมไทโอนีนมีเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักหัวใจมากกว่ากลุ่มที่เสริม DL-Met-OH และเมื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพของหัวใจโดยการทำการ cross section พบว่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักห้องหัวใจล่างขวาและซ้ายสูงกว่ากลุ่มอื่นเช่นกัน แต่ไม่พบอัตราการตายของไก่ในกลุ่มนี้ และอัตราการเจริญเติบโตต่ำกว่ากลุ่มที่เสริมเมไทโอนีน ซึ่ง Leeson *et al.* (1995) รายงานว่าในกรณีที่สัตว์ตายด้วยโรค ascites จะมีอัตราการตายสูงถึง 25% หรือมากกว่า และหากพบอัตราการตาย 5-12% ถือว่าปกติมากกว่า จากผลการทดลองอาจเป็นไปได้ว่า ระบบของกล้ามเนื้อหัวใจได้ถูกพัฒนาให้เจริญเต็มที่ในช่วงแรกของอายุ ซึ่งเป็นอวัยวะหลักที่สำคัญต่อการดำรงชีวิต และเมื่ออายุของไก่เพิ่มขึ้น ร่างกายเปลี่ยนมาเป็นการเจริญเติบโตของกล้ามเนื้อลาย (Julian, 2000) จึงเป็นผลให้สัดส่วนหัวใจของไก่กลุ่มที่เสริมเมไทโอนีนต่ำกว่า จากการศึกษาของ Maxwell *et al.* (1986) รายงานว่าการเกิด ascites ในไก่กระທးที่มีอัตราการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เกิดเนื่องจากการความต้องการใช้ออกซิเจนที่สูงตาม metabolic rate ที่เพิ่มขึ้น ถึงแม้ว่าในการทดลองนี้ไก่กระທးในกลุ่มที่เสริมเมไทโอนีน จะมีอัตราการเจริญเติบโตที่สูงกว่าไก่ที่ได้รับอาหารขาดเมไทโอนีน และมีอัตราการตายที่มากกว่าก็ตาม

การใช้โปรตีนในอาหารให้มีความสมดุลและคุณภาพดี เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่อาจลดความเสี่ยงของการเกิดโรค ascites โดยปกติร่างกายสัตว์มีการขับไนโตรเจนส่วนเกินออก ซึ่งต้องการใช้พลังงานหรือออกซิเจน (Leeson *et al.*, 1995) ดังนั้นการปรับลดระดับโปรตีนในอาหาร และรักษาสมดุลกรดอะมิโนที่จำเป็นไว้ อาจเป็นการลดความต้องการใช้ออกซิเจนลงได้ นอกจากนี้การให้อาหารที่พอเหมาะ กับอัตราการเจริญเติบโต เพื่อให้น้ำหนักตัวไม่สูงเกินไป (Arce *et al.*, 1992) เป็นอีกแนวทางในการลดความเสี่ยงต่อโรค ascites ได้ ในการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการเสริม DL-Met-OH ในอาหาร 0.32/0.30 และ 0.35/0.33 % หรือที่ค่า bioefficacy 88 และ 84 % นอกจากส่งเสริมสมรรถภาพการเจริญเติบโตและการให้ผลดีสูงแล้ว ยังไม่ส่งผลกระทบต่อให้เกิดโรค ascites แต่ทั้งนี้ค่าดัชนีต่างๆ ของลักษณะทางกายภาพของหัวใจ อาจไม่เพียงพอในการสรุปผล จึงต้องพิจารณาร่วมกับค่าดัชนีอื่นๆ ต่อไป

ตารางที่ 13 แสดงผลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อก ต่อลักษณะทางกายภาพของหัวใจแบบตัดขวางของไก่กระทองที่อายุ 42 วัน

ลักษณะทางกายภาพของหัวใจแบบตัดขวาง	เมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อก (%)				
	0 ^{1/}	0.32/0.30 ^{1/}	0.33/0.32 ^{1/}	0.35/0.33 ^{1/}	0.37/0.35 ^{1/}
น้ำหนักหัวใจ (กรัม)	12.39 ± 0.50	12.34 ± 0.32	12.40 ± 0.39	12.42 ± 0.43	12.67 ± 0.45
น้ำหนักหัวใจ (%น้ำหนักตัว)	0.52 ± 0.20 ^A	0.43 ± 0.10 ^B	0.45 ± 0.01 ^B	0.44 ± 0.01 ^B	0.46 ± 0.02 ^B
น้ำหนักหัวใจห้องล่างขวา (กรัม)	0.89 ± 0.04	0.99 ± 0.04	1.00 ± 0.06	0.94 ± 0.05	0.94 ± 0.05
น้ำหนักหัวใจห้องล่างซ้าย (กรัม)	5.33 ± 0.23	5.27 ± 0.18	5.47 ± 0.19	5.34 ± 0.27	5.50 ± 0.22
น้ำหนักหัวใจห้องล่างขวา (%น้ำหนักตัว)	0.041 ± 0.003 ^a	0.035 ± 0.002 ^b	0.037 ± 0.002 ^b	0.034 ± 0.002 ^b	0.037 ± 0.002 ^b
น้ำหนักหัวใจห้องล่างซ้าย (%น้ำหนักตัว)	0.222 ± 0.010 ^{ab}	0.188 ± 0.006 ^b	0.199 ± 0.006 ^b	0.191 ± 0.009 ^b	0.201 ± 0.008 ^b
สัดส่วนหัวใจห้องล่างขวาต่อล่างทั้งหมด	0.150 ± 0.004	0.153 ± 0.007	0.156 ± 0.008	0.159 ± 0.006	0.155 ± 0.008

หมายเหตุ ^A และ ^B อักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01)

^a และ ^b อักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

^{1/}ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

N = 18

ตารางที่ 13 แสดงผลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะลาคต่อลักษณะของหัวใจแบบตัดขวางของไก่กระทองที่อายุ 42 วัน (ต่อ)

ลักษณะทางกายภาพของหัวใจแบบตัดขวาง	เมไทโอนีนไฮดรอกซีอะลาค (%)				
	0 ^{1/}	0.32/0.30 ^{1/}	0.33/0.32 ^{1/}	0.35/0.33 ^{1/}	0.37/0.35 ^{1/}
ความหนาผนังหัวใจห้องล่างขวา (มม.)	0.232 ± 0.022	0.211 ± 0.016	0.204 ± 0.010	0.211 ± 0.015	0.237 ± 0.029
ความหนาผนังหัวใจห้องล่างซ้าย (มม.)	0.446 ± 0.023	0.478 ± 0.023	0.420 ± 0.022	0.434 ± 0.024	0.433 ± 0.019
พื้นที่หัวใจห้องล่างขวา (ตร.มม.)	77.65 ± 5.57	78.61 ± 6.27	78.28 ± 5.96	85.28 ± 6.08	83.89 ± 5.38
พื้นที่หัวใจห้องล่างซ้าย (ตร.มม.)	26.53 ± 1.91	25.94 ± 1.85	25.29 ± 1.55	27.94 ± 3.22	25.01 ± 2.00
พื้นที่หัวใจทั้งหมด (ตร.มม.)	368 ± 12.53	366 ± 15.48	365 ± 10.39	370 ± 15.10	379 ± 16.81

หมายเหตุ ^{1/}ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

N = 18

3.2 ผลต่อค่าอัดแน่นของเม็ดเลือดแดง (hematocrit)

จากตารางที่ 14 แสดงผลของ DL-Met-OH ต่อการอัดแน่นของเม็ดเลือดแดง (hematocrit) ของไก่กระทอง เพื่อศึกษาการเกิดโรค ascites พบว่าการเสริมเมไทโอนีนที่ระดับต่าง ๆ ในอาหารไม่ทำให้ค่าการอัดแน่นของเม็ดเลือดแดงมีความแตกต่างไปจากกลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริมเมไทโอนีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Maxwell *et al.* (1990) ได้ศึกษาถึงการเกิดสภาวะขาดออกซิเจน (hypoxia) ซึ่งนำไปสู่การเกิดโรค ascites รายงานว่าเมื่อร่างกายไก่เกิดสภาวะ hypoxia จะทำให้ค่าอัดแน่นของเม็ดเลือดแดง (packed cell volume; PCV) จำนวนเม็ดเลือดแดงมีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับค่าอัดแน่นของเม็ดเลือดแดงที่เพิ่มขึ้นนั้นทำให้ค่า blood viscosity หรือค่าความหนืดของกระแสเลือดที่สูงขึ้นจนเกิดสภาวะ pulmonary hypertension (Witzel *et al.*, 1990) อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่าอัดแน่นของเม็ดเลือดแดง ของไก่ทุกกลุ่มการทดลองในครั้งนี้ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ และยังมีค่าอยู่ในช่วงปกติคือ 25-39 % PCV (Maxwell *et al.*, 1990) ดังตารางที่ 13 แม้การศึกษาของ รัชฎาภรณ์ และคณะ (2548) ได้รายงานว่าการเสริมเมไทโอนีนต่อการเกิดโรค ascites ทำให้อัตราการเกิดโรค ascites ของไก่ที่ได้รับอาหารเสริมเมไทโอนีนสูงกว่ากลุ่มควบคุม (methionine deficiency) เพราะในการทดลองครั้งนี้ เลี้ยงไก่ในโรงเรือนระบบปิดที่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อม ซึ่งมีได้เหนียวนาให้อยู่ภายใต้สภาวะขาดออกซิเจนเนื่องจากสภาพแวดล้อม ดังนั้นอัตราการเจริญเติบโตตามพันธุ์กรรมจึงน่าเป็นปัจจัยหลัก

ตารางที่ 14 แสดงผลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อกต่อค่าการอัดแน่นของเม็ดเลือดแดง (%PCV) ในไก่กระทองในระยะรุ่น

ค่าการอัดแน่นของเม็ด เลือดแดง (%PCV ^{2/})	เมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อก (%)				
	0 ^{1/}	0.32/0.30 ^{1/}	0.33/0.32 ^{1/}	0.35/0.33 ^{1/}	0.37/0.35 ^{1/}
ระยะรุ่น	31.13 ± 0.74	31.63 ± 1.21	30.88 ± 1.07	31.50 ± 1.04	30.63 ± 1.32

หมายเหตุ ^{1/} ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{2/} %PCV = percentage of packed cell volume เป็นหน่วยวัดค่าอัดแน่นเม็ดเลือดแดง

N = 18 ตัว/กลุ่มทดลอง

3.3 ผลต่อระดับไทรอยด์ฮอร์โมน (T₃)

ผลการศึกษาระดับฮอร์โมนไตรไอโอโดไทโรนีน หรือไทรอยด์ (T₃) ในไก่อะเทศช่วงอายุ 1-21 วัน และ 22-42 วัน แสดงในตารางที่ 15 พบอิทธิพลของการเสริม DL-Met-OH ต่อระดับฮอร์โมน T₃ โดยในช่วงแรกไก่ที่ได้รับอาหารขาดเมไทโอนีนมีระดับ T₃ สูงกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเมไทโอนีน 0.32/0.30 % 0.35/0.33 % และ 0.37/0.35 % อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ยกเว้นระดับ T₃ ในกลุ่มที่เสริมเมไทโอนีน 0.33/0.32 % ที่ไม่แตกต่างทางสถิติกับกลุ่มที่ขาดเมไทโอนีน สำหรับในช่วงที่สองไม่พบความแตกต่างของระดับฮอร์โมนในไก่อะเทศแต่ละกลุ่มทดลอง (P>0.05)

จากผลการศึกษาผลของ DL-Met-OH ต่อระดับ T₃ ในช่วงที่สอง (22-42 วัน) แสดงให้เห็นว่าไก่อะเทศที่ได้รับอาหารเสริมเมไทโอนีนซึ่งมีการเจริญเติบโตดีกว่ากลุ่มที่ขาดเมไทโอนีน มีระดับ T₃ ไม่แตกต่างกัน อาจเพราะอัตราการเจริญเติบโตค่อนข้างคงที่ในช่วงท้ายของอายุ ซึ่งสอดคล้องกับ Carew (1997) ได้รายงานว่าการกินอาหารที่ไม่ได้เสริมเมไทโอนีน มีระดับ T₃ ในพลาสมาไม่แตกต่างกับกลุ่มที่ได้รับเมไทโอนีนเพียงพอตามความต้องการ ซึ่งปกติไทรอยด์ฮอร์โมนมีบทบาทในการควบคุมอัตราการเผาผลาญสารอาหารต่าง ๆ ในร่างกาย รวมถึงการผลิตความร้อนและการใช้พลังงาน ทำให้อัตราการเผาผลาญอาหารขึ้นพื้นฐานสูงขึ้น (Francis, 1983) ฮอร์โมน T₃ ยังเกี่ยวข้องกับการเกิดโรค ascites ซึ่งพบว่า ไก่อะเทศที่เป็นโรค ascites จะมีระดับฮอร์โมน T₃ ต่ำ และค่า hematocrit สูง (Olkowski and Classen, 1998) ซึ่งจากผลทดลองในช่วงแรก (1-21 วัน) จะเห็นได้ว่าการเสริม DL-Met-OH ที่ bioefficacy 88, 80 และ 76 % มีระดับ T₃ ค่อนข้างต่ำมาก และมีอัตราการตายสูงกว่ากลุ่มที่ขาดเมไทโอนีน ที่มีสมรรถภาพการเจริญเติบโตดีกว่า แต่มีระดับ T₃ ในเลือดสูง ซึ่งสอดคล้องกับ Decuyper et al. (1994) ได้รายงานว่าการเสริม T₃ ลงในอาหารไก่อะเทศทำให้สมรรถภาพการเจริญเติบโตของไก่อลดลง จึงเป็นที่น่าสังเกตว่าการเสริม DL-Met-OH ที่ bioefficacy 84 % นอกจากมีระดับ T₃ ใกล้เคียงกับกลุ่มที่ขาดเมไทโอนีน และอัตราการตายเท่ากับ 0 % แล้ว ยังพบว่ามีสมรรถภาพการผลิตไม่แตกต่างจากการเสริม DL-Met-OH ในอาหารที่ระดับอื่นๆ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า การเสริม DL-Met-OH ที่ bioefficacy 84 % สามารถลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรค ascites

ตารางที่ 15 แสดงผลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อกต่อระดับฮอร์โมนไทรอยด์ (T3) ใน
ปลาสมของไก่อะรงในระยะเล็กและระยะรุ่น

ระดับฮอร์โมน ไทรอยด์ (ng/dl)	เมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อก(%)				
	0 ^{1/}	0.32/0.30 ^{1/}	0.33/0.32 ^{1/}	0.35/0.33 ^{1/}	0.37/0.35 ^{1/}
ระยะเล็ก	86.75± 14.54 ^a	39.00± 4.02 ^c	77.83± 19.17 ^{ab}	43.14± 7.07 ^{bc}	50.00±5.73 ^{bc}
ระยะรุ่น	47.14± 4.07	36.50± 4.19	48.75± 7.97	41.25± 6.05	36.71± 4.39

หมายเหตุ ^{a, b} และ ^c อักษรต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

^{1/} ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

N = 8 ตัว/กลุ่มทดลอง

4. อิทธิพลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อกต่อระดับสารเมตาบอลิซึมในเลือด

4.1 ผลต่อกรดยูริกในพลาสมา

จากตารางที่ 16 แสดงผลของ DL-Met-OH ในอาหารที่ระดับต่าง ๆ ต่อความเข้มข้นของกรดยูริกในพลาสมาของไก่กระทงในระยะแรก และระยะรุ่น โดยพบว่าระดับกรดยูริกของไก่ทั้งสองระยะไม่แตกต่างกันทางสถิติอันเนื่องมาจากอาหารทดลองที่ต่างกันในแต่ละกลุ่ม แม้ว่ากลุ่มที่เสริมเมไทโอนีนจะมีแนวโน้มสูงกว่าก็ตาม

Okumura and Tasaki (1967) รายงานว่า ความเข้มข้นของกรดยูริกในเลือดที่สูงแสดงถึงขบวนการสลายโปรตีนออกจากร่างกายเพิ่มมากขึ้น ซึ่งปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการขับกรดยูริกออกจากร่างกาย ได้แก่ ระดับโปรตีนในอาหาร คุณภาพของโปรตีน และอัตราการเมตาบอลิซึมของโปรตีน อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาการเสริมเมไทโอนีนในอาหาร มีแนวโน้มทำให้ระดับกรดยูริกในพลาสมาสูงขึ้น ($P=0.07$) ในช่วงอายุ 22-42 วัน ทั้งนี้อาจเพราะอัตราการสังเคราะห์โปรตีนและการสร้างกล้ามเนื้อในช่วงนี้สูง จึงมีการหมุนเวียนการใช้โปรตีนและกรดอะมิโน จากการศึกษาของ Dibner and Ivey (1991) รายงานว่าการสะสมกรดยูริกในกระแสเลือดของไก่ในกลุ่มเสริม DL-Met-OH เพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนเป็น L-Met ที่ดี ทำให้น้ำกรดอะมิโนเมไทโอนีนไปใช้ได้ดี จึงมีกรดอะมิโนส่วนเกินและถูกเปลี่ยนเป็นกรดยูริก ส่งผลให้การเสริมเมไทโอนีนมียูริกในเลือดสูงกว่ากลุ่มที่ไม่เสริมเมไทโอนีน และอาจเป็นเพราะปริมาณโปรตีนที่ได้รับจากอาหาร แม้ว่าระดับโปรตีนในอาหารทดลองเท่ากันทุกกลุ่ม แต่ปริมาณการกินอาหารของไก่ในกลุ่มที่เสริม DL-Met-OH มีปริมาณมากกว่ากลุ่มขาดเมไทโอนีน ทำให้ไก่ในกลุ่มที่เสริม DL-Met-OH ได้รับปริมาณโปรตีนสูงตามปริมาณอาหารที่กิน จึงอาจทำให้ระดับยูริกในพลาสมามีแนวโน้มสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Machin *et al.* (2004) ได้รายงานว่ ปริมาณโปรตีนที่ได้รับเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อความเข้มข้นของกรดยูริกในพลาสมาที่สูงขึ้นในไก่กระทง

นอกจากนี้กรดยูริกยังมีบทบาทสำคัญในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดทีฟ (antioxidant) ปริมาณยูริกในเลือดสูง ๆ จะช่วยลดการเกิด oxidative stress ในสัตว์ที่มีอัตราการเจริญเติบโตสูง ๆ ได้ (Petzke *et al.*, 2000) ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดโรค ascites ฉะนั้นจากการศึกษารั้งนี้ แสดงให้เห็นว่า แนวโน้มของระดับกรดยูริกในพลาสมาสูงขึ้นของไก่กระทงที่เสริมด้วย DL-Met-OH อาจช่วยลด

สภาวะการเกิดโรค ascites อย่างไรก็ตามบทบาทของกรดยูริกต่อการเกิด oxidative stress ในสัตว์ปีกนั้น ยังเห็นผลไม่ชัดเจน (Waring *et al.*, 2001)

ตารางที่ 16 แสดงผลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อกต่อระดับกรดยูริกในพลาสมา (mg %) ของไก่กระทองช่วงระยะเล็ก และระยะรุ่น

ระดับกรดยูริก (mg %)	เมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อก (%)				
	0 ^{1/}	0.32/0.30 ^{1/}	0.33/0.32 ^{1/}	0.35/0.33 ^{1/}	0.37/0.35 ^{1/}
ระยะเล็ก	2.89 ± 0.93	2.95 ± 0.30	3.78 ± 0.76	5.26 ± 1.24	4.38 ± 1.29
ระยะรุ่น	2.90 ± 0.44	4.22 ± 0.81	5.35 ± 0.91	4.99 ± 0.75	4.66 ± 0.85

หมายเหตุ ^{1/} ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

N = 8 ตัว/กลุ่มทดลอง

4.2 ผลต่อไตรกลีเซอไรด์ และกรดไขมันอิสระในซีรัม (non-esterified fatty acid, NEFA)

ผลการศึกษาระดับไตรกลีเซอไรด์ในไก่กระทองที่ได้รับอาหารไม่เสริมเมไทโอนีน และเสริม DL-Met-OH ที่ระดับต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 17 ในระยะแรก 1-21 วัน พบว่า ระดับไตรกลีเซอไรด์ของไก่ที่ได้รับอาหารทดลองในแต่ละกลุ่ม มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) และเมื่อพิจารณาผลของการเสริมเมไทโอนีนต่อระดับ NEFA ในซีรัม ไม่พบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มเช่นเดียวกับระดับไตรกลีเซอไรด์ สำหรับในระยะรุ่น 22-42 วัน พบว่าไม่มีอิทธิพลของการขาดเมไทโอนีน และการเสริม DL-Met-OH ที่ระดับต่าง ๆ ในอาหารต่อระดับไตรกลีเซอไรด์ และ NEFA ในซีรัมของไก่กระทองให้เกิดความแตกต่างกันทางสถิติ

โดยปกติระดับไตรกลีเซอไรด์ในซีรัม เป็นตัวบ่งบอกถึงการขนส่งไตรกลีเซอไรด์จากตับไปยังเนื้อเยื่อไขมันอื่น ๆ ขณะที่การขนส่งไตรกลีเซอไรด์จากตับไปยัง Extra hepatic tissue จะอาศัยไลโปโปรตีนที่มีความหนาแน่นต่ำมาก (Very Low Density Lipoprotein; VLDL) (Hermier *et al.*, 1984) และความเข้มข้นของ NEFA จะตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานในอาหารอย่างรวดเร็ว (Van Saun, 2000) เพราะกรดไขมันอิสระเป็นแหล่งของพลังงานที่ร่างกายใช้ประโยชน์ เมื่อขาดพลังงาน อย่างไรก็ตามในการศึกษาครั้งนี้ไม่พบอิทธิพลของ DL-Met-OH ใน

อาหารต่อระดับไตรกลีเซอไรด์และ NEFA ในซีรัมของไก่กระทงทั้งสองช่วงอายุ อาจเป็นไปได้ว่าอาหารทดลองในแต่ละกลุ่มที่ไก่ได้รับ มีระดับพลังงานเท่ากัน คือ 3,100 kcal ME/kg (1-21 วัน) และ 3,200 kcal ME/kg (22-42 วัน) ซึ่งคำนวณในสูตรอาหารให้ตรงตามความต้องการของสายพันธุ์ และไม่มีการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานหรือการลดอาหาร ทำให้สัตว์ไม่จำเป็นต้องสลายไตรกลีเซอไรด์จากเนื้อเยื่อไขมัน

ตารางที่ 17 แสดงผลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อกต่อการลดไขมันอิสระ (NEFA) และไตรกลีเซอไรด์ในซีรัมของไก่กระทงช่วงระยะเล็ก และระยะรุ่น

	เมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อก (%)				
	0 ^{1/}	0.32/0.30 ^{1/}	0.33/0.32 ^{1/}	0.35/0.33 ^{1/}	0.37/0.35 ^{1/}
กรดไขมันอิสระ (mmole/l)					
ระยะเล็ก	0.34± 0.01	0.34±0.02	0.34±0.02	0.33± 0.02	0.37± 0.02
ระยะรุ่น	0.40± 0.01	0.38± 0.01	0.39± 0.01	0.41±0.01	0.40±0.01
ไตรกลีเซอไรด์ (mg/dl)					
ระยะเล็ก	43.53± 2.16	51.54±2.59	45.11± 3.58	48.25± 2.54	50.88±2.84
ระยะรุ่น	45.94± 3.36	41.56±3.41	41.89± 2.26	47.15±2.88	41.23± 2.84

หมายเหตุ ^{1/} ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

N = 8 ตัว/กลุ่มทดลอง

ซึ่งเห็นได้ปริมาณ NEFA ของไก่ทดลองในกลุ่มที่เสริมและไม่เสริมเมไทโอนีนมีค่าไม่แตกต่างกัน นอกจากนั้นระดับเมไทโอนีนที่เพิ่มขึ้นในอาหาร ก็ไม่ส่งผลต่อระดับไตรกลีเซอไรด์ และ NEFA ในซีรัม แต่อาจมีผลต่อการสังเคราะห์ไขมันในตับมากกว่า เช่นเดียวกับ Smith *et al.* (1983) ที่รายงานว่า การเสริมเมไทโอนีนทำให้เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ไขมันในตับมีปริมาณลดลง ซึ่งผลของการเสริม DL-Met-OH ในระดับที่สูงขึ้น ไม่ส่งผลต่อระดับไตรกลีเซอไรด์ NEFA ในซีรัมนั้น มีความสอดคล้องกับผลของ DL-Met-OH ต่อการสะสมไขมันช่องท้องที่มีแนวโน้มลดลง แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

การทดลองที่ 2

ผลการศึกษาการเสริมเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะลาคในอาหารไก่กระตัง ต่อการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหาร และกระบวนการเมแทบอลิซึมของไขมัน

1. อิทธิพลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะลาคต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต

ผลการศึกษาการเสริม DL-Met-OH ในอาหารต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตของไก่กระตังที่อายุ 14-21 วัน และ 35-42 วัน แสดงในตารางที่ 18 และ 19 ตามลำดับ พบว่า น้ำหนักตัวสิ้นสุด และน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นในช่วงแรกของไก่กระตังที่ได้รับอาหารขาดเมไทโอนีนมีน้ำหนักน้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเมไทโอนีนในทุกระดับ ($P < 0.01$) สำหรับอัตราการเจริญเติบโตต่อวันในกลุ่มที่ขาดเมไทโอนีนมีค่าต่ำกว่ากลุ่มที่เสริมเมไทโอนีนระดับ 0.33/0.32 % และ 0.35/0.33 % ($P < 0.05$) ขณะที่ไม่พบความแตกต่างของปริมาณอาหารที่กิน และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวระหว่างกลุ่มทดลอง ในช่วงที่สอง พบว่า ไก่กระตังที่ได้รับอาหารเสริม DL-Met-OH ในทุกระดับมีน้ำหนักตัวสิ้นสุดมากกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารขาดเมไทโอนีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่อย่างไรก็ตาม พบว่าการเสริม DL-Met-OH ไม่ทำให้น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน ปริมาณอาหารที่กิน และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว เกิดความแตกต่างจากกลุ่มที่ไม่เสริม DL-Met-OH

จากผลการทดลองพบว่า การเสริม DL-Met-OH ในอาหารไก่กระตังระยะ 14-21 วัน สามารถทำให้สมรรถภาพการเจริญเติบโตดีกว่ากลุ่มที่ขาดเมไทโอนีน ซึ่งสอดคล้องกับในการทดลองที่ 1 แต่สำหรับในช่วงระยะ 35-42 วัน ไม่พบอิทธิพลของเมไทโอนีนต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต ยกเว้นน้ำหนักตัวสิ้นสุด อาจเพราะน้ำหนักตัวในช่วงแรกสูงกว่ากลุ่มที่ไม่เสริมเมไทโอนีน จึงส่งผลในช่วงต่อมา ซึ่งจากการศึกษาของ Whitaker *et al.* (2002) ได้รายงานว่าการเสริมเมไทโอนีนในอาหารไก่กระตังในช่วงท้ายของอายุ ไม่ส่งผลต่อการเพิ่มสมรรถภาพการเจริญเติบโต ขณะที่การเสริมเมไทโอนีนในอาหารให้เกิดความสมดุลของกรดอะมิโนหรือให้ตรงความต้องการของไก่กระตัง มีบทบาทสำคัญในช่วงแรกของการเลี้ยง ซึ่งจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตและน้ำหนักไก่ที่เลี้ยงในช่วงถัดไป (Whitaker *et al.*, 2002) เช่นเดียวกับ Huyghebaert (1993) และ Rostagno and Barbosa (1995) ที่รายงานว่า การเพิ่มระดับเมไทโอนีนสามารถปรับปรุงน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นได้เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ขาดเมไทโอนีน จากผลของการเสริม DL-Met-OH ครั้งนี้ แสดงให้เห็นว่า สามารถปรับปรุงน้ำหนักตัวได้ถึง 18.7 % ในระยะเล็ก และ 9.0 % ในระยะรุ่น ซึ่งจะเห็นได้ว่าการตอบสนองต่อเมไทโอนีนในอาหาร ของไก่ระยะเล็ก มีผลกระทบมากกว่าระยะรุ่น

ตารางที่ 18 ผลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาไลต์ต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตของไก่กระทองช่วงอายุ 14-21 วัน

สมรรถภาพการเจริญเติบโต	เมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาไลต์ (%)				
	0 ^{1/}	0.32/0.30 ^{1/}	0.33/0.32 ^{1/}	0.35/0.33 ^{1/}	0.37/0.35 ^{1/}
น้ำหนักสิ้นสุด (กรัม/ตัว)	737 ± 9.86 ^A	850 ± 21.99 ^B	889 ± 13.58 ^B	879 ± 11.31 ^B	872 ± 14.37 ^B
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม/ตัว)	399 ± 7.65 ^a	404 ± 20.23 ^b	447 ± 9.06 ^b	438 ± 11.17 ^b	428 ± 10.79 ^b
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน)	56.97 ± 7.65 ^a	57.75 ± 2.89 ^{ab}	63.90 ± 1.29 ^c	62.62 ± 1.59 ^{bc}	61.19 ± 1.54 ^{abc}
ปริมาณการกินอาหาร (กรัม/ตัว)	889 ± 21.49	896 ± 22.40	901 ± 17.74	869 ± 16.76	915 ± 22.59
การเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว	2.23 ± 0.06	2.22 ± 0.06	2.02 ± 0.05	2.06 ± 0.08	2.15 ± 0.06

หมายเหตุ ^A และ ^B อักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01)

^{a, b} และ ^c อักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

^{1/}ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

N = 8

ตารางที่ 19 ผลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อกต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตของไก่กระทางช่วงอายุ 35-42 วัน

สมรรถภาพเจริญเติบโต	เมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อก (%)				
	0 ^{1/}	0.32/0.30 ^{1/}	0.33/0.32 ^{1/}	0.35/0.33 ^{1/}	0.37/0.35 ^{1/}
น้ำหนักสิ้นสุด (กรัม/ตัว)	2,110 ± 29.60 ^A	2,746 ± 27.82 ^B	2,636 ± 90.00 ^B	2,713 ± 42.76 ^B	2,682 ± 24.99 ^B
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม/ตัว)	641 ± 30.31	693 ± 20.78	705 ± 55.48	719 ± 34.06	679 ± 72.18
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/ตัว/วัน)	91.54 ± 4.33	98.89 ± 2.97	100.79 ± 7.92	102.79 ± 4.86	96.98 ± 10.31
ปริมาณการกินอาหาร (กรัม/ตัว)	1, 157 ± 57.77	1,049 ± 34.46	1,064 ± 59.97	1,030 ± 38.77	1,092 ± 60.79
การเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว	1.85 ± 0.16	1.53 ± 0.08	1.60 ± 0.18	1.47 ± 0.11	1.91 ± 0.44

หมายเหตุ ^A และ ^B อักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01)

^{1/}ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

N = 8

2. อิทธิพลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อกต่อสภาพความเป็นกรด-ด่างในระบบทางเดินอาหาร

จากผลของการเสริม DL-Met-OH ต่อความสภาพกรด-ด่างในอาหาร ระบบทางเดินอาหาร และมูลของไก่กระทง ที่ช่วงอายุ 14-21 วัน และ 35-42 วัน พบว่าการเสริม DL-Met-OH ในอาหาร ทดลอง ทำให้ค่า pH มีลดลงในทั้งสองระยะ ดังตารางที่ 20 โดยในระยะแรก 14-21 วัน อาหารที่เสริมเมไทโอนีน 0.37/0.35 % และ 0.32/0.30 % มีค่า pH ต่ำสุด เท่ากับ 5.68 และ 5.71 ตามลำดับ สำหรับอาหารระยะรุ่น 35-42 วัน พบว่าอาหารสูตรที่ไม่เสริมเมไทโอนีน มีค่า pH สูงกว่าอาหารเสริม DL-Met-OH ทุกระดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยอาหารที่ไม่เสริมเมไทโอนีน มีค่าเท่ากับ 5.78 ส่วนอาหารเสริม DL-Met-OH ที่ระดับ 0.32/0.30 % มีค่าเท่ากับ 5.67 และที่ระดับ 0.33/0.32 %, 0.35/0.33 % และ 0.37/0.35 % มีค่ารองลงมา เท่ากับ 5.65, 5.64 และ 5.61 ตามลำดับ

เมื่อศึกษาผลของ DL-Met-OH ต่อความเป็นกรด-ด่างในระบบทางเดินอาหาร คือ กระเพาะ แทะ กระเพาะบด ลำไส้เล็กส่วนต้น และลำไส้เล็กส่วนกลาง แสดงในตารางที่ 20 พบว่าการเสริมเมไทโอนีนในอาหารระยะเล็ก ไม่ทำให้ค่า pH ในส่วนของกระเพาะทะ กระเพาะบด ลำไส้เล็กส่วนต้น และลำไส้เล็กส่วนกลาง เกิดความแตกต่างทางสถิติกับกลุ่มที่ไม่เสริมเมไทโอนีนในอาหาร แต่พบว่าในระยะรุ่น ไก่กระทงที่ได้รับอาหารไม่เสริมเมไทโอนีน มีค่า pH ในกระเพาะบด ต่ำกว่าในกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเมไทโอนีน 0.35/0.33 % อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (3.98 และ 4.62 ตามลำดับ) ดังตารางที่ 19 สำหรับความเป็นกรด - ด่างในมูลของไก่ที่ได้รับอาหารทดลองทั้งสองระยะ ไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างกลุ่มการทดลอง (ตารางที่ 20)

ในการศึกษาผลของ DL-Met-OH ต่อสภาพความเป็นกรด-ด่างในอาหาร พบว่าการเสริมเมไทโอนีนมีผลทำให้ค่า pH ของอาหารลดลง หรือมีสภาพความเป็นกรดเพิ่มขึ้น เนื่องจากคุณสมบัติของ DL-Met-OH ที่มีค่า $pK_a = 3.86$ (Liu *et al.*, 2004) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับกรดฟอร์มิก ($pK_a = 3.75$) กรดอะซิติก ($pK_a = 4.76$) และกรดโพรพิโอนิก ($pK_a = 4.88$) โดยกรดอินทรีย์เหล่านี้ ถูกนำมาใช้เป็นแหล่งของ acidifier เพื่อช่วยปรับสมดุลกรด-ด่างให้เหมาะสมกับการทำงานของน้ำย่อย และควบคุมจำนวนจุลินทรีย์ในทางเดินอาหาร (Andrys *et al.*, 2003) แต่เมื่อพิจารณาค่า pH ในทางเดินอาหารของไก่กระทงในช่วงอายุ 1-21 วัน พบว่าไม่ได้รับอิทธิพลจากอาหารทดลอง แม้ว่าอาหารที่เสริมเมไทโอนีนมีค่า pH ต่ำลง ทั้งนี้อาจเพราะสภาพความเป็นกรดในอาหาร (pH มีค่าประมาณ 5.6 - 5.7) ที่ไม่ต่ำมากจนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่า pH

นอกจากนี้ร่างกายสัตว์มีการควบคุมสมดุลกรด-ด่างในระบบทางเดินอาหารให้เอนไซม์ทำงานได้ดีในสภาพที่ pH เหมาะสม หากสัตว์ได้รับอาหารที่มีสภาพเป็นกรดไม่มากนัก อาจกระตุ้นให้ตับอ่อนหลั่งสาร H_2CO_3 หรือกระเพาะหลั่ง HCl เพื่อปรับสมดุลกรด-ด่าง (Pichova and Kostka, 1990) โดยผลการศึกษาในครั้งนี้ สอดคล้องกับ Ribeiro *et al.* (2005) ซึ่งรายงานว่า การเสริมเมไทโอนีนในระดับต่าง ๆ ไม่ส่งผลต่อค่า pH ในลำไส้เล็ก แต่อย่างไรก็ตามในช่วง 22-42 วัน ไก่ที่ได้รับอาหารไม่เสริมเมไทโอนีนมีค่า pH ในกระเพาะบดต่ำกว่ากลุ่มที่เสริม ขณะที่การศึกษาของ Andrys *et al.* (2003) พบว่าการเสริมกรดฟอสฟอริก ทำให้ค่า pH ในกระเพาะลดลง ($pH = 2.22$) เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่เสริมกรดอินทรีย์ ($pH = 3.42$) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะปริมาณของกรดอินทรีย์ที่เสริมลงในอาหารมีปริมาณแตกต่างจากการทดลองครั้งนี้

ตารางที่ 20 แสดงผลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะโนลิตต่อค่า pH ในอาหาร ระบบทางเดินอาหาร และมูลของไก่กระตังในระยะเล็ก และระยะรุ่น

ค่า pH	เมไทโอนีนไฮดรอกซีอะโนลิต (%)				
	0 ^{1/}	0.32/0.30 ^{1/}	0.33/0.32 ^{1/}	0.35/0.33 ^{1/}	0.37/0.35 ^{1/}
ระยะเล็ก (14-21 วัน)					
อาหาร	5.78 ± 0.01 ^a	5.71 ± 0.02 ^{bc}	5.74 ± 0.02 ^{ab}	5.74 ± 0.02 ^{ab}	5.68 ± 0.02 ^c
กระเพาะแท้	3.48 ± 0.25	3.69 ± 0.28	4.21 ± 0.18	3.99 ± 0.31	4.28 ± 0.37
กระเพาะบด	3.52 ± 0.13	3.53 ± 0.26	3.89 ± 0.18	4.01 ± 0.12	4.01 ± 0.26
ลำไส้เล็กส่วนต้น	6.15 ± 0.06	6.04 ± 0.12	5.96 ± 0.08	6.16 ± 0.03	6.12 ± 0.09
ลำไส้เล็กส่วนกลาง	6.12 ± 0.05	6.18 ± 0.05	6.13 ± 0.04	6.19 ± 0.03	6.22 ± 0.04
มูล	5.69 ± 0.10	5.65 ± 0.04	5.65 ± 0.06	5.42 ± 0.08	5.60 ± 0.04
ระยะรุ่น (35-42 วัน)					
อาหาร	5.78 ± 0.00 ^a	5.67 ± 0.01 ^b	5.65 ± 0.01 ^{bc}	5.64 ± 0.01 ^c	5.61 ± 0.00 ^d
กระเพาะแท้	4.04 ± 0.19	4.57 ± 0.13	4.15 ± 0.24	4.44 ± 0.35	4.57 ± 0.31
กระเพาะบด	3.98 ± 0.15 ^b	4.31 ± 0.12 ^{ab}	4.29 ± 0.11 ^{ab}	4.62 ± 0.15 ^a	4.28 ± 0.16 ^{ab}
ลำไส้เล็กส่วนต้น	5.80 ± 0.16	5.67 ± 0.23	5.82 ± 0.08	5.98 ± 0.12	6.06 ± 0.09
ลำไส้เล็กส่วนกลาง	5.86 ± 0.09	6.25 ± 0.19	6.22 ± 0.09	6.36 ± 0.09	6.15 ± 0.14
มูล	5.66 ± 0.07	5.64 ± 0.05	5.65 ± 0.07	5.59 ± 0.06	5.55 ± 0.05

หมายเหตุ ^{a, b, c} และ ^d อักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

^{1/} ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

N = 8 ตัว/กลุ่มทดลอง

3. อิทธิพลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะลาคทอลต่อลักษณะอวัยวะภายในช่องท้อง

3.1 ผลต่อน้ำหนักอวัยวะภายใน

จากตารางที่ 21 แสดงผลของ DL-Met-OH ต่อน้ำหนักอวัยวะภายในช่องท้องของไก่ กระทั่งช่วงอายุ 14-21 วัน โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว พบว่าไก่กระทั่งที่ได้รับอาหารขาดเมไทโอนีนมีน้ำหนักอวัยวะภายในช่องท้อง ได้แก่ กระเพาะแท้ กระเพาะบด ลำไส้เล็กส่วนต้น กลาง และปลาย ไส้ติ่ง ไส้ตรง และม้าม ไม่แตกต่างจากกลุ่มที่เสริมเมไทโอนีนในทุกระดับ ยกเว้นน้ำหนักตับอ่อน โดยพบว่าไก่ในกลุ่มที่ได้รับอาหารขาดเมไทโอนีน มีเปอร์เซ็นต์สูงกว่ากลุ่มที่เสริมเมไทโอนีน ($P < 0.05$) แต่อย่างไรก็ตาม ระดับของการเสริมเมไทโอนีนที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อน้ำหนักตับอ่อน

เมื่อพิจารณาในช่วงอายุ 35-42 วัน ดังตารางที่ 22 ไม่พบอิทธิพลของการเสริมเมไทโอนีนในอาหารต่อน้ำหนักอวัยวะภายในของไก่กระทั่ง ยกเว้นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักไส้ตรง พบว่ามีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มที่ได้รับอาหารขาดเมไทโอนีน (0.17 %) และกลุ่มที่เสริมเมไทโอนีนในระดับ 0.37/0.35 % (0.15 %) ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ต่ำกว่า อย่างมีสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

Neoh and NG (2004) รายงานว่า การทำงานของระบบทางเดินอาหารมีบทบาทสำคัญต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตของไก่กระทั่ง โดยพบว่าน้ำหนักอวัยวะภายในที่เบาขึ้นนั้น ส่งผลต่อประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวดีขึ้น และสรุปไว้ว่าการลดความเข้มข้นของโภชนะหรือการใช้วัตถุดิบคุณภาพต่ำ มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักอวัยวะภายในที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวด้อยลง เนื่องจากสัตว์กินอาหารมากขึ้นเพื่อได้รับสารอาหารที่เพียงพอแต่ไม่อาจทำให้น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น จึงส่งผลกระทบต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว ซึ่งสอดคล้องกับ Chediack *et al.* (2005) รายงานว่า การเสริมเมไทโอนีนให้เพียงพอต่อความต้องการของสัตว์ปีก ทำให้ขนาดของลำไส้เล็กส่วนกลางที่ใช้ในการดูดซึมเมไทโอนีนมีขนาดเล็ก เพราะได้รับสารอาหารเพียงพอ ในทางตรงกันข้าม ถ้าสัตว์ขาดเมไทโอนีนหรือได้รับเมไทโอนีนไม่เพียงพอต่อความต้องการ มีผลทำให้ร่างกายสัตว์ต้องเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซึมโดยการเพิ่มขนาดของลำไส้เล็ก นอกจากนี้การจำกัดอาหารเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อน้ำหนักอวัยวะภายในสูงขึ้น (Zubair and Lesson, 1994)

สำหรับการทดลองครั้งนี้ พบว่าการขาดเมไทโอนีนในช่วงแรกของอายุทำให้ตับอ่อนมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับการเสริมเมไทโอนีน ทั้งนี้อาจเพราะสัตว์มีความต้องการที่จะย่อยและดูดซึมสารอาหารให้มากที่สุดเพื่อเพียงพอต่อการนำไปใช้ประโยชน์ในร่างกาย จึงต้องผลิตเอนไซม์มากขึ้น ส่งผลให้ตับอ่อนมีขนาดโต ซึ่งสอดคล้องกับ Harry *et al.* (2002) ที่รายงานว่า อาหารขาดสมดุลกรดอะมิโนทำให้น้ำหนักตับอ่อนเพิ่มขึ้น ขณะที่ Tan (1999) รายงานไว้ว่า การกินอาหารที่มีกรดอะมิโนไม่สมดุล ไม่มีผลกระทบต่อน้ำหนักอวัยวะภายใน เช่นเดียวกับผลการทดลอง ซึ่งอวัยวะภายในระบบทางเดินอาหารของไก่กระทงที่ได้รับอาหารที่เสริมเมไทโอนีน มีน้ำหนักไม่แตกต่างจากกลุ่มที่ได้รับอาหารขาดเมไทโอนีนในทั้งระยะแรก และระยะรุ่น ทั้งนี้เพราะการเจริญเติบโตของกล้ามเนื้อเรียบ และกล้ามเนื้อลาย อวัยวะภายในระบบทางเดินอาหาร มีความสำคัญต่อการอยู่รอดของสัตว์ ซึ่งมีการพัฒนาอย่างเต็มที่ก่อน จึงเป็นผลให้ไก่กระทงมีน้ำหนักอวัยวะภายในไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 21 แสดงผลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อกต่อน้ำหนักอวัยวะภายในของไก่กระทงระยะเล็ก (% น้ำหนักตัว)

น้ำหนักอวัยวะภายใน (% น้ำหนักตัว)	เมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อก(%)				
	0 ^{1/}	0.32/0.30 ^{1/}	0.33/0.32 ^{1/}	0.35/0.33 ^{1/}	0.37/0.35 ^{1/}
กระเพาะแท้	2.15 ± 0.12	2.08 ± 0.11	1.84 ± 0.08	1.80 ± 0.09	2.10 ± 0.34
กระเพาะบด	0.67 ± 0.03	0.57 ± 0.03	0.59 ± 0.02	0.57 ± 0.02	0.56 ± 0.02
ลำไส้เล็กส่วนต้น	0.84 ± 0.05	0.83 ± 0.05	0.80 ± 0.06	0.75 ± 0.07	0.84 ± 0.05
ลำไส้เล็กส่วนกลาง	1.89 ± 0.15	1.77 ± 0.12	1.57 ± 0.14	1.64 ± 0.09	1.67 ± 0.08
ลำไส้เล็กส่วนปลาย	1.52 ± 0.09	1.35 ± 0.04	1.41 ± 0.05	1.42 ± 0.07	1.37 ± 0.05
ไส้ติ่ง	0.67 ± 0.04	0.60 ± 0.02	0.62 ± 0.05	0.62 ± 0.05	0.57 ± 0.03
ไส้ตรง	0.25 ± 0.02	0.26 ± 0.03	0.26 ± 0.01	0.24 ± 0.02	0.26 ± 0.02
ม้าม	0.10 ± 0.01 ^a	0.13 ± 0.01 ^b	0.10 ± 0.01 ^a	0.12 ± 0.01 ^{ab}	0.13 ± 0.01 ^b
ตับอ่อน	0.41 ± 0.01 ^A	0.34 ± 0.01 ^B	0.33 ± 0.01 ^B	0.32 ± 0.01 ^B	0.32 ± 0.02 ^B

หมายเหตุ ^A และ ^B อักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01)

^a และ ^b อักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

^{1/} ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

N = 8 ตัว/กลุ่มทดลอง

ตารางที่ 22 แสดงผลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะลาคคือน้ำหนักอวัยวะภายในของไก่กระทาง
ระยะรุ่น (% น้ำหนักตัว)

น้ำหนักอวัยวะภายใน (% น้ำหนักตัว)	เมไทโอนีนไฮดรอกซีอะลาคคือน้ำหนักอวัยวะภายใน (%)				
	0 ^{1/}	0.32/0.30 ^{1/}	0.33/0.32 ^{1/}	0.35/0.33 ^{1/}	0.37/0.35 ^{1/}
กระเพาะแท้	1.27 ± 0.08	1.07 ± 0.07	1.00 ± 0.07	1.01 ± 0.06	1.12 ± 0.06
กระเพาะบด	0.47 ± 0.02	0.44 ± 0.03	0.41 ± 0.03	0.39 ± 0.02	0.42 ± 0.02
ลำไส้เล็กส่วนต้น	0.54 ± 0.04	0.45 ± 0.02	0.48 ± 0.04	0.52 ± 0.04	0.44 ± 0.02
ลำไส้เล็กส่วนกลาง	1.18 ± 0.04	1.09 ± 0.04	1.02 ± 0.04	1.18 ± 0.04	1.06 ± 0.05
ลำไส้เล็กส่วนปลาย	0.39 ± 0.03	0.92 ± 0.02	0.87 ± 0.03	0.86 ± 0.03	0.91 ± 0.04
ไส้ติ่ง	0.43 ± 0.03	0.39 ± 0.03	0.39 ± 0.02	0.36 ± 0.02	0.38 ± 0.03
ไส้ตรง	0.17 ± 0.01 ^a	0.17 ± 0.01 ^{ab}	0.16 ± 0.01 ^{ab}	0.16 ± 0.01 ^{ab}	0.15 ± 0.01 ^b
ม้าม	0.16 ± 0.01 ^a	0.12 ± 0.01 ^b	0.15 ± 0.01 ^{ab}	0.13 ± 0.01 ^{ab}	0.14 ± 0.01 ^{ab}
ตับอ่อน	0.25 ± 0.02	0.20 ± 0.01	0.21 ± 0.01	0.21 ± 0.01	0.21 ± 0.01

หมายเหตุ ^a และ ^b อักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

^{1/} ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

N = 8 ตัว/กลุ่มทดลอง

4. อิทธิพลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อกต่อการสะสมแร่ธาตุในกระดูก

จากตารางที่ 23 แสดงผลของ DL-Met-OH ต่อการสะสมแคลเซียม และฟอสฟอรัสในกระดูก tibia ของไก่กระทงระยะรุ่น 35-42 วัน พบว่าไก่ที่ได้รับอาหารขาดเมไทโอนีน มีน้ำหนักกระดูกต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเมไทโอนีนในทุกระดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และมีปริมาณแคลเซียม (คิดเป็นกรัม) ต่ำกว่ากลุ่มที่เสริมเมไทโอนีน 0.32/0.30 % 0.33/0.32 % และ 0.35/0.33 % ($P < 0.05$) อย่างไรก็ตามเมื่อคิดปริมาณแคลเซียมเป็นเปอร์เซ็นต์ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละกลุ่มการทดลอง

สำหรับผลของ DL-Met-OH ต่อปริมาณฟอสฟอรัสในกระดูกไก่กระทงช่วงอายุนี้ พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสของไก่ที่ได้รับอาหารเสริมเมไทโอนีน 0.32/0.30 % 0.33/0.32 % และ 0.35/0.33 % มีค่าสูงกว่าในกลุ่มที่ได้รับอาหารขาดเมไทโอนีน ($P < 0.05$) แต่เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัส ไม่พบความต่างระหว่างกลุ่มทดลองเช่นเดียวกับเปอร์เซ็นต์แคลเซียม ในการทดลองครั้งนี้ได้ศึกษาอิทธิพลของ DL-Met-OH ต่อความแข็งแรงของกระดูก พบว่าการไม่เสริมเมไทโอนีน และเสริมเมไทโอนีนในอาหารที่ระดับต่าง ๆ ไม่มีผลทำให้เกิดความแตกต่างของความแข็งแรงกระดูกในแต่ละกลุ่มทดลอง

ในกรณีที่ไก่กระทงมีอัตราการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว นอกจากเกิดปัญหาเกี่ยวกับโรค ascites แล้ว ยังพบปัญหาการพัฒนาโครงสร้างกระดูก โดยเฉพาะส่วนขาที่ต้องรองรับน้ำหนักตัว ดังนั้นหากการพัฒนาของกระดูกไม่เต็มที่ในช่วงแรกของอายุไก่กระทง ซึ่งอาจนำไปสู่กระดูกที่ไม่แข็งแรง และส่งผลกระทบต่อสัตว์ในช่วงอายุมาก เนื่องจากเริ่มมีการสะสมไขมันและกล้ามเนื้อ จากการทดลองครั้งนี้การเสริม DL-Met-OH ในอาหาร ทำให้ปริมาณแคลเซียมและฟอสฟอรัสในกระดูก tibia เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะน้ำหนักกระดูก tibia ของไก่กระทงที่ได้รับอาหารเสริมเมไทโอนีนหนักกว่ากลุ่มที่ไม่เสริม ซึ่งเป็นผลจากการเจริญเติบโตที่ดีและน้ำหนักตัวสูง จึงต้องมีโครงสร้างกระดูกที่สามารถรองรับได้ดี

ตารางที่ 23 แสดงผลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อกต่อการสะสมแคลเซียมและฟอสฟอรัสในกระดูกน่อง (tibia) ของไก่กระทุงระยะรุ่น

ลักษณะที่ศึกษา	เมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อก(%)				
	0 ^{1/}	0.32/0.30 ^{1/}	0.33/0.32 ^{1/}	0.35/0.33 ^{1/}	0.37/0.35 ^{1/}
น้ำหนักกระดูก (กรัม)	12.29±0.51 ^A	15.24±0.48 ^B	15.18±0.59 ^B	15.39±0.43 ^B	14.60±0.68 ^B
แคลเซียม (กรัม)	2.23±0.14 ^a	2.74±0.16 ^b	2.72±0.10 ^b	2.78±0.10 ^b	2.57±0.19 ^b
แคลเซียม (%)	18.07±0.59	17.93±0.84	18.09±0.70	18.21±0.57	17.54±0.89
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (กรัม)	1.34±0.06 ^a	1.61±0.05 ^b	1.59±0.06 ^b	1.67±0.05 ^b	1.51±0.07 ^b
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)	10.93±0.42	10.44±0.10	10.52±0.13	10.85±0.11	10.38±0.37
ความแข็งของกระดูก (kgf) ^{2/}	104.08±6.46	128.31±9.71	114.17±13.01	104.85±8.81	120.00±9.31

หมายเหตุ ^A และ ^B อักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01)

^a และ ^b อักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

^{1/} ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{2/} kgf= kilogram force หน่วยในการวัดค่าความแข็งของกระดูก

N = 8 ตัว/กลุ่มทดลอง

Mchenry and George (1963) ได้รายงานไว้ว่า แคลเซียมและฟอสฟอรัส เป็นองค์ประกอบหลักที่มีบทบาทต่อความแข็งแรงของกระดูก อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาความแข็งแรงของกระดูก tibia ไม่พบอิทธิพลของการเสริม DL-Met-OH ในระดับต่าง ๆ อาจเป็นเพราะเปอร์เซ็นต์ของแคลเซียมและฟอสฟอรัสในกระดูกไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละกลุ่มทดลอง ซึ่งสอดคล้องกับ Silva and Moraes (2002) ซึ่งรายงานไว้ว่า การเสริมเมไทโอนีนในอาหารไก่กระทุง ไม่มีผลต่อการสะสมฟอสฟอรัสในกระดูก และจากการศึกษาของ Skinner *et al.* (1991) ได้รายงานไว้ว่า การเพิ่มระดับของกรดอะมิโนในอาหารสามารถเพิ่มความยาวของกระดูก tibia ได้ แต่ไม่มีผลต่อความแข็งแรงของกระดูก tibia และยังส่งผลเสียต่ออัตราการสะสมแคลเซียมลดลงอีกด้วย เช่นเดียวกับผลการทดลองครั้งนี้ การเสริม DL-Met-OH ไม่ส่งผลต่อความแข็งแรงกระดูก แต่มีผลต่อน้ำหนักกระดูกที่เพิ่มขึ้น

5. อิทธิพลของเมทไธโอนีนไฮดรอกซีอะนาลอกต่อการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหาร

5.1 ผลต่อองค์ประกอบทางเคมีในมูล

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการเสริม DL-Met-OH ที่ระดับต่าง ๆ ในอาหารต่อองค์ประกอบทางเคมีในมูลของไก่กระทงที่ช่วงอายุ 35-42 วัน แสดงในตารางที่ 24 โดยพบว่าไก่ที่ได้รับอาหารเสริมเมไทโอนีน 0.35/0.33 % มีปริมาณมูลเท่ากับ 1132.94 กรัม/ตัว ซึ่งมีความมากกว่ากลุ่มที่ไม่เสริมเมไทโอนีน และเสริมเมไทโอนีน 0.33/0.32 % และ 0.37/0.35 % อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ขณะที่ไม่พบความแตกต่างจากกลุ่มเสริมเมไทโอนีน 0.32/0.30 % ในอาหารทดลอง

เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ความชื้นและวัตถุแห้งในมูล พบว่ามีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มทดลอง โดยไก่ในกลุ่มที่เสริมเมไทโอนีน 0.35/0.33 % มีเปอร์เซ็นต์ความชื้นสูงกว่ากลุ่มที่เสริมในระดับ 0.33/0.32 % (เท่ากับ 73.40 % และ 68.58 % ตามลำดับ) จึงทำให้เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งในกลุ่มเสริมเมไทโอนีน 0.35/0.33 % มีค่าต่ำกว่ากลุ่มเสริมในระดับ 0.33/0.32 % (เท่ากับ 26.60 % และ 31.42 % ตามลำดับ) ($P < 0.05$) และพบอิทธิพลของ DL-Met-OH ต่อเปอร์เซ็นต์เถ้าโปรตีน และฟอสฟอรัสทั้งหมด ดังตารางที่ 24 ซึ่งไก่ในกลุ่มเสริม DL-Met-OH 0.35/0.33 % ในอาหาร มีค่าต่ำกว่ากลุ่มทดลองอื่น ๆ ($P < 0.05$) อย่างไรก็ตามการเสริม DL-Met-OH ไม่มีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์ไขมันและแคลเซียม

แม้ว่าจากผลการทดลองการเสริม DL-Met-OH ต่อปริมาณอาหารที่กินของไก่กระทงในการทดลองที่ 2 พบว่าในกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเมไทโอนีน ไก่กินอาหารไม่แตกต่างจากกลุ่มที่ขาดเมไทโอนีน แต่เมื่อพิจารณาปริมาณมูล (กรัม/ตัว) กลับมีแนวโน้มที่สูงขึ้น ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากสัดส่วนของน้ำที่มีอยู่ในมูล ซึ่งสอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นในมูลที่เพิ่มขึ้นในกลุ่มเสริมเมไทโอนีน อาจเพราะไก่ในกลุ่มนี้กินน้ำมากเนื่องจากปริมาณอาหารที่กินได้มากกว่ากลุ่มขาดเมไทโอนีน สอดคล้องกับ Aviagen (2004) ที่รายงานว่า การเพิ่มขึ้นของโปรตีนในอาหาร 1 % ทำให้สัตว์ต้องการน้ำเพิ่มขึ้น 3 % สาเหตุเกิดจากการใช้กากถั่วเหลืองเพิ่มทำให้ปริมาณโพแทสเซียมในอาหารสูง เป็นผลให้สัตว์กินน้ำเพิ่มและเหนี่ยวนำให้มีการขับความชื้นในมูลมากขึ้น

ตารางที่ 24 แสดงผลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะลาคีอ์ต่อองค์ประกอบทางเคมีในมูลของไก่กระทุงระยะรุ่น

องค์ประกอบทางเคมีในมูล	เมไทโอนีนไฮดรอกซีอะลาคีอ์(%)				
	0 ^{1/}	0.32/0.30 ^{1/}	0.33/0.32 ^{1/}	0.35/0.33 ^{1/}	0.37/0.35 ^{1/}
ปริมาณมูล (กรัม/ตัว)	830.94 ± 53.12 ^A	1,042.88 ± 50.83 ^{ABC}	834.64 ± 68.01 ^A	1,132.94 ± 59.67 ^B	944.58 ± 69.10 ^B
ความชื้น (%)	69.70 ± 2.11 ^{ab}	71.40 ± 0.97 ^{ab}	68.58 ± 1.21 ^b	73.40 ± 0.80 ^a	70.18 ± 0.92 ^{ab}
วัตถุแห้ง (%)	30.30 ± 2.11 ^{ab}	28.60 ± 0.97 ^{ab}	31.42 ± 1.21 ^b	26.60 ± 0.80 ^a	29.82 ± 0.92 ^{ab}
เถ้า (%)	4.29 ± 0.35 ^{ab}	4.43 ± 0.16 ^{ab}	4.90 ± 0.20 ^b	4.19 ± 0.13 ^a	4.75 ± 0.18 ^{ab}
โปรตีน (%)	11.69 ± 1.04 ^b	10.51 ± 0.58 ^b	10.74 ± 0.42 ^b	8.52 ± 0.41 ^a	10.87 ± 0.60 ^b
ไขมัน (%)	0.78 ± 0.15	0.69 ± 0.18	0.77 ± 0.19	0.82 ± 0.18	0.70 ± 0.19
แคลเซียม (%)	1.12 ± 0.08	1.06 ± 0.06	1.11 ± 0.03	1.03 ± 0.06	1.13 ± 0.05
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)	0.67 ± 0.04 ^b	0.72 ± 0.04 ^{bc}	0.79 ± 0.05 ^c	0.50 ± 0.05 ^a	0.62 ± 0.02 ^b

หมายเหตุ ^{A, B} และ ^C อักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01)

^{a, b} และ ^c อักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

^{1/}ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

N = 8

ซึ่งขัดแย้งกับเนติกันต์ (2549) ได้รายงานว่าการเสริม DL-Met-OH ในอาหารไก่กระທง ทำให้มีเถ้าในมูลสูงกว่าการเสริม DL-Met และกลุ่มขาดเมไทโอนีน นอกจากนี้การเสริม DL-Met มีผลทำให้โปรตีนในมูลต่ำกว่ากลุ่มที่เสริม DL-Met-OH และกลุ่มที่ไม่เสริมเมไทโอนีน อาจเนื่องมาจากอัตรา การดูดซึมโปรตีนและกรดอะมิโนไปใช้ประโยชน์ได้ต่างกัน ซึ่งจากการทดลอง พบว่า การเสริมเมไทโอนีนที่ระดับ 0.35/0.33 % (bioefficacy 84 %) มีปริมาณเถ้า โปรตีน และฟอสฟอรัสในมูลต่ำกว่ากลุ่มอื่น ๆ อาจเป็นไปได้ว่าการเสริมเมไทโอนีนในระดับนี้ สามารถส่งเสริมการใช้ประโยชน์ของโปรตีน และแร่ธาตุได้

5.2 ผลต่อการใช้ประโยชน์ของสารอาหารในมูล

ก. การใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีน และไขมัน

จากการศึกษาผลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อกต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีน ในไก่กระທงช่วงระยะรุ่น 35-42 วัน แสดงในตารางที่ 25 พบว่าไก่ในกลุ่มที่ขาดเมไทโอนีน และกลุ่มที่เสริมเมไทโอนีน มีปริมาณโปรตีนที่กิน ปริมาณโปรตีนที่ขับออก และการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีนไม่แตกต่างกันทางสถิติ เช่นเดียวกับผลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อกต่อปริมาณไขมันที่กิน ปริมาณไขมันที่ขับออก และการใช้ประโยชน์ได้ของไขมันของไก่กระທงในระยะรุ่น ซึ่งพบว่าไม่ได้รับอิทธิพลจากอาหารในแต่ละกลุ่มทดลอง ดังตารางที่ 25

ในกรณีที่สัตว์ได้รับอาหารขาดกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย หรือได้รับไม่เพียงพอต่อความต้องการเพื่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิต จะส่งผลให้เกิดการจำกัดการใช้ประโยชน์ของโปรตีนและกรดอะมิโน (Hiramoto *et al.*, 1990) ดังนั้นการเสริมเมไทโอนีนทำให้เพิ่มการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีน สอดคล้องกับ Meirelles *et al.*, (2003), Hickling *et al.*, (1990) และ Van Weerden *et al.*, (1983) ซึ่งรายงานว่าการเสริมเมไทโอนีนในอาหารไก่กระທง ทำให้การใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีนในร่างกายเพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากอิทธิพลของเมไทโอนีน ซึ่งเป็นกรดอะมิโนเริ่มต้นในการสังเคราะห์โปรตีน ทำให้ร่างกายมีการสังเคราะห์โปรตีนมากขึ้น ส่งผลต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีนในร่างกายเพิ่มขึ้น แต่จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่าไก่ในกลุ่มขาดเมไทโอนีนมีการใช้ประโยชน์ของโปรตีนไม่แตกต่างจากกลุ่มเสริม DL-Met-OH ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณอาหารที่กินไม่ต่างและระดับโปรตีนในอาหารเท่ากัน ทำให้ปริมาณโปรตีนที่ไก่กระທงได้รับไม่ต่างกัน เพราะค่าการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีนในที่นี้ คำนวณจากสารอาหารที่กินเข้าไปและที่ขับออก

สำหรับผลของ DL-Met-OH ต่อการใช้ประโยชน์ได้ของไขมัน ไม่พบอิทธิพลของการเสริมเมไทโอนีนในอาหาร ซึ่งจากการศึกษาของ Mendonca and Jensen (1989) รายงานว่า การเสริมเมไทโอนีน ทำให้การใช้ประโยชน์ได้ของไขมันในร่างกายลดลง ในขณะที่การขาดเมไทโอนีน ส่งผลกระตุ้นการใช้ประโยชน์จากไขมันเพิ่มขึ้น

ข. การใช้ประโยชน์ได้ของแคลเซียม และฟอสฟอรัส

จากการศึกษาผลของ DL-Met-OH ต่อการใช้ประโยชน์ได้ของแคลเซียม ในไก่กระทองช่วงระยะรุ่น 35-42 วัน แสดงในตารางที่ 26 พบว่าไก่ในกลุ่มที่ขาดเมไทโอนีนและกลุ่มที่เสริมเมไทโอนีน มีปริมาณแคลเซียมที่กิน ปริมาณแคลเซียมที่ขับออก และการใช้ประโยชน์ได้ของแคลเซียมไม่แตกต่างกันทางสถิติ สำหรับผลของ DL-Met-OH ต่อการใช้ประโยชน์ได้ของฟอสฟอรัสของไก่กระทองในระยะรุ่น พบว่าไก่ที่ได้รับอาหารเสริมเมไทโอนีน และกลุ่มที่ได้รับอาหารขาดเมไทโอนีน มีปริมาณฟอสฟอรัสที่กินไม่แตกต่างกันทางสถิติ ขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัสที่ขับออกของไก่ที่ได้รับอาหารเสริมเมไทโอนีน 0.37/0.35 % และ 0.35/0.33 % มีปริมาณสูงกว่ากลุ่มที่ไม่เสริมเมไทโอนีน และกลุ่มที่เสริมในระดับอื่น ๆ ดังตารางที่ 26

จากงานวิจัยของ Romos *et al.* (2001) ที่รายงานไว้ว่า ระดับของ pH ที่ลดลง มีผลทำให้การขับถ่ายแคลเซียมออกจากร่างกายมากขึ้น ทำให้การดูดซึมของแคลเซียมในร่างกายลดลง สอดคล้องกับ Kersterter *et al.* (2003) รายงานว่าค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของระบบทางเดินอาหารเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการย่อยและดูดซึมแร่ธาตุ และจากการทดลองพบว่าการเสริม DL-Met-OH ส่งผลต่อการใช้นประโยชน์ได้ของแคลเซียมลดลง ทั้งนี้อาจเพราะความเป็นกรดในอาหารที่เสริมเมไทโอนีน ขณะที่ Singh (1993) รายงานว่า การเสริมเมไทโอนีนทำให้ลดการสลายแคลเซียมออกมาจากกระดูกภายในร่างกายสัตว์ และไม่มีผลต่อการขับถ่ายแคลเซียมออกจากร่างกาย ยังพบว่าการเสริมเมไทโอนีนในอาหารไก่กระทอง ทำให้การดูดซึมแคลเซียมเพิ่มมากขึ้น

การเสริม DL-Met-OH ทำให้การใช้ประโยชน์ได้ของฟอสฟอรัสน้อยกว่ากลุ่มที่ไม่เสริมเมไทโอนีน อาจเกิดเนื่องจากเมไทโอนีนที่เสริมในอาหารไก่กระทอง ทำให้ pH ในอาหารต่ำลง pH ที่ต่ำลง ทำให้การดูดซึมและการใช้นประโยชน์ได้ของฟอสฟอรัสต่ำลง (Lowell *et al.*, 1998) ส่งผลต่อการใช้นประโยชน์ได้ของฟอสฟอรัสลดลง ขณะที่ระดับการเสริมเมไทโอนีนที่ 0.35/0.33 % และ 0.37/0.35 % ในอาหาร อาจช่วยให้การใช้ประโยชน์ได้ของฟอสฟอรัสดีขึ้น

ตารางที่ 25 แสดงผลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะลาคต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีนและไขมันในมูลของไก่กระต่ายระยะรุ่น

ลักษณะที่ศึกษา	เมไทโอนีนไฮดรอกซีอะลาค(%)				
	0 ^{1/}	0.32/0.30 ^{1/}	0.33/0.32 ^{1/}	0.35/0.33 ^{1/}	0.37/0.35 ^{1/}
ปริมาณโปรตีนที่กิน (กรัม/ตัว)	231.5 ± 11.6	209.9 ± 6.9	212.8 ± 11.9	206.1 ± 7.7	218.4 ± 12.2
ปริมาณโปรตีนขับออก (กรัม/ตัว)	98.1 ± 6.4	108.1 ± 4.2	90.8 ± 5.9	91.8 ± 7.1	91.5 ± 4.3
โปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ (%)	60.8 ± 3.5	48.4 ± 1.3	58.6 ± 3.8	55.4 ± 4.8	58.4 ± 3.3
ปริมาณไขมันที่กิน (กรัม/ตัว)	93.9 ± 4.68	85.1 ± 2.79	86.3 ± 4.86	83.6 ± 3.14	88.6 ± 4.93
ปริมาณไขมันขับออก (กรัม/ตัว)	6.30 ± 1.00	6.9 ± 1.85	5.9 ± 1.48	9.2 ± 1.84	7.5 ± 0.93
ไขมันที่ใช้ประโยชน์ได้ (%)	93.2 ± 1.23	91.7 ± 2.27	92.7 ± 1.94	88.9 ± 2.42	91.4 ± 1.81

หมายเหตุ ^{1/}ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

N = 8

ตารางที่ 26 แสดงผลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อกต่อการใช้ประโยชน์ได้ของแคลเซียมและฟอสฟอรัสในมูลของไก่กระต่ายระยะรุ่น

ลักษณะที่ศึกษา	เมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อก(%)				
	0 ^{1/}	0.32/0.30 ^{1/}	0.33/0.32 ^{1/}	0.35/0.33 ^{1/}	0.37/0.35 ^{1/}
ปริมาณแคลเซียมที่กิน (กรัม/ตัว)	18.52 ± 0.92	17.04 ± 0.39	17.86 ± 0.52	16.59 ± 0.62	17.48 ± 0.97
ปริมาณแคลเซียมขับออก (กรัม/ตัว)	8.95 ± 0.74	10.81 ± 0.69	9.83 ± 0.52	11.53 ± 0.72	11.07 ± 1.18
แคลเซียมที่ใช้ประโยชน์ได้ (%)	51.2 ± 4.79 ^a	35.0 ± 5.10 ^{ab}	49.6 ± 3.85 ^{ab}	33.0 ± 3.98 ^b	37.1 ± 8.35 ^{ab}
ปริมาณฟอสฟอรัสที่กิน (กรัม/ตัว)	9.25 ± 0.46	8.39 ± 0.27	8.51 ± 0.48	8.24 ± 0.31	8.73 ± 0.49
ปริมาณฟอสฟอรัสขับออก (กรัม/ตัว)	5.64 ± 0.34 ^A	7.37 ± 0.24 ^B	7.21 ± 0.75 ^B	5.57 ± 0.54 ^A	5.47 ± 0.41 ^A
ฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ (%)	38.9 ± 5.88 ^A	13.4 ± 3.27 ^B	24.3 ± 4.86 ^B	36.4 ± 6.16 ^A	37.2 ± 6.69 ^A

หมายเหตุ ^A และ ^B อักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01)

^a และ ^b อักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

^{1/}ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

N = 8

6. อิทธิพลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อกต่อการสังเคราะห์สารอาหารในตับ

6.1 ผลต่อองค์ประกอบทางเคมีในตับ

จากการศึกษาผลของ DL-Met-OH ต่อองค์ประกอบทางเคมีในตับของไก่กระทงที่ช่วงอายุ 14-21 วัน และ 35-42 วัน แสดงในตารางที่ 27 พบว่าไก่ที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละกลุ่มมีน้ำหนักตับไม่ต่างกันทางสถิติเมื่อคิดเป็นหน่วยกรัม ขณะที่เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตับเมื่อเทียบกับน้ำหนักตัวมีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มทดลอง โดยไก่ที่ได้รับอาหารเสริมเมไทโอนีนทุกระดับมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตับต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารขาดเมไทโอนีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทั้งสองช่วงการทดลอง และเมื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีในตับของไก่กระทงที่ได้รับอาหารทดลอง พบว่าในระยะแรก 1-21 วัน ไก่ที่ได้รับอาหารขาดเมไทโอนีนและเสริม DL-Met-OH ทุกระดับมีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน โปรตีน และไขมันทั้งหมด ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นเปอร์เซ็นต์ความชื้นในตับของไก่ในกลุ่มที่ขาดเมไทโอนีนมีค่าสูงกว่ากลุ่มอื่น ๆ

สำหรับองค์ประกอบทางเคมีในตับไก่กระทงระยะรุ่น 35-42 วัน ไม่พบอิทธิพลของการเสริมเมไทโอนีนในอาหารต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้น ไนโตรเจน และโปรตีนในตับให้เกิดความแตกต่างทางสถิติ อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ไขมันทั้งหมดในการทดลองช่วงนี้ พบว่าไก่ที่ได้รับอาหารเสริมเมไทโอนีนระดับ 0.32/0.30 % มีไขมันในตับต่ำกว่าไก่ที่ได้รับอาหารเสริมเมไทโอนีนที่ระดับอื่น ๆ (0.33/0.32 %, 0.35/0.33 % และ 0.37/0.35 %) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ในการทดลองเสริม DL-Met-OH ในอาหารไก่กระทง พบว่าตับมีขนาดเล็กลง ทั้งนี้อาจเพราะไก่ที่กินอาหารไม่เสริมเมไทโอนีนมีขนาดร่างกายเล็กกว่ากลุ่มที่เสริมเมไทโอนีน จึงทำให้สัดส่วนของน้ำหนักตับเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักร่างกายมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่เสริม Garcia Neto *et al.* (2000) ได้รายงานว่ ขนาดของตับมิได้บ่งบอกถึงอัตราการสังเคราะห์โปรตีนในตับ เนื่องจากจำนวนเซลล์ของตับขนาดใหญ่ไม่ได้มีจำนวนมากกว่าตับที่ขนาดเล็กกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลอง ที่พบว่าน้ำหนักตับของไก่กระทงมีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มที่เสริมและไม่เสริมเมไทโอนีน แต่กลับพบว่าเปอร์เซ็นต์โปรตีนในตับไม่ต่างกัน

ขณะที่ Hiramoto *et al*, (1990) รายงานว่า ความไม่สมดุลของกรดอะมิโนในอาหาร ส่งผลให้ระดับทำงานมากขึ้นเพื่อกระบวนการเมแทบอลิซึมของโปรตีน หรือสังเคราะห์กรดอะมิโนขึ้นมาใหม่ให้ร่างกายได้รับกรดอะมิโนตรงความต้องการและเพียงพอต่อการดำรงชีพ และยังทำหน้าที่ในการเปลี่ยนเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะลาคอนในอาหาร ให้เป็นแอล-เมไทโอนีน ซึ่งอยู่ในรูปที่ร่างกายใช้ประโยชน์ได้

อย่างไรก็ตามขนาดหรือน้ำหนักตัวอาจได้รับอิทธิพลจากปัจจัยอื่น ๆ เช่น องค์ประกอบที่เป็นน้ำ และไขมันในตับ เป็นต้น จากการศึกษาในครั้งนี้ พบว่าการเสริมเมไทโอนีนในอาหาร ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นและไขมันในตับ จากงานวิจัยของ Bunchasak *et al*, (1997) และ Bunchasak and Keawarun (2006) รายงานว่า การเสริมเมไทโอนีนมีแนวโน้มทำให้ปริมาณไขมันในตับสูงขึ้น เนื่องจากตับเป็นอวัยวะหลักในการสังเคราะห์ไขมันในสัตว์ปีก โดยเฉพาะเอนไซม์ fatty acid synthetase ซึ่งมีหน้าที่หลักในการสังเคราะห์ไขมันในตับไก่อะนั้น มีปริมาณสูงขึ้นเมื่อเพิ่มระดับ SAA ในอาหาร (Bunchasak *et al*, 1996)

6.2 ผลต่อปริมาณไตรกลีเซอไรด์ในตับ

ผลของ DL-Met-OH ต่อปริมาณไตรกลีเซอไรด์ในตับของไก่อะตังทั้งสองระยะ พบว่าในระยะแรก 14-21 วัน ไก่อะตังที่ได้รับอาหารเสริมเมไทโอนีน 0.35/0.33 % มีปริมาณไตรกลีเซอไรด์ในตับมีแนวโน้มสูงกว่ากลุ่มที่เสริมระดับ 0.37/0.35 % ($P=0.05$) แต่ไม่มีผลแตกต่างจากกลุ่มที่เสริมเมไทโอนีนระดับอื่น ๆ และกลุ่มที่ไม่เสริมเมไทโอนีน และในระยะรุ่น 35-42 วัน ไม่พบอิทธิพลของการเสริม DL-Met-OH ที่ระดับต่าง ๆ ต่อปริมาณไตรกลีเซอไรด์ในตับ ดังตารางที่ 28

การสะสมไตรกลีเซอไรด์ในตับที่สูงขึ้นนั้น มีสาเหตุเนื่องมาจากความไม่สมดุลของสารอาหารเป็นหลัก ได้แก่ การกินอาหารโปรตีนต่ำ อาหารพลังงานสูง ภาวะการขาดความสมดุลของกรดอะมิโน รวมถึงการขาดกรดอะมิโนจำเป็นบางชนิด นอกจากนี้การขาดสารอาหารกลุ่ม lipotropic factor เช่น เมไทโอนีน โคเลีน และวิตามินบี 12 สามารถทำให้เกิดการสะสมไขมันในตับได้เช่นกัน (เกียรติศักดิ์, 2545) ขณะที่การศึกษาของ Bunchasak and Silapasorn (2005) รายงานว่า ระดับของไตรกลีเซอไรด์และไขมันในตับสูงขึ้น โดยตอบสนองต่อการเสริม SAA ในอาหาร แต่จากการทดลองในครั้งนี้ พบว่าในช่วงอายุ 22-42 วัน ไก่อะตังที่กินอาหารขาดเมไทโอนีน และอาหารเสริม DL-Met-OH ในระดับต่าง ๆ ไม่มีผลต่อปริมาณไตรกลีเซอไรด์ในตับอย่างชัดเจน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการ

ทดลองทั้งสอง ทำการเสริมกรดอะมิโนในอาหารที่ระดับต่างกัน แสดงให้เห็นว่า ในการทดลองครั้งนี้ ระดับการเสริม DL-Met-OH ในอาหารไก่กระพง สามารถลดการสะสมไขมันช่องท้อง และไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมของลิพิด

ตารางที่ 27 แสดงผลของเมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อกต่อองค์ประกอบทางเคมีในตับของไก่กระพงระยะเล็กและระยะรุ่น

องค์ประกอบทางเคมี	เมไทโอนีนไฮดรอกซีอะนาล็อก(%)				
	0 ^{1/}	0.32/0.30 ^{1/}	0.33/0.32 ^{1/}	0.35/0.33 ^{1/}	0.37/0.35 ^{1/}
ระยะเล็ก					
น้ำหนักตับ(กรัม)	25.29 ± 0.92	23.99 ± 0.86	25.76 ± 0.50	26.36 ± 0.66	24.35 ± 0.60
น้ำหนักตับ(%)	3.43 ± 0.11 ^a	2.82 ± 0.10 ^b	2.89 ± 0.05 ^b	2.98 ± 0.07 ^b	2.79 ± 0.07 ^b
ความชื้น(%)	74.34 ± 0.26 ^a	72.50 ± 0.25 ^b	72.09 ± 0.25 ^b	72.46 ± 0.24 ^b	72.28 ± 0.16 ^b
ไนโตรเจน (%)	2.94 ± 0.06	3.09 ± 0.05	3.08 ± 0.06	2.95 ± 0.12	3.07 ± 0.04
โปรตีน(%)	18.38 ± 0.41	19.33 ± 0.29	19.24 ± 0.39	18.64 ± 0.75	19.18 ± 0.28
ไขมันทั้งหมด(%)	6.15 ± 0.32	6.68 ± 0.37	6.56 ± 0.44	6.71 ± 0.17	6.78 ± 0.17
ระยะรุ่น					
น้ำหนักตับ(กรัม)	52.01 ± 1.92	55.02 ± 1.58	54.04 ± 1.80	57.48 ± 1.96	54.85 ± 1.80
น้ำหนักตับ(%)	2.46 ± 0.08 ^a	2.01 ± 0.06 ^b	2.05 ± 0.10 ^b	2.12 ± 0.11 ^b	2.07 ± 0.12 ^b
ความชื้น(%)	72.67 ± 0.46	73.02 ± 0.71	71.78 ± 0.64	72.21 ± 0.71	71.65 ± 0.59
ไนโตรเจน (%)	2.92 ± 0.04	2.85 ± 0.05	2.82 ± 0.06	2.84 ± 0.06	2.81 ± 0.07
โปรตีน(%)	18.28 ± 0.27	17.79 ± 0.35	17.59 ± 0.39	17.77 ± 0.42	17.58 ± 0.45
ไขมันทั้งหมด(%)	7.26 ± 0.23 ^{ab}	5.93 ± 0.60 ^b	8.14 ± 0.43 ^a	8.26 ± 0.46 ^a	8.62 ± 0.78 ^a

หมายเหตุ ^a และ ^b อักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

^{1/} ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

N = 8 ตัว/กลุ่มทดลอง

ตารางที่ 28 แสดงผลของเมโทอินินไฮดรอกซีอะนาล็อกต่อปริมาณไตรกลีเซอไรด์ในตับของไก่
กระทั้งระยะเล็ก และระยะรุ่น

ไตรกลีเซอไรด์ (mg/dl)	เมโทอินินไฮดรอกซีอะนาล็อก(%)				
	0 ^{1/}	0.32/0.30 ^{1/}	0.33/0.32 ^{1/}	0.35/0.33 ^{1/}	0.37/0.35 ^{1/}
ระยะเล็ก	22.69 ± 1.64	21.39 ± 0.89	21.60 ± 0.98	22.65 ± 0.45	18.74 ± 0.61
ระยะรุ่น	21.39 ± 1.65	24.54 ± 1.34	24.45 ± 1.92	24.07 ± 0.69	21.83 ± 1.41

หมายเหตุ ^a และ ^b อักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

^{1/} ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

N = 8 ตัว/กลุ่มทดลอง

ឥរូប

การทดลองที่ 1

1. สมรรถภาพการผลิตของไก่กระพงที่กินอาหารเสริม DL-Met-OH มีการเจริญเติบโตสูงกว่าไก่กระพงที่กินอาหารไม่เสริม DL-Met-OH ทั้งนี้เพราะปริมาณการกินอาหารที่สูงกว่า ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอัตราการเจริญเติบโต และทำให้การสร้างเนื้อสูงตามปริมาณ TSAA ที่ได้รับจากอาหาร นอกจากนี้การเสริม DL-Met-OH ที่สูงกว่า 0.32/0.30 % ไม่ทำให้สมรรถภาพการเจริญเติบโตเกิดความแตกต่าง ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้การเสริม DL-Met-OH 0.32/0.30 % (bioefficacy 88 %) ในอาหารเป็นระดับที่เพียงพอต่อความต้องการของไก่กระพง

2. การเสริม DL-Met-OH ในอาหารทุกระดับ ทำให้อัตราการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของสง โดยไม่เหนี่ยวนำให้เกิดโรค ascites ในไก่กระหว

3. การเสริม DL-Met-OH ในอาหารทุกระดับ ไม่ทำให้ความเข้มข้นของ NEFA และ TG ในซีรัมของไก่กระทงเปลี่ยนแปลง เพราะพลังงานที่ได้รับจากอาหารเพียงพอกับความต้องการของร่างกาย แต่มีแนวโน้มทำให้ปริมาณกรดไขมันในพลาสมาสูงขึ้น

การทดลองที่ 2

1. สภาพความเป็นกรด-ด่างในอาหารลดลง เมื่อเสริม DL-Met-OH สูงขึ้น แต่กลับไม่มีผลต่อสภาพความเป็นกรด-ด่าง ภายในทางเดินอาหารและในมูล เพราะการควบคุมของร่างกายสัตว์ต้องการรักษาสมดุลกรด-ด่าง เพื่อประสิทธิภาพการทำงานของน้ำย่อย

2. การเสริม DL-Met-OH ไม่สามารถเพิ่มการใช้ประโยชน์ได้ของแร่ธาตุ เพราะร่างกายมีการจับ Ca และ P ในมูลไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากร่างกายมีระบบควบคุมความสมดุลของแคลเซียมและฟอสฟอรัสในร่างกาย และการใช้ประโยชน์ได้ของแคลเซียมและฟอสฟอรัสนี้มีแนวโน้มลดลง เมื่อระดับ DL-Met-OH ในอาหารลดลง

3. กระบวนการเมทาบอลิซึมของไขมันในไก่ที่กินอาหารเสริม DL-Met-OH ทำให้ลดการสะสมไขมันช่องท้อง โดยการเสริม DL-Met-OH ที่ระดับ 0.32/0.30 % และ 0.35/0.33 % (bioefficacy 88 และ 84 %) มีเปอร์เซ็นต์ไขมันช่องท้องต่ำสุด ทั้งนี้เพราะปริมาณไขมันในตับมีค่าต่ำสุดเช่นกัน จึงทำให้ลดการสะสมไขมันช่องท้อง เนื่องจากตับเป็นแหล่งสังเคราะห์ไขมัน อย่างไรก็ตาม ปริมาณไตรกลีเซอไรด์ในตับและซีรัมไม่ได้รับอิทธิพลจากการเสริม DL-Met-OH ในอาหาร

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

นวลจันทร์ พารักษา. 2544. อาหารสัตว์. ภาควิชาสัตวบาล. คณะเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

เนติกันต์ แก้วอรุณ. 2549. ผลของแหล่งกรดอะมิโนเมทไธโอนีนต่อสมรรถภาพการผลิต และการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหารในไก่กระตังเทศผู้. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พจน์ ศรีบุญลือ, โสพิศ วงศ์คำ และ พัทรี บุญศิริ. 2543. ตำราชีวเคมี. ภาควิชาชีวเคมี คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.

มนตรี จุฬาวัฒนทล,ม.ร.ว. ชัยอนุสรณ์ สวัสดิวัตน์, ยงยุทธ ยุทธวงศ์, ภิญโญ พานิชพันธ์, ประหยัด โกมารวัต, พิณทิพย์ รื่นวงษา, ชีรยศ วิทิตสุวรรณกุล, บุรชัย สอนยานนท์, สุมาลี ตั้งประดับกุล และ มรรุส พงษ์ลิขิตมงคล. 2542 ชีวเคมี. ภาควิชาชีวเคมี. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. กรุงเทพฯ.

ราชาวดี ยอดเสรณี. 2546. ผลการเสริมเม็ลไทต์และหัวเชื้อจุลินทรีย์ผสม หัวเชื้อจุลินทรีย์น้ำสกัดชีวภาพจากพืชและระดับแอมโมเนียในมูลไก่ไข่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รัชฎาภรณ์ ไชยพิศ, กัญจนะ มากวิจิตร และ ชัยภูมิ บัญชาศักดิ์. 2548. การเปรียบเทียบผลของ DL-methionine และ methionine hydroxy analogue ต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพซากและการเกิด Ascites ในไก่กระตัง. บทคัดย่อ: การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 5. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.

สุรางค์ อัสวมนัน. 2524. โปर्टีน. ภาควิชาชีวเคมี. คณะเภสัชศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

อังคณา หาญบรรจง และ ดวงสมร สีนเจิมศิริ. 2532. การวิเคราะห์และประเมินคุณภาพอาหารสัตว์.
ภาควิชาสัตวบาล, คณะเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ ฯ

อุคเดช บุญประกอบ. 2548. **คู่มือปฏิบัติการสรีรวิทยาทางสัตวแพทย์**.ภาควิชาสรีรวิทยา คณะสัตว
แพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ

Acar, N, G.F. Barbato and P.H. Patterson. 2001. 2. The effect of feeding excess methionine on
live performance carcass traits and ascites mortality. **Poult. Sci.** 80: 1585-1589.

Arce, J., M. Berger and C. Coello. 1992. Control of ascites syndrome by feed restriction
techniques. **J. App. Poult. Res.** 1: 1-5.

Almquist, H.J. 1947. Evaluation of amino acid requirements by observations on the chick. **J.**
Nutr., 34: 966-981.

Andrys, R., D. Klecker, L. Zeman and E. Marecek. 2003. The effect of changed pH values of feed
in isophosphoric diets on chicken broiler performance. **Czech. J. Anim. Sci.** 48 (5) : 197-
206.

Anonymous. 2002. **Phospholipid metabolism**. Available Source: [http://www.med.uiuc.edu/m1/
biochemistry/ TAreview/phospholipid. htm](http://www.med.uiuc.edu/m1/biochemistry/TAreview/phospholipid.htm), December. 25, 2002.

AOAC. 1990. **Official Method of analysis**. 15thed. Association of Official Agricultural
Chemists, Inc., Verginia.

Aviagen. 1999. **Ross 208, Ross 308, Ross 508 Broiler performance objectives**. Aviagen LTD.,
Midlothian, UK.

Avigen. 2004. **Nutrition and Enteric Health**. Available Source: <http://www.avigen.com>, June
10, 2005

- Baker, D.H. 1994. **Utilization of precursor for L-amino acids**, In Amino acids in farm animal nutrition, Edited by J.P.F.D' Mello, CAB international, UK, pp 418.
- Baker, D.H. 2003. Ideal amino acid patterns for broiler chicks, pp237-267 *In* Amino acid in Farm Animal Nutrition, J.P.F. D'Mello (ed.). CAB international, Wallingford. UK.
- Brody, T. 1994. **Nutritional Biochemistry**. Academic Press, Inc., Sandi ego, California, United State of America.
- Bruyer, D.C. and M. Vanbelle. 1990. Efficacite comparee pour la croissance du poussin de differentes sources de methionine. **Anual Zootech.** 39: 45-51.
- Bunchasak, C. and N. Keawarun. 2006. Effect of methionine hydroxy analog free acid on growth performance and chemical composition of liver of broiler chicks fed a corn-soybean based diet from 0 to 6 weeks of age. **J. Anim. Sci.** 77:95-102
- Bunchasak C, K. Tanaka, S. Ohtani and C.M, Collado. 1996. Effect of Met + Cys Supplementation to a low Protein Diet on Growth Performance and Fat Accumulation of Broiler Chicks at Starter Period. **Anim. Sci. and Tech.** 67:959-966
- Bunchasak, C., U. Santoso, K. Tanaka, S. Ohtni, and C.M. Collado. 1997. The effect of supplementing methionine plus cystine to a low-protein diet on the growing broiler chicks. **Asian-Australian J. Anim. Sci.** 10: 185-191.
- Bunchasak, C., K. Takana and S. Ohtani. 1998. Effect of supplementing nonessential amino acids on growth performance and fat accumulation in broiler chicks feds a diet supplemented with Met+Cys. **Jpn. Poult. Sci.** 35: 182-188.

- Bunchasak, C. and T. Silapasorn, 2005. Effects of adding methionine in low-protein diet on production performance reproductive organs and chemical liver composition of laying hens under tropical conditions. **Int. J. Poult. Sci.** 5: 301-308.
- Card, L.E. and M.C. Nesheim. 1972. **Poultry production**. 11th ed. Humphrey press, Philadelphia.
- Carew. L.B., K.G. Everts and F.A. Alster. 1997. Growth and plasma thyroid hormone concentrations of chicks fed diets deficient in essential amino acids. **Poult. Sci.** 76: 1398-1404.
- Carson, N.A., D.C. Casworth, C.E. Deut, C.M.B. Field, D.W. Neill and R.G. Wesstall. 1993. Homocystinuria: anew inborn error of metabolism associated with nutal difficiency. **Arch. Of Disease in children.** 38: 425-451.
- Chediack, J.G., E. Caviedes-Vidal. and W.H. Karasov. 2005. Electroaffinity in paracellular absorption of hydrophilic d-dipeptides by sparrow intestine. **J. Comp physiol B.** Accepted 1 November 2005.
- Cooper, R.G. and J.O. horbanczuk. 2004. Nutrition and feed management in the ostrich (*Struthio camelus* var. domesticus). **J. Anim. Sci.** 75(3) : 175-181.
- Currie, R.J.W. 1999. Review: ascites in poultry; recent investigations. **Avian Patho.** 28: 313-326.
- Decuypere, E., C. Vega, T. Bartha, J. Buyse, J. Zoon and G.A. Albers. 1994. Increased sensitivity to triiodothyronine (T3) of broiler lines with a high susceptibility for ascites. **Br. Poult. Sci.** 35: 287-297.
- Decuypere, E., J. Buyse and N. Buyse. 2000. Ascites in broiler chickens: exogenous and endogenous structural and functional causal factors. **World's Poult. Sci. J.** 56(4): 367-377.

- Devlin, T.M. 1997. **Biochemistry with clinical correlation**. Wiley-Liss, Inc., USA. pp 1186
- Dibner, J.J., C.A. Atwell and F.J. Ivey. 1992. Effect of heat stress on 2-hydroxy-4-(methylthio) butanoic acid and DL-methionine absorption measured in vitro. **Poult. Sci.** 71: 1900-1910.
- Dibner, J.J. and Knight, C.D. 1984. Conversion of 2-hydroxy-4-(methylthio) butanoic acid and L-methionine in the chick: A stereospecific pathway. **J. Nutr.** 114: 1716-1723.
- Dupuis, L., P. Brachet and A. Puigserver. 1990. Oxidation of the supplemental methionine source L-2-hydroxy-4-methylthiobutanoic acid by pure L-2-hydroxy acid oxidase from chicken liver. **J. Nutr.** 120: 1171-1178.
- Elkin, R.C. and P.A. Hester. 1983. Comparison of methionine sources for broiler chickens for corn soybean meal diets under simulated commercial grow-out conditions. **Poult. Sci.**, 62: 2030-2043.
- Esteve-Garcia, E. and R.E. Austic. 1993. Performance, breast meat yield and abdominal fat deposition of male broiler chickens fed diets supplemented with DL-methionine or DL-methionine hydroxy analogue free acid. **Brit. Poult. Sci.** 34: 351-359.
- Finkelstien, J.D. 1990. Methionine metabolism in mammals. **J. Nutr.** 228-237.
- Folch, J., M. Lee and G.H. Sloane – Stanley. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissue. **J. Biol. Chem.** 226: 497-509.
- Friancis, S.G. 1983. **Basic and clinical endocrinology**. Lange Medical Publication, Maruzen.
- Gabarrou, J.F., C. Duchump, J. Williams and P.A. Geraert. 1997. A role of thyroid hormones in the regulation of diet-induced thermogenesis in birds. **Br. J. Nutr.** 78: 963-973.

- Garlich, J.D. 1985. Response of broiler to DL-methionine hydroxy analogue free acid, DL-methionine, L-methionine. **Poult. Sci.** 64: 1541-1584.
- Garcia Neto, M., G.M. Pesti. and R.I. Bakalli. 2000. Influence of dietary protein level on the broiler chicken response to methionine and betaine supplements. **Poultry Science.** 78 : 1478-1484.
- Gordon, R.S. and I.W. Sizer. 1964. Conversion of methionine hydroxy analogue to methionine in the chick. **Poult. Sci.** 673-678.
- Gurr, M.I. and J.L. Harwood. 1991. **Lipid Biochemistry**. Chapman and Hall, USA.
- Harper, A.E. and Q.R. Roger. 1965. Amino acid imbalance. **Proceeding Nutrition Sociation** 24: 173-190.
- Harry, K.S., G. Robert, A.I. Pau and Z. Reza. 2002. Effect of dietary protein level amino acid balance and feeding level on growth gastrointestinal tract and mucosal structure of the small intestine in broiler chickens. **Anim. Res.** 51: 501-515.
- Hermier, D., M.J. Chapman and B. Leclercq. 1984. Plasma lipoprotein profile in fasted and refed chickens selected for high or low adiposity. **J. Nutr.** 114: 1112-1121.
- Hiramoto, K., T. Muramatsu and J. Okumura. 1990. Effect of methionine and lysine deficiencies on protein synthesis in the liver and oviduct and in the whole body of laying hens. **Poult. Sci.** 69: 84-89.
- Hickling, D., W. Guenter and M.E. Jackson. 1990. The effect of dietary methionine and lysine on broiler chicken performance and breast meat yield. **Can J. Anim Sci.** 70: 673-8.

- Horton, H.R., L.A. Moran, R.S. Ochs, J.D. Rawn and K.G. Scrimgeour. 2002. **Principles of Biochemistry**, 3rd ed. Prentice Hall. pp 820.
- Huyghebaert, G. 1993. Comparison of DL-methionine and methionine hydroxy analogue –free acid in broilers by using multi-exponential regression model. **Br. Poult. Sci.** 34: 351-359.
- Jensen, L.S., C.L. Wyatt and B.L. Francer. 1989. Sulphur amino acid requirement of broiler chickens from 3 to 6 weeks of age. **Poult. Sci.** 68: 163-168.
- Julian, R.J., G.W. Friars, H. French and M. Qinton. 1987. The relationship of right ventricular and roaster chickens. **Avian Disease.**, 31: 130-135.
- Julian, R.J. 1990. Pulmonary hypertension: a cause of right heart failure, ascites in meat-type chickens. **Feedstuff**. pp 20.
- Julian, R.J. 1993. Ascites in poultry. **Avian Pathol.** 22: 419-454.
- Julian, R.J. 2000. Physiological, management and environmental triggers of the ascites syndrome a review. **Avian Pathol.** 29: 519-527.
- Katz, R.S. and D.H. Baker. 1975. Methionine toxicity in the chick : Nutritional and metabolic implications. **J. Nutr.** 105: 1168-1175.
- Keawarun, N. and C. Bunchasak. 2005. Effect of DL-methionine and methionine hydroxy analogue on growth performance and mineral retention in body of male broiler chickens. pp.42-43. in **Proceedings of Sustainable Livestock Production 5th (animal science and veterinary medicine)**. Chaing Mai University, Chaing Mai.
- Kerstetter, J.E., K.O. O'Brien and K.L. Insogna. 2003. Low protein intake: the impact on calcium and bone homeostasis in humans. **J Nutr.** 133(Suppl.): 855-861.

- Kim, S. and T.M. Cross. 2002. Uniformity, Ideality, and hydrogen bonds in transmembrane alpha-helices. **J. Biophys.** 83(4) : 2084-2095.
- Kiraz, S. and T. Sengül. 2005. Relationship between abdominal fat and methionine deficiency in broilers. **Czech J. Anim. Sci.** 50(8):362-368.
- Klasing, K.C. 1998. **Comparative avian nutrition**. CAB international, UK.
- Knight, C.D. and J.J. Dibner. 1984. Comparative absorption of 2-hydroxy-4-(methylthio) butanoic acid and L-methionine in the broiler chick. **J. Nutr.** 144: 2179-86.
- Knight, C.D., C.W. Wuelling, C.A. Atwell and J.J. Dibnor. 1994. Effect of intermittent periods of high environmental temperature on broiler performance response to source of methionine activity. **Poult. Sci.** 73: 627-39.
- Leeson, S., G. Diaz and J.D. Summers. 1995. **Poultry metabolic disorders and mycotoxins**. University Books, Canada.
- Lemme, A., D. Hoehler, J.J. Brennan and P.F. Mannion. 2002. Relative effectiveness of methionine hydroxy analogue compared to DL-methionine in broiler chickens. **Poult. Sci.** 81: 838-845.
- Liu, Y.G., Z.S. Wang and X.Q. Ni. 2000. Study on DL-2-hydroxy-4(methylthio)-butanoic acid (HMB) microbial inhibitory activity. **Proc. Aust. Poult. Sci. Sym.** pp 189-193.
- Lowell B., John L., Gyles R., George R. and Michael S. 1998. **The nature of phosphorus in soil**. Regents of the university of minesota.

- Luger, D., D. Shinder, V. Rzepakovsky, M. Rusal, and S. Yahav. 2001. Association between weight gain, blood parameters, and thyroid hormones and the development of ascites syndrom in broiler chickens. **Poult. Sci.** 80: 965-971.
- Luger, D., D. Shinder and S. Yahav. 2002. Hyper- or hypothyroidism: its association with the development of ascites syndrome in fast-growing chickens. **Gen Comp Endocrinol.** 127(3): 293-299.
- Machin, M., M.F. Simoyi, K.P. Blemings and H. Klandorf. 2004. Increased dietary protein elevates plasma uric acid and is associated with decreased oxidative stress in rapidly-growing broilers. **Comp. Biochem. Physiol. B Biochem. Mol. Biol.** 137: 383-390.
- Malinow, M.R. 1996. Plasma homocyst(e)ine: a risk factor for aterial occlusive disease. **J. Nutr.** 126: 1238.
- Mandal, A.B., A.V. Elangovan, and T.S. Johri. 2004. Comparing bio-efficacy of DL- methionine hydroxy analogue free acid with DL-methionine in broiler chickens. **Asian-Aust. J. Anim. Sci.** 17: 102-108.
- Mato, J.M., F.J. Corrales, S.C. Lu and M.A. Avila. 2002. S-adenosylmethionine: a control switch that regulates liver function. **FASEB J.** 16: 15-26.
- Martin, K. 2003. **Nutrient Metabolism.** Food Science and Technology. International series, Academic press.
- Maxwell, M.H., G.W. Robertson and S. Spence. 1986. Studies on an ascites syndrome in young broilers. 1.Heamatology and pathology. **Avian Pathol.** 15: 511-524.
- Maxwell, M.H., S. Spence, G.W. Robertson and M.A. Mitchell. 1990. Haematological and morphological responses of broiler chicks to hypoxia. **Avian Pathol.** 19: 23-40.

- Maxwell, M.H. and G.W. Robertson. 1997. World broiler ascites survey 1996. **Poultry, Int.** (April): 16-30.
- Mchenry, E.W. and H.B. George. 1963. **Nutrient Elements**. Basic Nutrition Pitman Medical Publishing Co., Ltd. Philadelphia London. pp 615.
- McGovern, R.H., M.J. Zuidhof, J.A. Hanson, and F.E. Robinson. 2001. Growth performance, heart characteristics and the incidence of ascites in broilers in response to carbon dioxide and oxygen concentrations. **Can. Bio. Engin.** 43: 41-46.
- McNabb, F.M.A. and D.B. King. 1993. Thyroid hormones effects on growth and development and metabolism. Pp 393-417 in: **The Endocrinology of Growth Development and Metabolism Vertebrates**. M.P. Schreibman, C.G. Scanes, and P.K.T. Pang(ed.).Academic Press, New York.
- Mendonca, C.X. and L.S. Jensen. 1989. Influence of protein concentration on the sulphur amino acid requirement of broiler chickens during the finishing period. **Br. Poult. Sci.** 30: 889-898.
- Miller, E.C., J.S. O'Barr and C.A. Denton. 1960. Studies on a short-term procedure for determining amino acid requirements of laying hens. **Poult. Sci.** 39: 1438-1442.
- Moran, E.Jr T. 1994. Response of broiler strains differing in body fat to inadequate methionine: live performance and processing yields. **Poult. Sci.** 73: 1116-1126.
- Muramatsu, T. and J.I. Okumura. 1979. Effect of dietary methionine and arginine on uric acid excretion of cocks fed a protein-free diet. **J Nutr.** 109(6) : 1057-62.
- National Research Council. 1994. **Nutrition Requirement of Poutry**. 9th ed. National Academy of science. Washington, DC.

- Neoh, S.B. and L.E. NG. 2004. The relationship between feed efficiency and visceral weight in broilers. **Proc. Aust. Poult. Sci. Sym.** pp 75.
- Odom, T.W., L.M. Rosenbawn and B.M. Hargis. 1992. Evaluation of vectaelectro cardiographic analysis of young broiler chicken as a predictive index of applied. **Poult. Res.** 3: 244-252.
- Olkowski, A.A. and H.L. Classen. 1998. Progressive bradycardia, a possible factor in the pathogenesis of ascites in fast growing broiler chickens raised at low altitude. **Br. Poult. Sci.**, 39(1): 139-146.
- Okumura, J., Tasaki, I. 1967. The effect of fasting, refeeding and dietary protein level on uric acid and ammonia content of blood, liver and kidney in chickens. **J. Nutr.** 97 : 316-320.
- Patrick, H. and P.J. Schaible. 1980. **Poultry feed nutrition**. AVI Publishing company: Westport connecticut.
- Petzke, K.J., A., Elsner, J., Proll, F. Thielecke and C.C. Metges. 2000. Long-term high protein intake does not increase oxidation stress in rats. **J. Nutr.** 130: 2889-2896.
- Ribeiro, A.M.L., F. Dahlke and A.M. Kessler. 2005. Methionine sources do not affect performance and carcass yield of broilers fed vegetable diets and submitted to cyclic heat stress. **Rev. Bras. Cienc. Avic.** 7(3) : 159-164.
- Riddell, C. and R. Springer. 1985. An epizootiological study of acute death syndrome and leg weakness in broiler chickens in Western Canada. **Avian. Dis.** 29: 90-102.
- Rodechutscord, M. and M. Pack. 1999. Estimates of essential amino acid requirement from dose – response studies with rainbow trout and broiler chicken: Effect of mathematic model. Arch of **Anim. Nutr.** 52: 223-244.

- Rose brough, R.W. and J.P. McMurtry. 1998. Further studies on carry over effect of dietary crude protein and triiodothyronine (T3) in broiler chicken. **Poult. Sci.** 77: 90.
- Rostagno, H.S. and W.A. Barbosa. 1995. Biological efficacy and absorption of DL- methionine hydroxy analogue free acid compared to DL-methionine in chickens as affected by heat stress. **Br. Poult. Sci.** 36: 303-312.
- Ruff, M.D. 1974. Reduced transport of methionine in intestines of chickens infected with *Eimeria necatrix*. **J. Parasitol.** 60: 838-843.
- Schutte, J.B. and M. Pack. 1995. Sulfur amino acid requirement of broiler chick from fourteen to thirty eight days of age. 1. performance and carcass yield. **Poult. Sci.** 74: 480-487.
- Scott, M.L., M.C. Nesheim and R.J. Yong. 1982. **Nutrition of the Chicken. Scott & Associates** Public: New York.
- Silva, J.M.L., N. Dale and J.B. Luchesi. 1988. Effect of pelleted feed on the incidence of ascites in broilers reared at low altitudes. **Avian Dis.** 32: 376-378.
- Skimer, J.J., J.N. Beasley and P.W. Waldroup. 1991. Effects of dietary amino acid levels on bone development in broiler chickens. **Poult. Sci.** 70(4): 941-946.
- Smith, S.W. 1975. A New salting-out technique for calorimetric free fatty acid assays. **Analyt biochem.** 67: 531-539.
- Smith, J.T., V.A. Robert. B.B. Joyce and L.G. Mary. 1983. A metabolic comparison of cyteine and methionine supplements in the diet of a rat. **J. Nutr.** 113: 22-227.

- Singh, P.P., F. Hussain, R.C. Gupta, A.K. Pendse, R. Kiran and R. Ghosh. 1993. Effect of dietary methionine and inorganic sulfate with and without calcium supplementation, on urinary calcium excretion of guinea pigs (*Cavia porcellus*). **Indian J Exp Biol.** 31 (1) : 96-97.
- Stevens, L. 1996. **Avian Biochemistry and Molecular Biology**. Cambridge University Press.
- Stewart, P.A., and K.W. Washburn. 1983. Variation in growth hormone, triiodothyronine (T3) and lipogenic enzyme activity in broiler strains differing in growth and fatness. **Growth** 47: 411-425.
- Sugahara, M.D., H. Baker and H.M. Scott. 1969. Effect of different patterns of excess amino acid on performance of chicken fed amino acid deficient diets. **J. Nutr.** 97: 29-32.
- Sugden, P.H. and S.J. Fuller. 1991. Regulation of protein turnover in skeletal and cardiac muscle. **J. Biochem.** 273: 21-37.
- Summers, J.D., S. Blackman and S. Leeson. 1987. Assay of estimating the potency of various methionine –active sources. **Poult. Sci.** 66: 1779-1787.
- Tan, B.J., S. Ohtani and K.I. Tanaka. 1999. Effect of early feed restriction of varied severity on growth performance carcass composition and lipid metabolism. **J. Anim. Sci.** 70: 297-305.
- Thomas, O.P., C. Tamplin, S.D. Crissey, E. Bossard and A. Zuckerman. 1991. An evaluation of methionine hydroxy analogue free acid using a non linear exponential bioassay. **Poult. Sci.** 70: 605-610.
- Van Saun, R.J. 2000. Blood profiles as indicator of nutritional status. In: **Proceedings of the 18th Annual Western Canadian Dairy Seminar**, Red Deer, Alta, Canada.

- Van Weerden, E.J., H.L. Bertram and J.B. Schutte. 1982. Comparison DL-methionine, DL-methionine-Na, DL-methionine hydroxy analogue Ca and DL-methionine hydroxy analogue free acid in broiler by using a crystalline amino acid. **Poult. Sci.** 62: 1269.
- _____, J.B. Schutte and H.L. Bertram. 1983. DL-methionine and DL-methionine hydroxy analogue free acid in broiler diets. **Poult. Sci.** 62 :1269-74.
- _____, J.B. Schutte and H.L. Bertram. 1992. Utilization of the polymers of methionine hydrxy analogue free acid (MHA-FA) in broiler chick. **Arch. Geflugelk** 56: 63-68.
- Waldroup, P.W., C.J. Mabray, J.R. Blackman, P.J. Slagter, R.J. Short and Z.B. Johnson. 1981. Effectiveness of the free acid of methionine hydroxy analogue as a methionine supplement in broiler diets. **Poult. Sci.** 60: 438-443.
- _____, R.J. Mitchell, J.R. Payne and K.R. Hazen. 1976. Performance of chicks fed diets formulated to minimized excess levels of essential amino acids. **Poult. Sci.** 55: 243-253.
- _____, J.H. Kersey and C.A. Fritts. 2002. Influence of branched-chain amino acid in broiler diets. **International Journal of Poultry Science.** 1(5) : 136-144.
- Wallis, I.R. 1999. Dietary supplements of methionine increase breast meat yield and decrease abdominal fat in growing broiler chickens. **Aus. J. Exp. Agr.** 39: 131-141.
- Waring, W.S., D.J., Webb and D.J. Maxwell. 2001. Systemic uric acid administration increases serum antioxidant capacity in healthy volunteers. **J. Cardiovasc. Pharmacol.** 38: 365-371.

- Whitaker, H.M.A., A.A. Mendes, E.A. Garcia, R.O. Roca, Jr. J.C. Varolli and E.P.B. Saldanha. 2002. Effect of methionine supplementation on performance and carcass yield of broiler chickens. **Brazilian J. of Poult Sci.** 4:1-9.
- Wideman, R.F. 2000. Cardio-pulmonary hemodynamics and ascites in broiler chickens. **Poult. Sci.** 74: 1209-1217.
- Wilson, J.B., R.J. Julian and I.K. Barker 1988. Lesions of right heart failure and ascites in broiler chickens. **Avian. Dis.** 32: 392-403.
- Witzel, D.A., W.E. Huff, L.F. Kubena, R.B. Harvey and M.H. Elissalde. 1990. Ascites in growing broiler; a research model. **Poult. Sci.**, 69: 741-45.
- Zubair, A.K. and S. Leeson. 1994. Effect of early feed restriction and realimentation on heat production and changes in sizes of digestive organs of male broiler. **Poult. Sci.** 73: 529-538.

ภาคผนวก

การคำนวณ

1. น้ำหนักตัวที่เพิ่ม (Weight gain: WG)

คือ ความแตกต่างของน้ำหนักเมื่อเริ่มทดลอง ถึงน้ำหนักสิ้นสุดการทดลอง

$$\text{น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น} = \text{น้ำหนักสิ้นสุด} - \text{น้ำหนักเริ่มต้น}$$

2. อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (Feed Conversion Rate: FCR)

คือ ปริมาณอาหารทั้งหมดที่สัตว์กินเข้าไป ทำให้น้ำหนักของสัตว์เพิ่มขึ้นได้ 1 หน่วย

$$\text{อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ} = \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่กินทั้งหมด}}{\text{น้ำหนักตัวที่เพิ่ม}}$$

หน่วยเป็นอัตราส่วน ทั้งสองค่ายิ่งต่างกันน้อยยิ่งดี

3. อัตราการเจริญเติบโต (Average Daily Gain: ADG)

คือ ความแตกต่างของน้ำหนัก เริ่มต้น และสิ้นสุดต่อระยะเวลาในการเลี้ยง

$$\text{อัตราการเจริญเติบโต} = \frac{\text{น้ำหนักสิ้นสุด} - \text{น้ำหนักเริ่มต้น}}{\text{ระยะเวลาที่เลี้ยง}}$$

4. การใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหาร (Nutrient availability)

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

5. การคำนวณค่าความสม่ำเสมอของฝูง (%)

$$\% \text{ ความสม่ำเสมอของฝูง} = \text{ค่าความผันแปร} - 100$$

วิธีการวัดค่าความสม่ำเสมอฝูง ทำโดยการชั่งน้ำหนักไก่อายตัวในแต่ละกลุ่มทดลอง และนำค่าน้ำหนักตัวไปมาคำนวณค่าความผันแปร (coefficient variation; CV)

สภาพแวดล้อมภายในโรงเรียน

ตารางผนวกที่ 1 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรียนของการทดลองที่ 2 อายุ 14 - 21 วัน

วันที่	อายุ	อุณหภูมิ		ความชื้นสัมพัทธ์		หมายเหตุ
		ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	
0	13	28	29	67	91	ปรับสภาพ
0	14	27	28	68	92	
1	15	26	28	75	91	ระหว่างการ เลี้ยง 7 วัน
2	16	24	25	59	60	
3	17	24	25	67	68	
4	18	24	25	68	75	
5	19	28	29	70	84	
6	20	24	29	61	84	
7	21	24	29	75	84	
ค่าเฉลี่ย		25.40	27.40	67.00	81.12	

ตารางผนวกที่ 2 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนของการทดลองที่ 2 อายุ 35 - 42 วัน

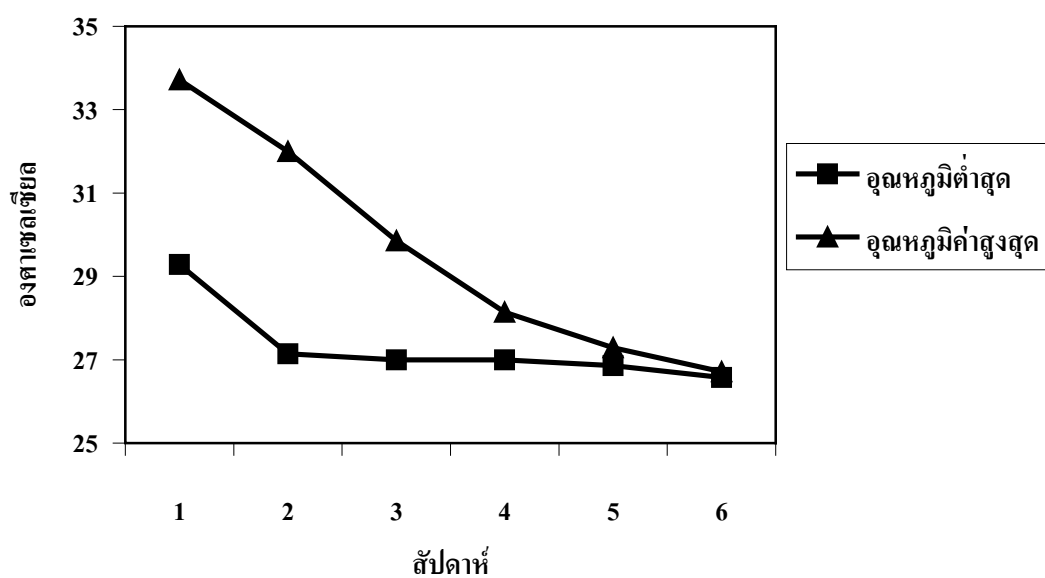
วันที่	อายุ	อุณหภูมิ		ความชื้นสัมพัทธ์		หมายเหตุ
		ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	
0	34	24	31	42	76	ปรับสภาพ
0	35	23	24	54	66	
1	36	24	25	57	82	ระหว่างการ เลี้ยง 7 วัน
2	37	25	25	72	76	
3	38	24	25	54	69	
4	39	23	25	54	76	
5	40	24	25	55	76	
6	41	24	24	52	74	
7	42	25	25	62	72	
ค่าเฉลี่ย		24.08	25.47	55.76	74.07	

ตารางผนวกที่ 3 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด สูงสุดภายในโรงเรือนระบบปิดที่ควบคุมสภาพแวดล้อมด้วยระบบไอน้ำ (Evaporative cooling system) อายุ 0 - 21 วัน

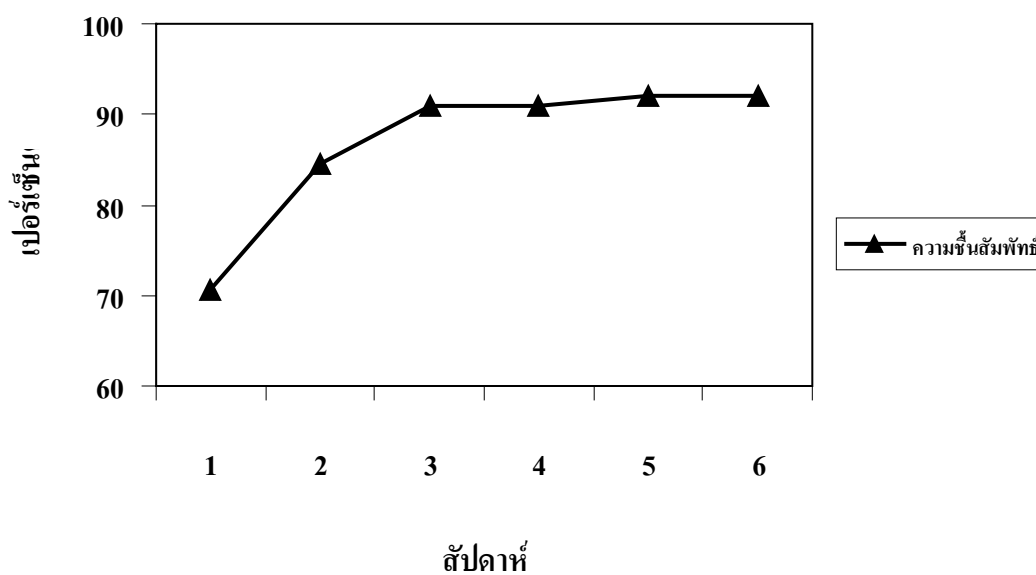
อายุ	อุณหภูมิต่ำสุด (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิค่าสูงสุด (องศาเซลเซียส)	ความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)
1	32	34	78
2	33	34	73
3	33	34	72
4	28	33	72
5	28	34	73
6	28	34	61
7	23	33	66
8	26	32	85
9	28	32	92
10	27	32	84
11	28	32	78
12	27	32	84
13	27	32	84
14	27	32	84
15	27	32	84
16	27	32	92
17	27	28	92
18	27	28	92
19	27	32	92
20	27	28	92
21	27	29	92
ค่าเฉลี่ย	27.81	31.86	82.00

ตารางผนวกที่ 4 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด สูงสุดภายในโรงเรือนระบบปิดที่ควบคุมสภาพแวดล้อมด้วยระบบไอน้ำ (Evaporative cooling system) อายุ 22-42 วัน

อายุ	อุณหภูมิต่ำสุด (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิค่าสูงสุด (องศาเซลเซียส)	ความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)
22	27	28	92
23	27	28	92
24	27	28	92
25	27	30	84
26	27	29	92
27	27	27	92
28	27	27	92
29	27	27	92
30	27	27	92
31	27	27	92
32	27	27	92
33	24	28	92
34	28	28	92
35	28	27	92
36	27	27	92
37	26	26	92
38	27	27	92
39	27	27	92
40	27	27	92
41	26	27	92
42	26	26	92
ค่าเฉลี่ย	26.81	27.38	91.62



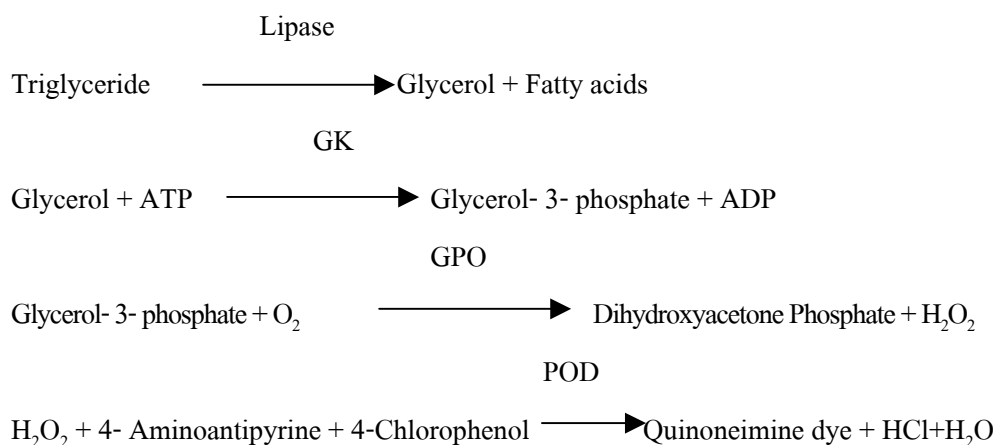
ภาพผนวกที่ 1 แสดงอุณหภูมิค่าต่ำสุด และสูงสุดต่ำในโรงเรือนระบบปิดในแต่ละสัปดาห์



ภาพผนวกที่ 2 แสดงเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนระบบปิดในแต่ละสัปดาห์

การวิเคราะห์หาไตรกลีเซอไรด์ด้วย Enzymatic Colorimetric Method โดยใช้ชุดทดสอบของ
บริษัท Human Gesellschaft für Biochemica und Diagnostica mbH

หลักการทำปฏิกิริยา



GK = Glycerol Kinase

GPO = Glycerol Phosphate Oxidase

POD = Peroxidase

H₂O₂ = Hydrogen peroxide

สาร Working reagent ประกอบด้วย

1.	PIPES Buffer (pH 7.0)	50 mmol/l
2.	4 - Chlorophenol	5 mmol/l
3.	4 - Aminoantipyrine	0.25 mmol/l
4.	Magnesium ions	4.5 mmol/l
5.	ATP	2 mmol/l
6.	Lipasen	≥ 1.3 U/ml
7.	Peroxidase	≥ 0.5 U/ml
8.	Glycerolkinase	≥ 0.4 U/ml
9.	Glycerol-3-Phosphate Oxidase	≥ 1.5 U/ml

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน

Triglycerides 200 mg/dl หรือ 2.28 mmol/l

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. หลอดทดลองขนาด 10 มิลลิลิตร
2. ไมโครปิเปตขนาดที่สามารถดูดสารละลายปริมาตร 10 และ 1,000 ไมโครลิตร
3. Water bath ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 37 ± 2 องศาเซลเซียส
4. เครื่อง Vortex mixer
5. เครื่อง Spectrophotometer ที่สามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 546 นาโนเมตร
6. Cuvette plastic

วิธีการวิเคราะห์

1. นำสารเคมีและตัวอย่างมาไว้ที่อุณหภูมิห้องก่อนทำการวิเคราะห์ (15-28 องศาเซลเซียส)
2. เขียนฉลากติดหลอดทดลอง Blank Standard และ Sample
3. เติม Working reagent 1,000 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลอง Blank Standard และ Sample
4. เติมน้ำกลั่นลงในหลอด blank เติมสารละลายมาตรฐานลงในหลอดทดลอง standard และ เติมตัวอย่างลงในหลอด Sample ปริมาณ 10 ไมโครลิตร
5. เขย่าให้เข้ากันโดยใช้เครื่อง Vortex mixer นาน 30 วินาที
6. นำไปตั้งไว้ใน Water bath ที่ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 37 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที
7. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงทันทีด้วย Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 546 นาโนเมตร

การคำนวณความเข้มข้น

$$\text{ไตรกลีเซอไรด์ (mg/dl)} = \frac{\text{ค่าดูดกลืนแสงของตัวอย่าง} \times \text{ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน}}{\text{ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐาน}}$$

การวิเคราะห์ Triiodothyronine: T3 ในซีรัม โดยใช้ Solid-phase ¹²⁵I Radioimmunoassay

หลักการ

การตรวจโดยเทคนิคนี้ ใช้สมบัตการเลือกจับอย่างจำเพาะระหว่างฮอร์โมน ซึ่งทำหน้าที่เหมือนแอนติเจน กับแอนติบอดีฮอร์โมน โดยใช้วิธีการยับยั้งแบบแข่งขัน (Competitive inhibition) ระหว่างฮอร์โมนที่ติดและไม่ติดฉลากกัมมันตภาพรังสี กับแอนติบอดี โดยสารกัมมันตภาพรังสีที่ใช้ติดฉลากฮอร์โมนคือ ไอโอดีน ชนิด ¹²⁵I ซึ่งสามารถให้รังสีแกมมาที่มีอำนาจทะลุทะลวงสูง จึงทำให้ตรวจหาฮอร์โมนในระดับต่ำ ๆ ได้ดี การตรวจวิธีนี้จะหยุดทั้งสารละลายมาตรฐานของฮอร์โมน และตัวอย่างที่ต้องการตรวจหาระดับฮอร์โมนไปพร้อม ๆ กัน โดยเติมแอนติบอดี และฮอร์โมนที่ติดฉลาก ¹²⁵I ในจำนวนที่แน่นอนลงไป แล้วนำไปรวมกับตัวอย่างสารที่ต้องการตรวจหาระดับฮอร์โมน และใช้เวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสม จากนั้นทำการแยกฮอร์โมนที่ติดฉลาก ¹²⁵I ที่อยู่ในรูปอิสระ และจับกับแอนติบอดีจากกันโดยการแยกตะกอนออกมา แล้วนำค่ากัมมันตภาพรังสีที่ได้ ไปเทียบกับค่าจากกราฟที่ได้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่อง Gamma Counter ที่ใช้กับหลอดขนาด 12 × 75 มิลลิเมตร
2. เครื่อง Vortex mixer
3. เครื่อง Centrifuge ที่ควบคุมอุณหภูมิและความเร็วรอบ 3,000 ×g
4. หลอด Polypropylene ขนาด 12 × 75 มิลลิเมตร
5. ไมโครปิเปต ขนาด 100 และ 1,000 ไมโครลิตร
6. เครื่อง Water bath ควบคุมอุณหภูมิ
7. น้ำกลั่นเพื่อใช้กับหลอด NSB
8. ปีกเกอร์ และแท่งแก้ว สำหรับการเตรียม Working solution

9. Deionized water สำหรับการเตรียม Calibrators
10. ที่วางหลอดทดลองชนิดโฟม (Foam decanting rack)
11. Volume metric pipets ขนาด 2.0 5.0 และ 7.7 มิลลิลิตร

สารเคมี

1. ^{125}I Total T3
2. Total T3 Calibrators มีปริมาณ T3 เท่ากับ 0, 20, 50, 100, 200 และ 600 นาโนกรัม/เดซิลิตร
3. หลอด Polypropylene ที่เคลือบด้วยแอนติบอดี และ T3 (Total T3 Ab Coated Tubes)

วิธีการวิเคราะห์

สารเคมีทุกชนิดควรอยู่ที่อุณหภูมิห้อง (15-28 องศาเซลเซียส) ก่อนทำการวิเคราะห์

1. เขียนฉลากติดหลอด Polypropylene ขนาด 12×75 มิลลิเมตร จำนวน 2 หลอด คือ T (Total Count) และ NSB (Nonspecific binding)
2. เขียนฉลากติดหลอดที่เคลือบด้วยแอนติบอดีและ T3 ซึ่งประกอบด้วยหลอด A ถึง F และตัวอย่างที่ต้องการหาระดับฮอร์โมน
3. ใช้ไมโครปิเปต ขนาด 100 ไมโครลิตร ดูด Zero calibrators (A) เติมลงในหลอด NSB และหลอด A เติม Calibrators B-F และตัวอย่างลงในหลอดที่ติดฉลากไว้
4. เติม ^{125}I Total T3 1 มิลลิลิตร ลงในทุกหลอด จากนั้นเขย่าด้วยเครื่อง Vortex (หลอด T หลังจากเสร็จสิ้นขั้นตอนนี้ ให้ผ่านไปยังขั้นตอนที่ 7)
5. นำทุกหลอด ยกเว้นหลอด T ไปอุ่นใน Water bath ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง
6. เทสารละลายส่วนบนออก ยกเว้นหลอด T แล้วคว่ำหลอดไว้ให้สารละลายไหลออกให้หมด เป็นเวลา 2-3 นาที
7. นำไปนับด้วยเครื่อง Gamma Counter เวลา 1 นาทีในการนับ โดยใช้ช่อง ^{125}I เพื่อหา T3

การคำนวณ

นำค่าที่นับได้ไปคำนวณด้วยโปรแกรม GMS Version 3.05 หรือ นำค่าที่ได้ไปคำนวณโดย

ค่านับได้สุทธิ = ค่าที่นับได้ – ค่าที่นับได้จากหลอด NSB

$\% \text{ Bound} = (\text{ค่าที่นับได้สุทธิ} / \text{ค่าที่นับได้สุทธิของหลอด A}) \times 100$

นำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟในกระดาษ Logit – log โดยให้แกน X เป็น % Bound และแกน Y เป็นค่าความเข้มข้นของ Calibrators A-F ลากให้เป็นเส้นตรงผ่านจุด ทราบค่าความเข้มข้นของตัวอย่าง โดยการนำ % Bound มาใส่ในกราฟ แล้วอ่านค่าความเข้มข้น

การวิเคราะห์กรดไขมันอิสระโดยวิธี salting-out technique for colorimetric (Smith, 1975)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ปีกเกอร์ ขนาด 50 100 250 และ 400 มิลลิลิตร
2. แท่งแก้ว
3. กระบอกตวง ขนาด 10 25 50 และ 100 มิลลิลิตร
4. Volumetric Flask ขนาด 1000 มิลลิลิตร
5. ขวดชมพู ขนาด 200 มิลลิลิตร
6. ปิเปต ขนาด 1 มิลลิลิตร
7. หลอดทดลองฝาเกลียว
8. Water bath ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 37 ± 2 องศาเซลเซียส
9. เครื่อง Vortex mixer
10. เครื่อง Spectrophotometer ที่สามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 546 นาโนเมตร
11. ไมโครปิเปตขนาดที่สามารถดูดสารละลายปริมาณ 10 และ 1,000 ไมโครลิตร
12. เครื่อง Centrifuge
13. Cuvette glass

สารเคมี

1. คลอโรฟอร์ม (Chloroform)
2. เฮปเทน (Heptane)
3. เมทานอล (Methanol)
4. เอทานอล (Ethanol)
5. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (Conc. HCl)
6. Na_2SO_4
7. LiSO_4
8. $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
9. ไตรเอทานอลามีน (Triethanolamine)
10. 1-ไนโตรโซ-2-แนปธอล (1-Nitroso-2-naphthol)

11. กรดไขมันโอเลอิก (Oleic acid) ความหนาแน่น 0.89 กรัมต่อมิลลิลิตร

วิธีการเตรียมสารเคมี

1. Working solution ทำโดยผสมคลอโรฟอร์ม เฮปเทนและเมทานอล ในอัตราส่วน 4:3:2 (โดยปริมาตร) เตรียมก่อนใช้ โดยผสมเฮปเทนและเมทานอลก่อน แล้วตามด้วยคลอโรฟอร์ม
2. กรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.035 N เตรียมโดยใช้ 3 มิลลิลิตรของกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น ละลายในน้ำกลั่น 1 ลิตร (สามารถเก็บไว้ใช้ได้โดยไม่จำกัดเวลา)
3. Stock salt solution เตรียม โดยนำ $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 40 กรัม Na_2SO_4 200 กรัม และ LiSO_4 100 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1 ลิตร เก็บไว้ในขวดสีชา
4. Salt reagent เตรียม โดยนำ Stock salt solution ที่เตรียมได้ในข้อ 3 จำนวน 100 มิลลิลิตรมาผสมกับ 8 มิลลิลิตรของไตรเอทานอลามีน (เตรียมก่อนใช้อย่างน้อย 15 นาที)
5. เตรียมเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ โดยตวงเอทานอลมา 95 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน
6. Indicator solution โดยใช้ 0.2 กรัมของ 1-ไนโตรโซ-2-แนปธอลละลายในเอทานอล 95 % จากข้อ 5 ในปริมาตร 1 ลิตร เก็บไว้ในขวดสีชาสามารถเก็บไว้ได้โดยไม่จำกัดเวลา

วิธีการวิเคราะห์

1. ใช้ปิเปตดูด Working solution จำนวน 4 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองฝาเกลียวที่สะอาด
2. เติมน้ำกลั่นตัวอย่าง 100 ไมโครลิตรลงในหลอดจากข้อ 1 (ในกรณีที่ เป็น Blank ใช้เฮปเทนใส่แทนสารละลายตัวอย่าง) ปิดฝาหลอดทดลองเขย่าด้วย Vortex mixer เป็นเวลา 1 นาที
3. จากนั้นเติมกรดไฮโดรคลอริก 0.035 N 1 มิลลิลิตรในหลอดทดลองแล้วปิดฝาหลอด เขย่าด้วย Vortex mixer อีก 3 นาที แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 2,200 รอบต่อนาที นาน 3 นาที
4. สารละลายจะแยกเป็น 2 ชั้น ดูดสารละลายชั้นบนออกไปทิ้งเลย (ในกรณีที่ตัวอย่างเป็นพลาสมาหรือซีรัมให้ระวังการดูดสารละลายอย่าให้กระทบชั้นโปรตีนที่คั่นระหว่างสารละลายชั้นบนและชั้นล่าง)

5. จากนั้นเติม Salt reagent 2 มิลลิลิตร ปิดฝาหลอดทดลอง เขย่าเป็นเวลา 3 นาทีแล้วจึงนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 2,200 รอบต่อนาที นาน 5 นาที
6. สารละลายจะแยกเป็น 2 ชั้น จากนั้นดูดสารละลายชั้นบนออกมาใส่ในหลอดทดลองที่สะอาด 2 มิลลิลิตรแล้วเติม Indicator solution 1 มิลลิลิตร เขย่าเบา ๆ 3-5 ครั้งด้วยมือ
7. ทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที เพื่อให้สารละลายเกิดปฏิกิริยาจนสมบูรณ์ ถ่ายสารละลายไปยัง Cuvette glass นำไปอ่านค่าการดูดกลืนแสงที่ 435 นาโนเมตร ค่าที่ได้นำไปคำนวณปริมาณกรดไขมันอิสระโดยเทียบกับ Standard curve ที่ได้จากการวัดไขมันโอลิอิก

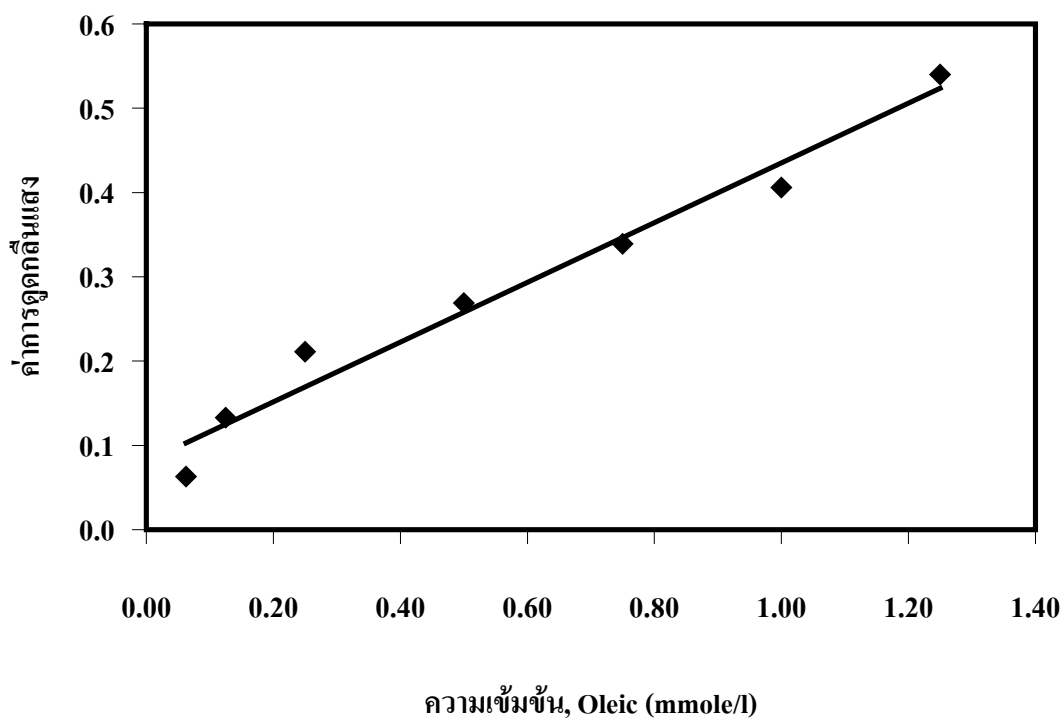
การทำ standard curve

ละลายกรดไขมันโอลิอิกในเฮปแทน ให้มีความเข้มข้น 0.0625 0.125 0.25 0.5 0.75 1.00 และ 1.25 mmol /l นำสารละลายผสมที่ได้ไปวิเคราะห์ตามวิธีการวิเคราะห์กรดไขมันอิสระที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ค่าดูดกลืนแสงที่ได้นำไปพล็อตกับค่าความเข้มข้นของกรดไขมันจะได้ standard curve ที่ใช้ในการหาปริมาณกรดไขมันอิสระในตัวอย่างต่าง ๆ ได้

ในการทำ standard curve ครั้งนี้ค่าของการดูดกลืนแสง ได้จากสารละลายกรดไขมันโอลิอิก ที่ ความเข้มข้นต่าง ๆ ปรากฏดังในตารางที่ 5 และเมื่อนำไปเขียนกราฟจะได้ดังในภาพที่ 3 โดยให้ความเข้มข้นของกรดไขมันอิสระเป็นแกน Y และการดูดกลืนแสงเป็น แกน X

ตารางผนวกที่ 5 ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันอิสระและค่าการดูดกลืนแสง

ความเข้มข้นของกรดไขมันอิสระ (mmol/l)	ค่าการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น 435 นาโนเมตร
0.0625	0.063
0.125	0.133
0.25	0.211
0.5	0.269
0.75	0.339
1.00	0.406
1.25	0.540



ภาพผนวกที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกรดไขมันชนิดกรดโอเลอิกในความเข้มข้นต่าง ๆ

จากรูปที่ 1 ค่า linear regression มีสมการเป็นดังนี้

$$Y = 0.3542X - 0.0809$$

$$R^2 = 0.9708$$

โดย Y เป็นความเข้มข้นของกรดไขมันอิสระ มีหน่วยเป็น mmol / l

X เป็นค่าการดูดกลืนแสงที่ 435 นาโนเมตร

สมการนี้มีค่า correlation coefficient 0.97

วิธีการวิเคราะห์ค่ากรดยูริกในพลาสมาแบบวิธี Phosphotungstate Carbonate

หลักการ

ในภาวะที่เป็น Alkaline uric acid จะถูกออกซิไดซ์ด้วย Phosphotungstate เป็น Allantoin ขณะเดียวกันที่ Phosphotungstate จะถูกรีดิวซ์ได้เป็น Tungsten Blue ซึ่งนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. หลอดทดลองขนาด 6 มิลลิลิตรและขนาด 12×75 มิลลิลิตร
2. ไมโครปิเปตขนาดที่สามารถดูดสารละลายปริมาตร 200 และ 1,000 ไมโครลิตร
3. ปิเปต ขนาด 1 มิลลิลิตร
4. เครื่อง Centrifuge
5. เครื่อง Vortex mixer
6. เครื่อง Spectrophotometer ที่สามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 700 นาโนเมตร
7. Cuvette plastic

สารเคมี

1. Phosphotungstic acid
2. Sodium carbonate

วิธีการวิเคราะห์

1. นำสารเคมีและตัวอย่างมาไว้ที่อุณหภูมิห้องก่อนทำการวิเคราะห์ (15-28 องศาเซลเซียส)
2. เขียนฉลากติดหลอดทดลองขนาด 6 มิลลิลิตร (Blank และ Sample)
3. เติม Phosphotungstic acid จำนวน 2 มิลลิลิตร ในหลอดทดลอง

4. เติมน้ำกลั่นลงหลอด Blank และ เติมตัวอย่างลงในหลอด Sample ปริมาณ 200 ไมโครลิตร
5. เขย่าเบา ๆ เพื่อให้ทำปฏิกิริยา โดยใช้มือเขย่า และไม่ควรใช้เครื่อง Vortex mixer เพราะจะทำให้ตะกอนโปรตีนแตกกระจายมาก (การตกตะกอนเพื่อเอาโปรตีนออกนั้น หากเขย่าแรงด้วยเครื่อง Vortex mixer ตะกอนจะกระจาย เมื่อเท Supernatant ลงในหลอดทดลองใหม่โปรตีนจะลงไปด้วย อย่างไรก็ตามเมื่อตั้งทิ้งไว้ตะกอนจะตกลงไปที่ก้นหลอดซึ่งสามารถนำไปวัดค่าได้)
6. ตั้งไว้ 15 นาที แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงแยกตะกอนด้วยเครื่อง Centrifuge ประมาณ 5 - 10 นาที
7. ดูดส่วน Supernatant ลงในหลอดทดลองขนาด 12 × 75 มิลลิลิตรจนหมด อย่าให้ตะกอนโปรตีนฟุ้ง
8. เติม Sodium carbonate จำนวน 1 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่อง Vortex mixer ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที เพื่อให้สารละลายเกิดปฏิกิริยาจนสมบูรณ์
9. ถ่ายสารละลายไป Cuvette plastic นำไปอ่านค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร
10. นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณปริมาณกรดยูริกโดยเทียบกับ Standard curve ที่ได้

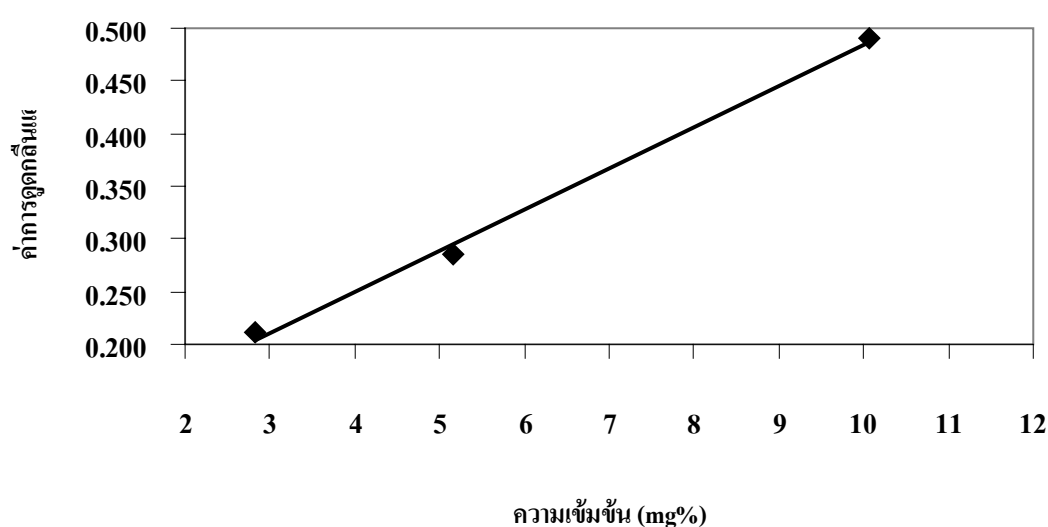
การทำ standard curve

ใช้สารละลายกรดยูริกมาตรฐาน (Uric acid standard solution, No. 11301 - S3) ชนิด Ready for use สำหรับทำ standard curve ของกรดยูริกเท่านั้น โดยมีความเข้มข้น 3 ระดับ คือ 2.83, 5.16 และ 10.06 mg% ซึ่งเป็นค่า Assay ของวิธีการวิเคราะห์เดียวกัน นำสารละลายแต่ละความเข้มข้นไปวิเคราะห์ตามวิธีการวิเคราะห์กรดยูริกดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้นำไปพล็อตกับค่าความเข้มข้นของกรดยูริกจะได้ standard curve ที่ใช้ในการหาปริมาณกรดยูริกในตัวอย่างต่าง ๆ ได้

ในการทำ standard curve ครั้งนี้ค่าของการดูดกลืนแสงได้จากสารละลายที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ปรากฏดังในตารางที่ 6 และเมื่อนำไปเขียนกราฟจะได้ดังในภาพที่ 4 โดยให้ความเข้มข้นของกรดยูริกเป็นแกน Y และการดูดกลืนแสงเป็น แกน X

ตารางผนวกที่ 6 ค่าความเข้มข้นของกรดและค่าการดูดกลืนแสง

ความเข้มข้นของกรดยูริก (mg%)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร
2.83	0.211
5.16	0.285
10.06	0.491



ภาพผนวกที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกรดยูริกใน
ความเข้มข้นต่าง ๆ

จากภาพผนวกที่ 4 ค่า linear regression มีสมการเป็นดังนี้

$$Y = 25.433X - 2.3466$$

$$R^2 = 0.9961$$

โดย Y เป็นความเข้มข้นของกรดยูริก มีหน่วยเป็น mg%

X เป็นค่าการดูดกลืนแสงที่ 700 นาโนเมตร

สมการนี้มีค่า correlation coefficient 0.996

วิธีการวัดค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH)

หลักการ

เครื่อง pH จะวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างอิเล็กโทรดทั้ง 2 คือ อิเล็กโทรดแก้ว และอิเล็กโทรดมาตรฐาน ศักย์ไฟฟ้าของอิเล็กโทรดแก้วจะเปลี่ยนแปลงไปตามความเป็นกรด – ด่างของสารละลาย ซึ่งไวต่อการเปลี่ยนแปลง (H^+) แต่ไม่ไวต่อไอออนชนิดอื่น ส่วนอิเล็กโทรดมาตรฐานจะให้ศักย์ไฟฟ้ามาตรฐาน

ความเป็นกรด – ด่างเป็นปัจจัยสำคัญในการช่วยละลายสารต่างๆ ซึ่งการหาค่า pH นี้เป็นการหาจำนวนของ H^+ กับ OH^- ในหน่วยกรัมสมมูลต่อลิตร (gmE/liter) น้ำบริสุทธิ์จะมีค่าคงที่ K เท่ากับ 10^{-14} ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ดังนั้นที่ความเป็นกลาง (H^+) = (OH^-) = 10^{-7} ค่าของ pH จะออกมาในรูปลอการิทึม คือ $pH = -\log (H^+)$

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวัดความเป็นกรดด่าง (pH meter)
2. บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
3. กระป๋องมีฝาปิดขนาด 10 มิลลิลิตร
4. กระบอกตวง
5. แท่งแก้ว
6. เครื่องซังคิติดอล
7. เครื่อง Vortex mixer
8. นาฬิกาจับเวลา
9. กระดาษทิชชู

สารเคมี

1. สารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน pH 7.0 ± 0.02 และ 4.01 ± 0.01 อุณหภูมิ $25^\circ C$
2. น้ำกลั่น Deionized

วิธีการวิเคราะห์

1. สอบเทียบเครื่อง pH meter ก่อนทำการวัดความเป็นกรด - ด่างทุกครั้ง
2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง (อาหาร มูล และ Digesta) ที่ต้องการวัดค่าความเป็นกรด - ด่าง ใน
กระปุก
3. ตวงน้ำกลั่น Deionized ปริมาณ 3 เท่า เพื่อเจือจางตัวอย่าง อัตราส่วน (ตัวอย่าง : น้ำ
กลั่น เท่ากับ 1:3) แล้วปิดฝากระปุก
4. นำมาเขย่าด้วยเครื่อง Vortex mixer นาน 1 นาที
5. นำไปวัดค่า pH โดยเครื่อง pH meter ใช้เวลา 30 วินาที โดยวัดส่วนข้างบนที่เป็นน้ำใส ๆ
6. ก่อนวัดตัวอย่างต่อไป ต้องล้างหัวอิเล็กโทรดด้วยน้ำกลั่น Deionize ใช้กระดาษทิชชูซับ
น้ำออก แต่ไม่ควรเช็ดอิเล็กโทรดให้แห้ง เพราะอาจทำให้เกิดไฟฟ้าสถิตย์ที่ผิวของอิเล็กโทรด

การสอบเทียบเครื่อง pH

1. สอบเทียบโดยใช้สารละลายมาตรฐาน 2 จุด คือ pH 7.0 และ 4.01
2. ล้างหัวอิเล็กโทรดด้วยน้ำกลั่น Deionize ใช้กระดาษทิชชูซับน้ำออก แต่ไม่ควรเช็ดอิเล็กโทรด
3. จุ่มอิเล็กโทรดในสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน pH 7.0 แล้วปรับค่าให้ตรงกับสาร
ละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน
4. จากนั้นล้างหัวอิเล็กโทรดให้สะอาดด้วยน้ำกลั่น Deionize ใช้กระดาษทิชชูซับน้ำออก
5. จุ่มอิเล็กโทรดในสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน pH 4.01 แล้วปรับค่าให้ตรงกับสาร
ละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน
6. ล้างหัวอิเล็กโทรดให้สะอาดด้วยน้ำกลั่น Deionize ระหว่างที่รอวัดค่าให้จุ่มหัวอิเล็กโทรดไว้ในบีกเกอร์ที่มีน้ำกลั่น Deionize อยู่

วิธีการหาค่าการอัดแน่นของเม็ดเลือดแดง (Pack cell volume:PCV หรือ Haematocrit)

ความหมาย

คือ ค่าเปอร์เซ็นต์สัมพันธ์ของปริมาตรเม็ดเลือดแดงในเลือดต่อปริมาตรเลือดทั้งหมด ที่ได้จากการคำนวณสัดส่วนระหว่างปริมาตรเป็นมิลลิตรของเม็ดเลือดแดงอัดแน่น (Packed red blood cells) ต่อปริมาตร เป็นมิลลิตรทั้งหมดของตัวอย่างเลือด มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ ค่าดังกล่าวเป็นดัชนีแสดงถึงความเข้มข้นของเม็ดเลือดแดงในเลือด การหาค่า Haematocrit อาจทำได้ 2 วิธี คือ

คำนวณหาจากค่า MCV และ RBC count ที่วัดได้โดยเครื่องนับเม็ดเลือดอัตโนมัติ ปั่น (Centrifugation) ตัวอย่างเลือดเพื่อหาสัดส่วนระหว่างปริมาตรของเม็ดเลือดแดงอัดแน่นต่อปริมาตรทั้งหมดของตัวอย่างเลือด (ค่าที่ได้อาจแตกต่างจากการคำนวณข้างต้น)

หลักการ

แรงหมุนเหวี่ยงของเครื่องปั่น (Centrifuge) สามารถแยกส่วนต่างๆ ของเลือดออกจากกันตามความแตกต่างของน้ำหนัก เซลล์เม็ดเลือดและเกล็ดเลือดมีความหนาแน่นสูงกว่า จึงแยกออกจากชั้นของพลาสมาแล้วเคลื่อนลงสู่ก้นหลอด (ทิศทางเข้าสู่แกนกลางของเครื่องปั่น) เม็ดเลือดแดงมีขนาดเล็กกว่าสามารถผ่านลงสู่ก้นหลอดและอัดแน่นอยู่ล่างสุด เม็ดเลือดขาว เกล็ดเลือด และเม็ดเลือดแดงที่มีนิวเคลียส กระจุกตัวรวมเป็นชั้นเรียกว่า buffy coat อยู่เหนือเม็ดเลือดแดงอัดแน่น และชั้นบนสุดคือพลาสมาเป็นของเหลวสีเหลือง

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. หลอด Heparinized capillary
2. หลอดใส่เลือดที่เคลือบสาร Heparinized
3. ดินน้ำมัน
4. เครื่อง Haematocrit centrifuge
5. เครื่อง Microhaematocrit Reader

วิธีการวิเคราะห์แบบ Micro – haematocrit

1. เลือด 1 ตัวอย่าง ให้เตรียม Heparinized capillary tube 3 หลอด เพื่อนำมาหาค่ากลาง
2. ผสมตัวอย่างเลือดในหลอดเลือดที่ใส่สารป้องกันการแข็งตัวให้เข้ากัน
3. จุ่มปลายข้างหนึ่งของหลอด Capillary ลงในตัวอย่างเลือด เอียง Capillary tube และหลอดเลือดเพื่อให้เลือดไหลเข้าสู่หลอดตามแรง Capillary action ประมาณ 3 ใน 4 หลอด ใช้นิ้วชี้อุดปลายหลอดด้านบน พร้อมยกออกจากหลอดเลือดตัวอย่าง แล้วเช็ดทำความสะอาดหลอดรอบนอก
4. กดปลายล่างด้านที่บรรจุเลือดของหลอด Capillary ตรงๆ ลงบนดินน้ำมันพร้อมปล่อยนิ้วที่อุดปลายด้านบนออกเพื่อป้องกันการแตกของเม็ดเลือด กดซ้ำลงบนดินน้ำมัน 1-2 ครั้ง
5. ทำเครื่องหมายประจำกลุ่ม แล้วนำมาปั่นด้วยเครื่อง Haematocrit centrifuge ความเร็ว 10,000 – 20,000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที
6. นำหลอด Capillary ที่ปั่นแล้วมาวางบนร่องของ Microhaematocrit Reader โดยให้ขอบด้านบนของดินน้ำมัน (ขอบด้านล่างของเม็ดเลือดแดงอัดแน่น) อยู่บนเส้นฐานของ Reader แล้วเลื่อนแผ่นพลาสติก เพื่อให้เส้นทาบขอบด้านบนของพลาสติกเป็นขีด 100 เปอร์เซ็นต์ แล้วเลื่อน Slider bar (ที่จับสีดำด้านขวาของ ARM) ไปยังขอบระหว่างเม็ดเลือดแดงอัดแน่นและ buffy coat หรือพลาสติก อ่านค่าเปอร์เซ็นต์ด้านบนของ AMR และบันทึก
7. หาค่ากลาง Haematocrit

วิธีการหาไขมันทั้งหมด (Total lipid)

หลักการ

ไขมันทั้งหมดเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำ สามารถสกัด (Extract) ไขมันทั้งหมดออกจากเซลล์และเนื้อเยื่อได้ โดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น คลอโรฟอร์ม (Chloroform) เมทานอล (Methanol) อะซีโตน (Acetone) เป็นต้น ซึ่งการสกัดได้ดัดแปลงจากวิธีของ Folch (1957)

สารเคมี

1. Chloroform
2. Methanol

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ขวดแก้วรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask)
2. ปีกเกอร์
3. แท่งแก้ว
4. กรวยกรอง (Funnel)
5. กรวยกรองแบบแยก (Separatory funnel)
6. Water bath ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้
7. Round bottom flask
8. กระบอกตวง (Cylinder)
9. กระจกกรองเบอร์ 1
10. ไมโครปิเปต และ Dropper
11. เครื่อง Homogenize
12. เครื่อง Vortex mixer
13. เครื่องดูด (Suction)
14. ตู้อบ (Oven)
15. เครื่องชั่งดิจิทัล

วิธีการวิเคราะห์

1. นำตับที่ได้จากการสุ่มตัวอย่าง ออกจากตู้เย็นปล่อยทิ้งไว้ให้อุณหภูมิสูงขึ้นด้วยอุณหภูมิห้อง
2. ชั่งน้ำหนักตับที่บดแล้ว 3-4 กรัม ใส่ลงในขวดแก้วรูปชมพู่
3. เติม Chloroform : Methanol (2:1 v/v) ลงไป 30 ml ลงในขวดแก้วรูปชมพู่
4. นำไปผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่อง Homogenize ความเร็ว 20,000 รอบ/นาที นาน 1 นาที
5. เขย่าแรง ๆ ด้วยเครื่อง Vortex mixer เพื่อให้การสกัดไขมันเกิดขึ้นได้สมบูรณ์
6. กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 ลงในขวดแก้วรูปชมพู่โดยใช้เครื่องดูด (Suction) ช่วย
7. นำกากที่ได้มาล้างด้วย Chloroform : Methanol (2:1 v/v) จำนวน 30 มิลลิลิตร อีกครั้ง
8. รวมสารละลายที่กรองได้ลงใน Round bottom flask แล้วเทลงในปิកเกอร์ที่ทราบน้ำหนัก
9. นำไประเหยเอา Solvent ออกด้วยเครื่อง Water bath ที่อุณหภูมิประมาณ 60 – 70 องศาเซลเซียส
10. นำไปอบเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง แต่อย่าให้ไหม้เพราะอาจเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้
11. ใส่ในโถดูดความชื้น แล้วชั่งหาน้ำหนักของไขมันที่สกัดได้

การวัดความแข็งแรงของกระดูก (Bone breaking strength)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องมือวัดความแข็งแรงของกระดูก ได้แก่ เครื่อง Autograph (universal testing machine) ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น AG 10 TE
2. แผ่นทดสอบแรงคดทำลาย ซึ่งเป็นชุดเครื่องมือสำหรับใช้วัดแรงคด (3 point bending) ที่สามารถปรับระยะห่างระหว่างจุดรองรับกระดูกความเร็วหัวกด และขนาดหัวกดได้
 - ระยะระหว่างจุดรองรับกระดูก (span length) 62.45 มิลลิเมตร
 - อัตราเร็วของหัวกด (test speed) 50 มิลลิเมตรต่อนาที

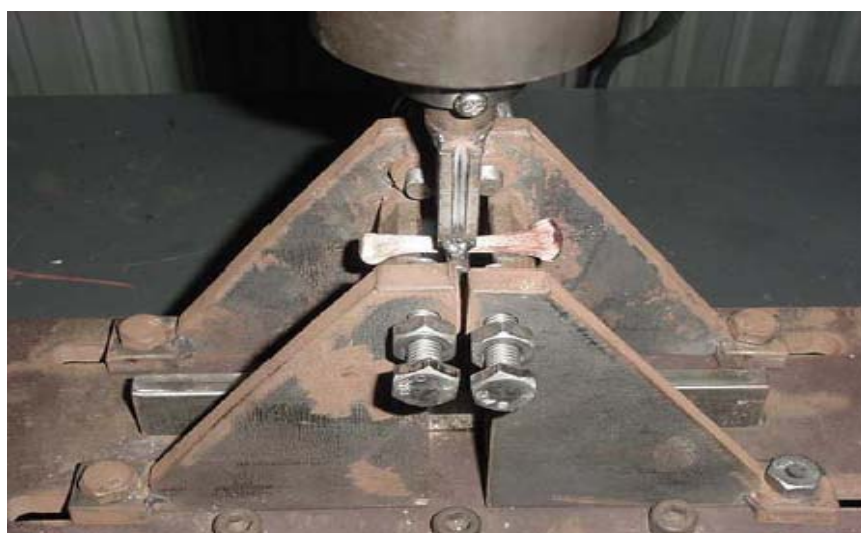
เส้นผ่าศูนย์กลางหัวกด 6.35 มิลลิเมตร

น้ำหนักของ Load cell 50 kN/500 kgf

3. รายงานผลออกทางหน้าจอแสดงผล (monitor) เป็นตัวเลข การตั้งค่าเครื่องมือตามวิธีของ Crenshaw *et al.* (1981b) และ Johnson *et al.* (1992)

ขั้นตอนการวัดความแข็งแรงของกระดูก

1. นำกระดูก Tibia ออกมาไว้ที่อุณหภูมิห้องจนกระดูกมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง (ประมาณ 12 ชั่วโมง) จากนั้นนำมาตากไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2-3 วัน
2. นำกระดูกที่ละลายจนสมบูรณ์มาวางบนคาน โดยจะวางด้านที่เว้าลงด้านล่างหันเข้าหาพื้นเสมอ ดังภาพผนวกที่ 5
3. เดินเครื่องตามสถานะเครื่องที่ได้ตั้งไว้
4. อ่านค่าแรงสูงสุดที่ได้ ซึ่งค่าที่ได้นี้เป็นค่ามวลปรากฏ (apparent mass; M_{app}) นำมาเข้าสมการ เพื่อให้ได้ค่าแรงที่แท้จริง จากนั้นจึงนำมาคำนวณหาค่าความแข็งแรงของกระดูกต่อไป



ภาพผนวกที่ 5 ลักษณะการวางกระดูกเพื่อวัดความแข็งแรงของกระดูก

การสอบเทียบมวลมาตรฐาน (Standard mass, Mstd.)

เพื่อให้ทราบค่าแรงกดที่แท้จริงเนื่องจากค่าที่ปรากฏจะไม่ตรงกับค่าแรงที่แท้จริง ดังนั้นจึงต้องมีการสอบเทียบโดยใช้มวลมาตรฐานที่น้ำหนัก 10-70 กิโลกรัม วิธีการคือ

1. ติดตั้งเครื่องมือให้พร้อมสำหรับการสอบเทียบมวลมาตรฐาน

1.1 วางมวลมาตรฐานบนเครื่องมือและอ่านค่าแรงที่เกิดขึ้นและค่อย ๆ เพิ่มมวลมาตรฐานเรื่อย ๆ (increase) ทำจนครบน้ำหนักที่ต้องการ

1.2 ลดน้ำหนักมวลมาตรฐานลง (decrease) อ่านค่าแรงที่ได้อีกครั้ง

2. นำค่าที่ได้ในข้อ 1.1 และ 1.2 มาเฉลี่ย ดังแสดงในตารางผนวกที่ 7

3. จากนั้นนำค่าเฉลี่ยที่ได้จากข้อ 2 ไปสร้างกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของมวลมาตรฐานกับค่ามวลปรากฏ สมการแสดงความสัมพันธ์ดังนี้

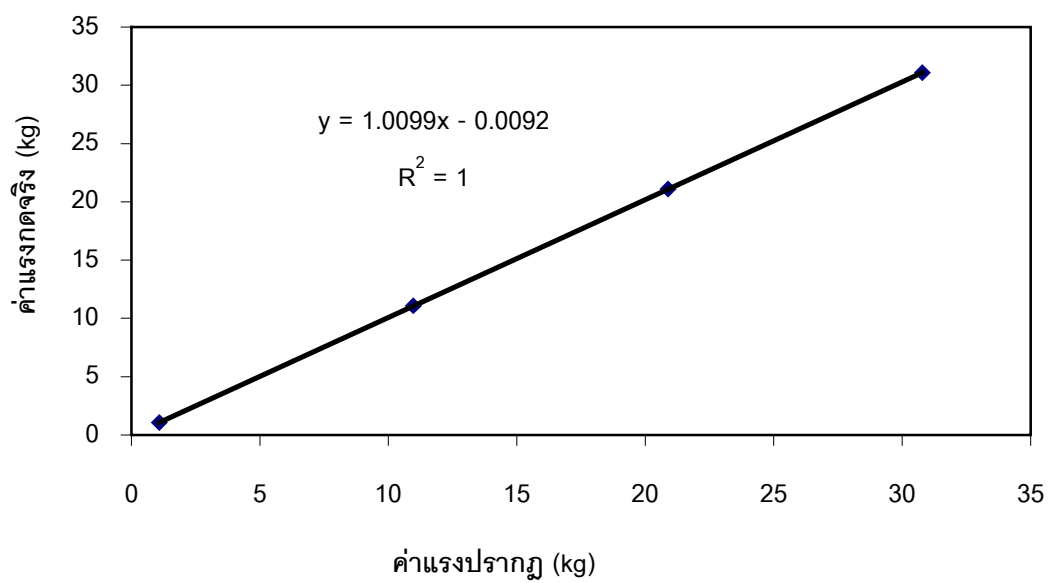
$$Y = 1.0099X - 0.0092$$

โดย Y = มวลมาตรฐาน (Mstd; kg)

X = มวลปรากฏ (Mapp; kg)

ตารางผนวกที่ 7 การสอบเทียบน้ำหนักจากมวลมาตรฐานของกราฟที่มีช่วงระยะห่าง 10 (range 10)

ลำดับ	มวลมาตรฐาน (กิโลกรัม)	ค่าปรากฏ (kgf)		ค่าเฉลี่ยมวลปรากฏ
		Increasing	Decreasing	
1	1.1	1.1	1.1	1.1
2	11.1	11.0	11.0	11.0
3	21.1	20.9	20.9	20.9
4	31.1	30.8	30.8	30.8



ภาพผนวกที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างมวลมาตรฐานกับมวลปรากฏของกราฟที่มีช่วงระยะห่าง 10 (range 10)

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล

นางสาวตวรรณ สุขศรีแดง

วัน เดือน ปี ที่เกิด

วันที่ 21 มกราคม พ.ศ. 2524

สถานที่เกิด

อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

ประวัติการศึกษา

ชั้นประถมศึกษาโรงเรียนพิมานวิทย์นราธิวาส (พ.ศ.
2537)

ชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนนราธิวาส (พ.ศ. 2540)

ชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนนราธิวาส (พ.ศ. 2542)

วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยสงขลา

นครินทร์ (พ.ศ. 2545)

ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน

นักวิจัย

สถานที่ทำงานปัจจุบัน

บริษัท ศูนย์วิจัยสัตว์กรุงเทพ จำกัด

