

ผลของระดับโปรตีนและกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิต ภูมิคุ้มกัน และการเกิด Fatty Liver Syndrome ในไก่ไข่

Effect of Dietary Protein and Methionine Levels on Production Performance, Immunity and Fatty Liver Syndrome in Laying Hens

คำนำ

ในอดีตการศึกษาความต้องการโปรตีนในไก่ไข่พบความหลากหลายของระดับโปรตีน ที่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิต Miller *et al.* (1957) และ Adum *et al.* (1958) รายงานว่าไก่ไข่มีความต้องการโปรตีนในอาหารต่ำสุด 12-14 เปอร์เซ็นต์ การลดระดับโปรตีนและการเสริมกรดอะมิโนที่จำเป็น เช่น เมทไธโอนีนสามารถทำให้ผลผลิตเทียบเท่ากับไก่ที่ได้รับอาหารโปรตีนสูง (Bray, 1964; Fernandez *et al.*, 1973; Roland, 1980) อย่างไรก็ตาม มีรายงานเช่นกันว่า การลดระดับโปรตีนและเสริมกรดอะมิโนยังให้ผลผลิตได้ไม่ดีเท่ากับการเลี้ยงด้วยอาหารโปรตีนสูง (Keshavarz, 1984; Calderon and Jensen, 1990) ซึ่งผลผลิตที่ลดลงอาจมีสาเหตุจากการได้รับสารอาหารไม่เพียงพอ (Reedy, 1968) นอกจากนั้นสุขภาพหรือภาวะภูมิคุ้มกันโรคของสัตว์ เป็นปัจจัยสำคัญในการผลิตสัตว์เช่นกัน โดยไก่ที่เจ็บโตช้าหรือให้ผลผลิตไข่ไม่เต็มทีนั้นอาจได้รับการรบกวนจากโรค หรือมีสาเหตุชักนำให้เกิดโรค เช่น การได้รับสารอาหารไม่ครบถ้วนตามปริมาณที่ต้องการ ทำให้ไก่อ่อนแอและเกิดความเครียด อาหารที่มีโปรตีนต่ำแต่พลังงานสูง ทำให้มีการสะสมไขมันในตับมากขึ้น (Duke *et al.*, 1968) อาจนำไปสู่ปัญหา Fatty liver syndrome ในไก่ไข่ ส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตไข่ลดลงมากกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ (Anonymous, 1997) โดยเป็นไปได้ว่าปริมาณความต้องการสารอาหารเพื่อผลผลิตที่เหมาะสมนั้น อาจจะต่ำกว่าความต้องการสารอาหารเพื่อสุขภาพที่ดีและภาวะภูมิคุ้มกันที่เหมาะสม

เนื่องจากไก่ไข่ต้องสร้างไขมันเพื่อเป็นองค์ประกอบในฟองไข่ กระบวนการ metabolism ของไขมันจึงมีความสำคัญต่อไก่ไข่ กรดอะมิโนเมทไธโอนีน ซึ่งจัดเป็น first limiting amino acid และยังเป็นสารอาหารจำพวก lipotropic factor ที่มีผลต่อ metabolism ของไขมันในร่างกาย โดยกรดอะมิโนนี้ทำหน้าที่ในการให้หมู่เมทิล (methyl donor) ที่ดีจึงเกี่ยวข้องกับโคลีน (choline) และกระบวนการสังเคราะห์ฟอสฟาติดีลโคลีน (phosphatidylcholine) (เกียรติศักดิ์, 2545) ดังนั้นการขาด

กรดอะมิโนเมทไธโอนีนจึงทำให้เกิดการขาดฟอสโฟลิปิดซึ่งเป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ ดังนั้นจึงไม่สามารถนำไขมันออกไปสู่อวัยวะต่างๆ การสะสมไตรเอซิลกลีเซอรอลในตับเพิ่มขึ้น แม้ว่าอัตราการสังเคราะห์และการออกซิเดชันไขมันเพื่อนำไปใช้ยังคงปกติอยู่ก็ตาม (May, 1983) การขาดกรดอะมิโนเมทไธโอนีนจึงอาจนำไปสู่ภาวะความผิดปกติในการทำงานของตับ (Liver disfunction) หรือ Fatty Liver Syndrome ได้ โดย Nesheim *et al.* (1971) และ Griffith *et al.* (1969) รายงานว่าไก่ที่ได้รับอาหารที่มีโคลีนต่ำมีไขมันในตับสูง การเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารโปรตีนต่ำทำให้การสะสมไขมันตับลดลง (Roberson *et al.*, 1970) นอกจากนั้นยังมีรายงานว่าไก่ได้รับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนจากอาหารในระดับที่สูงหรือต่ำเกินไป อาจส่งผลให้เกิดกรดอะมิโนไม่สมดุลและส่งผลต่อระบบภูมิคุ้มกันของไก่

จากที่กล่าวมา งานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมาย เพื่อศึกษาผลของระดับโปรตีน และกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหาร ที่เหมาะสมต่อสมรรถภาพการผลิต และภาวะภูมิคุ้มกันโรคของไก่ไข่ในระยะให้ผลผลิตสูงสุดและระยะหลังการให้ผลผลิตสูงสุด

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลของระดับโปรตีนต่อสมรรถภาพการผลิต ภูมิคุ้มกันและการเกิด Fatty Liver Syndrome ของไก่ไข่
2. ศึกษาผลของระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิต ภูมิคุ้มกันและการเกิด Fatty Liver Syndrome ในไก่ไข่

การตรวจเอกสาร

ความต้องการโปรตีนของไก่ไข่

โปรตีนมีบทบาทสำคัญในกระบวนการทางชีวเคมีทุกชนิด (พจน์ และคณะ, 2543) เป็นโภชนะที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตและการดำรงชีวิต ไก่กินโปรตีนเพื่อต้องการกรดอะมิโนในโปรตีนไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนที่เป็นส่วนประกอบของร่างกาย ได้แก่ ขน ผิวหนัง และกล้ามเนื้อ โครงสร้าง ตลอดจนสารที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ metabolism ต่างๆ ในร่างกาย เช่น เอ็นไซม์ ฮอร์โมน ฮีโมโกลบิน ในเม็ดเลือดแดง อิมมูโนโกลบูลิน เป็นต้น (Robinson, 1978) ในไก่ไข่นอกจากจุดประสงค์ของความต้องการกรดอะมิโนข้างต้นแล้ว ยังต้องการกรดอะมิโนเพื่อเป็นส่วนประกอบของโปรตีนในไข่อีกด้วย (Cole and Van Lumen, 1994) Scott *et al.* (1982) รายงานว่า ถ้าปัจจัยด้านการจัดการถูกควบคุมเป็นอย่างดีแล้ว ปัจจัยที่มีผลต่อการกินอาหารและความต้องการโปรตีนของไก่ไข่ คือ ขนาดและพันธุ์ไก่ไข่ อุณหภูมิสภาพแวดล้อม ระยะการให้ผลผลิต และระดับของพลังงานในอาหาร

Harms *et al.* (1962) รายงานความต้องการโปรตีนในอาหารของไก่ไข่ว่า อาหารโปรตีนสูงควรมีโปรตีน 17 เปอร์เซ็นต์ และอาหารโปรตีนต่ำควรมีโปรตีน 13 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับพลังงานในอาหารและฤดูกาลในแต่ละปี โดยนักโภชนาการหลายท่านแนะนำให้ใช้อาหารที่มีระดับโภชนะทุกชนิดสูงกว่าที่ร่างกายไก่ต้องการ เนื่องจากคาดว่าความเครียดเนื่องจากธรรมชาติ เช่น โรคอาจมีผลทำให้ความต้องการโภชนะสูงขึ้น (Harms *et al.*, 1967b)

Peterson *et al.* (1966) รายงานว่า อัตราการเจริญเติบโตของไก่ไข่นั้นสัมพันธ์โดยตรงกับเปอร์เซ็นต์โปรตีน และระดับของกรดอะมิโนในอาหาร การให้อาหารโปรตีนต่ำ ทำให้สัตว์มีการเจริญเติบโตช้า อย่างไรก็ตาม Wiseman (1987) กล่าวว่าความต้องการโปรตีนของไก่ไข่ขึ้นอยู่กับปริมาณผลผลิตไข่ มากกว่าเพิ่มน้ำหนักตัว โดยความต้องการโปรตีนเพื่อการดำรงชีพมีอยู่ประมาณ 2-4 กรัม/วัน ขณะที่ความต้องการโปรตีนเพื่อสร้างไข่สูงถึง 12-14 กรัม/วัน นอกจากนั้น NRC (1994) แนะนำว่าระดับโปรตีนในอาหารไก่ไข่ที่อยู่ในช่วงให้ผลผลิตควรอยู่ที่ 16.5 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามการให้อาหารที่มีปริมาณโปรตีนหรือในอาหารมีกรดอะมิโนตัวใดตัวหนึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการของสัตว์ ทำให้การสร้างและการสะสมโปรตีน การเจริญเติบโต รวมถึงการให้ผลผลิตลดลง Reid (1976) รายงานว่าโปรตีนในสูตรอาหาร ระดับ 10, 11.5 และ 13.5 เปอร์เซ็นต์ ไม่

เพียงพอต่อความต้องการของไก่ที่จะให้ผลผลิตสูงสุด ขณะที่การเพิ่มระดับโปรตีน 15.5 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ปริมาณไข่และน้ำหนักไข่ดีขึ้น แต่การเพิ่มระดับโปรตีนเป็น 17.5 และ 19.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ปริมาณโปรตีนที่ได้รับมากเกินไปเกินความต้องการ และไม่ช่วยให้ผลผลิตไข่เพิ่มขึ้น

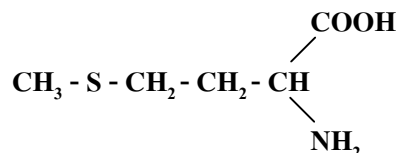
ตารางที่ 1 ผลของระดับโปรตีนในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่ไข่

ระดับโปรตีน ในอาหาร (%)	ปริมาณการไข่ (%)	น้ำหนักไข่เฉลี่ย (กรัม/ฟอง)	ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม/ตัว/วัน)	ความถ่วงจำเพาะ ของไข่
14.0	91.4	54.4	104.7	1.0881
16.0	92.2	56.0	106.8	1.0879
18.0	93.8	57.0	106.6	1.0882

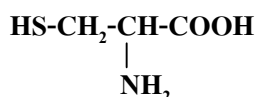
ที่มา: Coon (1993)

ความต้องการกรดอะมิโนเมทไธโอนีน

กรดอะมิโนเมทไธโอนีนเป็นกรดอะมิโนที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบเช่นเดียวกับกรดอะมิโนซิสเตอีน (Ravikiran and Devegowda, 1998) โดยโครงสร้างของกรดอะมิโนเมทไธโอนีนประกอบด้วย non polar methyl thioester group อยู่ที่ side chain ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งทำให้กรดอะมิโนมีคุณสมบัติที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic amino acid) กรดอะมิโนเมทไธโอนีนจัดอยู่ในกลุ่มกรดอะมิโนที่จำเป็น (essential amino acid) เนื่องจากเป็นกรดอะมิโนที่ร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นใช้เองได้ ในสัตว์ปีกกรดอะมิโนเมทไธโอนีนจัดเป็นกรดอะมิโนจำเป็นอันดับหนึ่ง (first limiting amino acid) จึงต้องเสริมในอาหาร นอกจากนี้กรดอะมิโนเมทไธโอนีนยังสามารถเปลี่ยนเป็นกรดอะมิโนซิสเตอีนได้ด้วยกระบวนการ metabolism โดยปฏิกิริยาไม่ย้อนกลับ (NRC, 1984) กรดอะมิโนเมทไธโอนีนมีความสำคัญต่อกระบวนการต่างๆ ภายในร่างกาย เช่น มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโต องค์ประกอบภายในร่างกาย ระบบภูมิคุ้มกัน ระบบสืบพันธุ์ โดยเป็นตัวกลางในการสังเคราะห์โปรตีน กรดอะมิโนเมทไธโอนีนในรูปของ S-adenosylmethionine (SAM) จะทำหน้าที่ให้หมู่เมทิล ($-CH_3$) ในกระบวนการ transmethylation ของโปรตีน กรดนิวคลีอิก และฟอสโฟลิปิด อีกทั้งยังเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ซิสเตอีน (Finkelstein, 1990) ดังแสดงในภาพที่ 2



Methionine



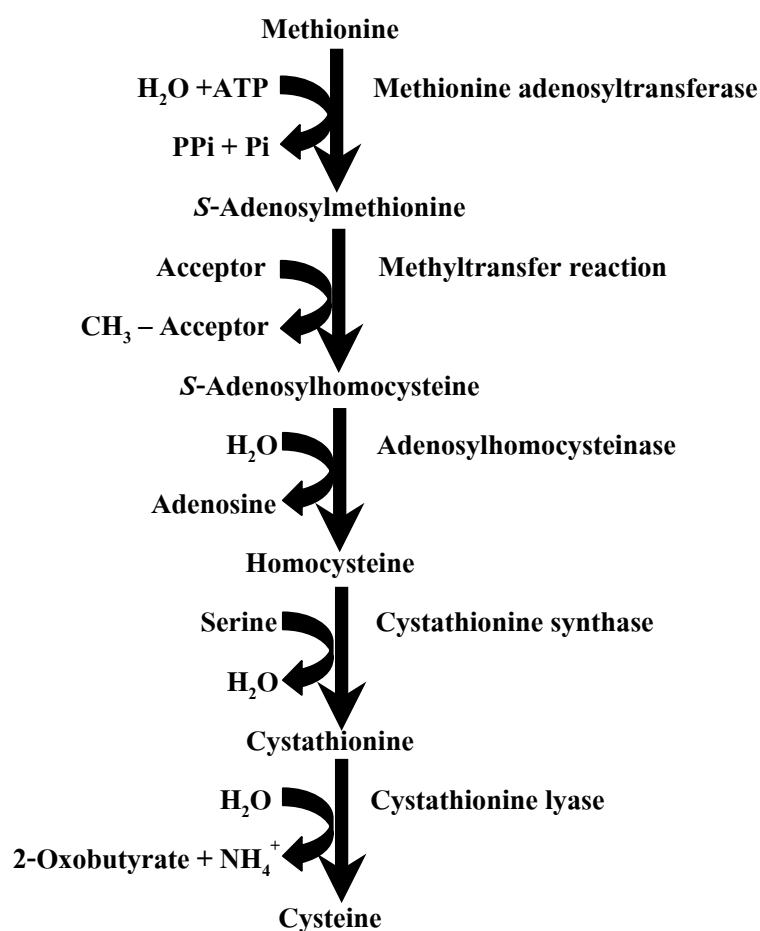
Cysteine

ภาพที่ 1 โครงสร้างกรดอะมิโนเมไทโอนีน และซิสเทอีน

ที่มา: Murray *et al.* (2000)

ไก่ไข่แต่ละสายพันธุ์มีความสามารถในการใช้กรดอะมิโนและระดับความต้องการกรดอะมิโนแตกต่างกัน โดยระดับกรดอะมิโนในอาหารมีผลต่อปริมาณการกินอาหารซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้การตอบสนองของกรดอะมิโนต่อผลผลิตไข่ดีขึ้น (Miller *et al.*, 1960) โดยพบว่าการขาดกรดอะมิโนเมไทโอนีนในอาหารทำให้น้ำหนักตัว ปริมาณอาหารที่กิน และอัตราการไข่ลดลง นอกจากนี้การขาดกรดอะมิโนเมไทโอนีนในอาหารยังทำให้น้ำหนักตัวต่ำกว่าการขาดกรดอะมิโนไลซีน (Hiramoto *et al.*, 1990) มีรายงานว่าไก่ไข่ในช่วงอายุ 30 ถึง 40 สัปดาห์เมื่อได้รับกรดอะมิโนเมไทโอนีน 440 มิลลิกรัม/วัน ทำให้ไก่ไข่ให้ผลผลิตไข่มากที่สุด (Fisher, 1970) สอดคล้องกับ Schutte *et al.* (1983) ซึ่งรายงานว่า ความต้องการกรดอะมิโนที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบทั้งหมด (Total Sulphur Amino Acid : TSAA) ของไก่ไข่ เพื่อให้มีประสิทธิภาพการใช้อาหารสูงสุด มีปริมาณสูงกว่าปริมาณที่ต้องการเพื่อให้ผลผลิตสูงสุด ซึ่งมีความต้องการ TSAA ประมาณ 750 มิลลิกรัม/ตัว/วัน โดยกรดอะมิโนเมไทโอนีนประมาณ 425 มิลลิกรัม/ตัว/วัน นั้นเพียงพอสำหรับการให้ผลผลิตไข่ตลอดช่วง 52 สัปดาห์ และมวลไข่เฉลี่ย 51 กรัม/ตัว/วัน ในขณะที่ Balnave and Robinson (2000) แนะนำว่าในอาหารที่มีพลังงานใช้ประโยชน์ได้ 11.25 เมกะจูล/กิโลกรัม หรือ

ประมาณ 2,678.57 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ควรมีกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 333 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และไก่ไข่ควรได้รับปริมาณกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 430 มิลลิกรัม/วัน



ภาพที่ 2 การสลายกรดอะมิโนเมทไธโอนีน และการสังเคราะห์กรดอะมิโนซีสเทอีน
ที่มา: Murray *et al.* (2000)

การลดระดับโปรตีนและเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารไก่ไข่

ไก่สามารถใช้ประโยชน์จากไนโตรเจนที่น้อยได้เพียง 40 เปอร์เซ็นต์ ของโปรตีนทั้งหมดที่กินเข้าไปเพื่อการเพิ่มน้ำหนักตัวและการให้ผลผลิต ส่วนที่เหลืออีก 60 เปอร์เซ็นต์ นั้นถูกขับออกจากร่างกาย (Schutte *et. al.*, 1983) การลดระดับโปรตีนในอาหารเป็นการลดการขับกรดอะมิโนส่วนเกินออกจากร่างกายเพราะสัตว์ไม่สามารถสะสมกรดอะมิโนที่มากเกินไปเกินความต้องการได้ ซึ่งโครงสร้างคาร์บอนของกรดอะมิโนที่หมู่อะมิโนถูกขจัดออกแล้วจะถูกนำไปสังเคราะห์ไขมันและคาร์โบไฮเดรต ส่วนไนโตรเจนในหมู่อะมิโนจะถูกขับออกจากร่างกาย (Stevens, 1996)

Muller and Balloun (1974) ทดลองเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนที่ระดับ 0, 0.05 และ 0.1 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารไก่ไข่ที่มีโปรตีนรวม 12 และ 16 เปอร์เซ็นต์ ระดับพลังงานที่ใช้ประโยชน์ 3,000 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม เลี้ยงไก่ไข่อายุ 35-66 สัปดาห์ พบว่าผลผลิตไข่เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มระดับของโปรตีน แต่การเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารทั้ง 2 สูตร ไม่มีผลต่อการเพิ่มผลผลิตไข่ อย่างไรก็ตามการเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารที่มีโปรตีน 16 เปอร์เซ็นต์ ในปริมาณ 0.05 และ 0.1 เปอร์เซ็นต์ มีผลต่อการเพิ่มน้ำหนักไข่แต่กลับไม่มีผลต่อการเพิ่มน้ำหนักไข่เมื่อเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารที่มีโปรตีน 12 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณกรดอะมิโนเมทไธโอนีนที่ได้รับต่อวันยังน้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีน 16 เปอร์เซ็นต์ แม้จะมีการเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีน ที่ระดับ 0.05 และ 0.1 เปอร์เซ็นต์ก็ตาม

Keshavarz and Jackson (1992) รายงานการลดระดับโปรตีนจาก 16.5 เปอร์เซ็นต์ เป็น 13 เปอร์เซ็นต์ แล้วเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนเลี้ยงไก่ไข่อายุ 34 ถึง 50 สัปดาห์ พบว่าเปอร์เซ็นต์ผลผลิตไข่และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารไม่มีความแตกต่างกัน ส่วนน้ำหนักฟองไข่และมวลไข่ของไก่ไข่ที่ได้รับอาหารระดับโปรตีน 16.5 เปอร์เซ็นต์ มากกว่าไก่ไข่ที่ได้รับอาหารโปรตีน 13 เปอร์เซ็นต์ และเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีน ส่วนปริมาณการกินอาหารของไก่ไข่ที่ได้รับอาหารโปรตีน 16.5 เปอร์เซ็นต์ มากกว่าไก่ไข่ที่ได้รับอาหารโปรตีน 13 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 2 ทั้งนี้เพราะการลดระดับโปรตีนในอาหารมีผลทำให้ไก่ไข่ได้รับโปรตีนจากอาหารเพื่อสร้างเป็นโปรตีนในฟองไข่ลดลง อย่างไรก็ตามผลเสียอันเกิดจากการลดระดับโปรตีนนั้นขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น ระดับโปรตีนที่ลด ความสมดุลของกรดอะมิโนในอาหาร ตลอดจนอุณหภูมิที่เลี้ยง (Pesti and Coon, 1991; Penz and Jensen, 1991; Chung Hsu *et al.*, 1998)

ตารางที่ 2 ผลการเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนลงในอาหารโปรตีนต่ำต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่ไข่

	Egg production (%)	Egg weight (g)	Egg mass	Feed Consumption (g/hen/day)	Feed Conversion (g:g egg)
CP 16.5 % (Met 0.341 %)	80.0 ^a	57.4 ^a	45.9 ^a	106.0 ^a	2.31 ^b
CP 13 % (Met 0.232 %)	63.9 ^b	52.6 ^c	33.6 ^c	96.7 ^b	2.88 ^a
CP 13 % (Met 0.397 %)	76.8 ^a	55.5 ^b	42.6 ^b	101.0 ^b	2.37 ^b

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

ที่มา: Keshavarz and Jackson (1992)

ทวิศักดิ์ และคณะ (2546) รายงานว่า ไก่ไข่ที่กินอาหารที่มีโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ และกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.26 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณการกินอาหารลดลง สมรรถภาพการผลิตไข่ไม่ดี และมีอัตราการตายสูง ส่วนการเพิ่มระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหาร 14 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนช่วยปรับสมดุลกรดอะมิโนได้ ไก่จึงกินอาหารได้ปริมาณมากเท่ากับกลุ่มควบคุมซึ่งมีโปรตีน 16 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลของการเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารที่มีระดับโปรตีนต่ำต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่ไข่

	กลุ่มควบคุม (16%CP) 0.38% Met	กลุ่มโปรตีนต่ำ(14% CP)			
		0.26% Met	0.30% Met	0.38% Met	0.44% Met
เปอร์เซ็นต์ไข่ (%)	81.43 ^A ±0.44	66.23 ^D ±0.33	76.29 ^C ±0.34	79.02 ^B ±0.49	80.50 ^A ±0.21
มวลไข่	48.38 ^A ±0.29	36.42 ^D ±0.18	44.79 ^C ±0.33	46.76 ^B ±0.09	47.68 ^A ±0.12
ปริมาณอาหารที่กิน (g/hen/day)	111.78 ^A ±0.84	91.60 ^B ±0.62	111.49 ^A ±0.82	110.05 ^A ±0.19	110.59 ^A ±0.36
โปรตีนที่ได้รับ (g/hen/day)	17.8 ^A ±0.13	12.8 ^C ±0.09	15.6 ^B ±0.11	15.4 ^B ±0.02	15.5 ^B ±0.05
เมทไธโอนีนที่ได้รับ (mg/hen/day)	413.62 ^b ±3.11	238.18 ^d ±1.61	334.47 ^c ±2.45	407.20 ^b ±0.69	469.71 ^a ±5.63
ประสิทธิภาพการ เปลี่ยนอาหาร (g/g egg)	2.31 ^d ±0.11	2.52 ^a ±0.09	2.49 ^b ±0.09	2.35 ^c ±0.05	2.32 ^d ±0.01
อัตราการตาย (%)	1.00 ^b ±1.00	12.75 ^a ±3.06	3.00 ^b ±1.00	5.00 ^b ±1.00	3.00 ^b ±1.00

หมายเหตุ ทุกข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± SE

^{a-d} ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน อักษรที่ต่างกันมีความหมายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05).

^{A-D} ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน อักษรที่ต่างกันมีความหมายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01)

ที่มา : ทวีศักดิ์ และคณะ (2546)

ระบบภูมิคุ้มกัน

ระบบภูมิคุ้มกันโรคในสัตว์ปีกนั้นมีระบบกลไกในการสร้างไม่แตกต่างจากพวกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ซึ่งหน้าที่หลักของระบบภูมิคุ้มกัน คือ ช่วยเหลือเจ้าบ้าน (Host) ในการต่อต้านสิ่งแปลกปลอมหรือจุลชีพ เช่น แบคทีเรีย ไวรัส และปรสิตต่างๆ (Gorman and Halliwell, 1987)

เกรียงศักดิ์ (2536) แบ่งระบบภูมิคุ้มกันหรือระบบต่อมน้ำเหลืองในสัตว์ปีกออกเป็น 2 ระบบ คือ

1. ระบบต่อมน้ำเหลืองปฐมภูมิ (Primary Lymphoid System) คือ ต่อมน้ำเหลืองที่พัฒนา มาจากส่วนที่เรียกว่า เซลล์ต้นตอ (stem cells) ประกอบด้วยต่อมเบอรัซ่า (Bursa of Fabricious) เป็น อวัยวะที่มีตำแหน่งเกาะติดบนผนังด้านนอกของทวารรวม (cloaca) และต่อมไทมัส (Thymus glands) มีหลายต่อมเรียงรายอยู่ในชั้นใต้ผิวหนังบริเวณลำคอ

2. ระบบต่อมน้ำเหลืองทุติยภูมิ (Secondary Lymphoid System) คือ ที่อยู่ของ T-cell และ B-cell ที่สร้างมาจากต่อมน้ำเหลืองปฐมภูมิ ประกอบด้วย ตับ (liver) ม้าม (spleen) ต่อมฮาร์ดเอร์เรียน (Harderian's Gland) ที่บริเวณตาของสัตว์ปีก ต่อมทอนซิลของไส้ตัน (cecal tonsils) และต่อมน้ำเหลือง (Payer's Patches) ขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วไปในผนังลำไส้

แอนติเจน

แอนติเจน คือ สารแปลกปลอมหรือจุลชีพที่ทำให้เกิดโรค เมื่อเข้าสู่ร่างกายแล้วสามารถ กระตุ้นให้ร่างกายสร้างแอนติบอดีซึ่งจะมีปฏิกิริยาจำเพาะต่อแอนติเจนชนิดนั้นๆ ได้ เพื่อให้เกิดการ ตอบสนองทางภูมิคุ้มกัน (โสมทัต, 2538)

แอนติบอดี

แอนติบอดี คือ โปรตีนส่วนหนึ่งที่เกิดขึ้นจากการตอบโต้ต่อแอนติเจนของร่างกาย โปรตีน ชนิดนี้ต้องมีความจำเพาะต่อแอนติเจนชนิดนั้นด้วย โปรตีนกลอบูลิน (Globulin) ในซีรัมเรียกว่า อิมมูโนกลอบูลิน (immunoglobulin; Ig) สร้างจาก B-cells ที่ได้รับการกระตุ้นซึ่งมีการแบ่งตัวกลายเป็นพลาสมาเซลล์ อิมมูโนกลอบูลินเป็นไกลโคโปรตีน (glycoprotein) โครงสร้างมีส่วนประกอบ เป็น โพลีเปปไทด์ 82-96 เปอร์เซ็นต์ และคาร์โบไฮเดรต 4-18 เปอร์เซ็นต์ (ฤทัย และคณะ, 2539)

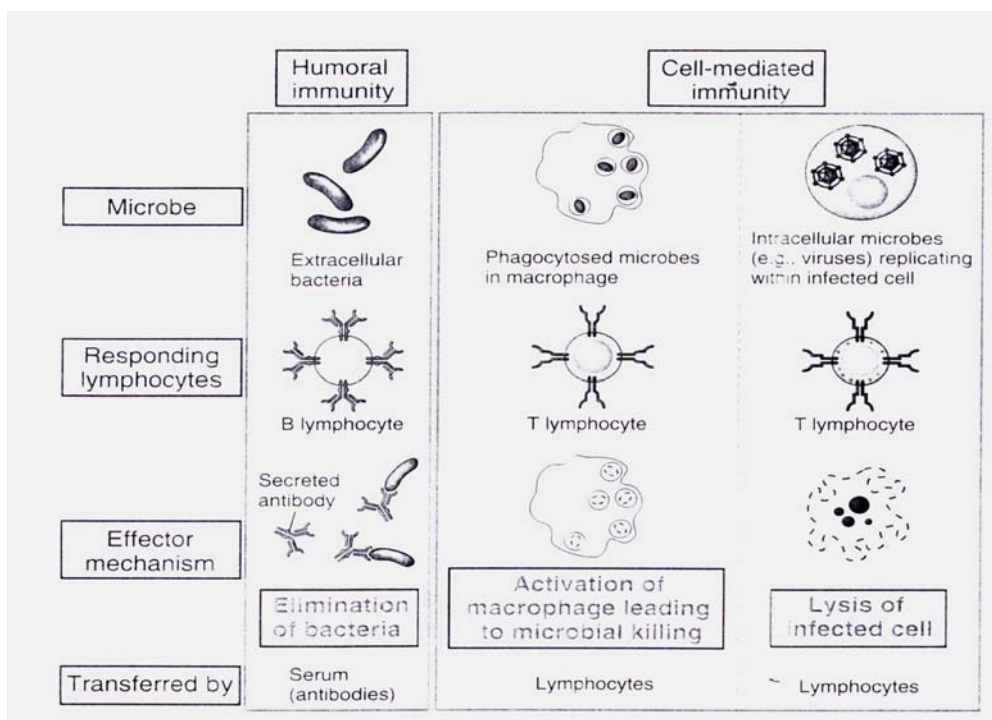
แอนติบอดี แบ่งเป็น 5 ชนิด คือ อิมมูโนกลอบูลินจี (IgG) อิมมูโนกลอบูลินเอ (IgA) อิมมูโนกลอบูลินเอ็ม (IgM) อิมมูโนกลอบูลินดี (IgD) อิมมูโนกลอบูลินอี (IgE) แต่ละชนิดมีหน้าที่ แตกต่างกัน ดังนี้ (Reeves and Todd, 1991)

IgG มีบทบาทสำคัญในการป้องกันการติดเชื้อต่างๆ และเป็นแอนติบอดีชนิดเดียวที่ผ่านจากรกแม่ (transplacenta) ไปป้องกันลูกที่อยู่ในท้อง IgA พบในของเหลวตามเยื่อเมือกต่างๆ เช่น น้ำนม น้ำตา น้ำลาย เป็นต้น มีบทบาทสำคัญในการป้องกันการติดเชื้อของเยื่อต่างๆ (mucosal immune system) IgM มีขนาดใหญ่ที่สุดและเป็นแอนติบอดีตัวแรกที่ร่างกายสร้างขึ้นในการตอบสนองต่อแอนติเจนที่ได้รับครั้งแรก IgD พบปริมาณน้อยมากในเลือด และยังไม่ทราบหน้าที่ชัดเจน และ IgE เป็นภูมิคุ้มกันที่เกี่ยวข้องกับการเกิดภาวะภูมิแพ้ (hypersensitivity) และเป็นภูมิคุ้มกันที่สำคัญในโรคติดเชื้อปรสิต อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาในไก่พบว่ามีการสร้างอิมมูโนกลอบูลินได้ 3 ชนิด คือ IgG, IgA และ IgM (เกรียงศักดิ์, 2536)

การตอบสนองทางภูมิคุ้มกัน

Tizard (2000) กล่าวว่า การตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันในร่างกายประกอบด้วย 4 กระบวนการ คือ 1. การจับกินและทำลายส่วนของแอนติเจน 2. กลไกการทำปฏิกิริยาจำเพาะของแอนติบอดีต่อแอนติเจน 3. เซลล์ที่ทำหน้าที่ผลิตแอนติบอดีเพื่อจับกับแอนติเจนแบบจำเพาะ และ 4. เซลล์ที่ทำหน้าที่จดจำเหตุการณ์ระหว่างแอนติบอดีและแอนติเจนที่เกิดขึ้นครั้งแรก เพื่อทำปฏิกิริยากับแอนติเจนในการบุกรุกครั้งต่อไป

ฤทัย และคณะ (2539) กล่าวว่า เมื่อแอนติเจนเข้าสู่ร่างกายในลักษณะพอเหมาะจะกระตุ้นลิมโฟไซต์ 2 ชนิด คือ B และ T lymphocyte เกิดปฏิกิริยาการตอบสนองที่สำคัญของภูมิคุ้มกัน 2 ชนิด คือ 1. การตอบสนองทางภูมิคุ้มกันโดยแอนติบอดี (Humoral Mediated Immune Response; HMIR) คือ การสร้างแอนติบอดีโดยแอนติเจนจะกระตุ้นให้ B lymphocyte เพิ่มปริมาณและเปลี่ยนแปลงเป็น plasma cell สร้างและหลั่งแอนติบอดีที่จำเพาะกับแอนติเจนนั้นออกมาในเลือดหรือสิ่งคัดหลั่ง และ 2. การตอบสนองทางภูมิคุ้มกันแบบพึ่งเซลล์ (Cells Mediated Immune Response; CMIR) คือ ภูมิคุ้มกันผ่านเซลล์ โดยแอนติเจนจะกระตุ้น T-cell หลั่ง lymphokines กระตุ้นปฏิกิริยาตอบโต้ของเซลล์ที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกัน เช่น แมคโครฟาจ เมื่อเชื้อโรคเข้าสู่ร่างกาย monocyte มีหน้าที่ทำลายและนำส่งแอนติเจนกระตุ้นให้ B-cells สร้างโปรตีนภูมิคุ้มกัน (Immunoglobulin) บางส่วนไปกระตุ้น T-cells ให้ทำลายเชื้อโรคโดยตรงและย่อยสลายเนื้อเยื่อที่มีการติดเชื้อ ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การตอบสนองทางภูมิคุ้มกันโดยแอนติบอดี (Humoral immunity) และการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันโดยเซลล์ (Cell-mediated immunity)

ที่มา: Abbas *et al.* (2000)

ความเข้มข้นของโปรตีนในซีรัม

การศึกษาแบบของโปรตีนในซีรัม (Serum protein pattern) โดยเทคนิคเซลลูโลสอะซิเตทอิเล็กโตรโฟรีซิส เป็นวิธีการที่สะดวกและรวดเร็วในการวินิจฉัยหรือติดตามอาการผิดปกติที่เกิดขึ้นกับร่างกาย จัดเป็น screening test ในการเริ่มต้นตรวจสอบความบกพร่องทางภูมิคุ้มกัน (immunodeficiency) การตรวจค่าโปรตีนทั้งหมดในซีรัม (total serum protein) การหาปริมาณของโปรตีนอัลบูมิน (albumin) และกลอบูลิน (globulins) ความเข้มข้นของโปรตีนทั้งหมดสามารถใช้แสดงสถานะทางโภชนาการ หรือสถานะการสูญเสียโปรตีนในเบื้องต้นได้ดี โดยอัลบูมินมีหน้าที่รักษาแรงดันออนโคติก (oncotic) และเป็นตัวขนส่งสารที่มีโมเลกุลเล็ก สามารถใช้เป็นเครื่องชี้วัดการทำงานของตับ ระดับกลอบูลินในซีรัมมักถูกใช้ตรวจสอบอาการอักเสบที่ตับ (chronic hepatitis) การเกิดเนื้องอก (neoplasia) และโรคไต (nephrotic syndrome) (Keneko *et al.*, 1997) โดยตรวจพบว่า อัลฟา-กลอบูลิน และบีตา-กลอบูลินจะเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนั้นการเปลี่ยนแปลงระดับแกมมา-

กลอบูลินซึ่งประกอบด้วย IgG IgM IgA และ IgE ยังเกี่ยวข้องกับการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันอีกด้วย (Thomas, 1998)

Odunsi (2005) รายงานค่า อัลบูมิน กลอบูลิน และอัตราส่วนระหว่างอัลบูมินต่อกลอบูลิน ในซีรัมลูกไก่กระทง คือ 1.08-1.32, 2.06-2.49 g/dl และ 0.50-0.55 ตามลำดับ และ Harrison and Harrison (1986) รายงานค่า อัลบูมิน และโปรตีนรวมในซีรัม 1.29-3.58 และ 4.3-5.6 g/dl ตามลำดับ โดย Eggum (1989) และ Tewe (1985) รายงานว่า โปรตีนทั้งหมดในซีรัม และอัลบูมินนั้นจะได้รับอิทธิพลโดยตรงจากทั้งคุณภาพและปริมาณโปรตีนที่ได้รับจากอาหาร อย่างไรก็ตาม Agbede and Aletor (2003) รายงานว่าแหล่งโปรตีนในอาหาร (คุณภาพของโปรตีน) ไม่มีอิทธิพลต่อการสังเคราะห์โปรตีนทั้งหมดในซีรัม อัลบูมิน และกลอบูลิน

บทบาทของโปรตีนและกรดอะมิโนเมทาโซอินต่อการสร้างภูมิคุ้มกัน

การศึกษาปริมาณของสารอาหารต่อการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันในสัตว์ปีกที่เหมาะสม ยังมีผู้ทำการศึกษาค่อนข้างน้อย (Dunnington *et al.*, 1994) อาหารโปรตีนนั้นมีความสำคัญต่อการสังเคราะห์และการทำงานของอิมมูโนกลอบูลิน โดยพบว่าไก่ไข่ที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีน 17 เปอร์เซ็นต์ ผลผลิตไข่จะลดลงน้อยกว่าไก่ไข่ที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีน 13 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเกิดการติดเชื้อที่ส่วนของบริเวณลำไส้ (Harms *et al.*, 1967b) นอกจากนี้ยังพบว่า ในอาหารที่มีกรดอะมิโนเมทาโซอิน 0.31 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป เมื่อเกิดการติดเชื้อจะส่งผลกระทบต่อทำให้ผลผลิตน้อยกว่าไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีกรดอะมิโนเมทาโซอิน 0.27 เปอร์เซ็นต์ (Harms *et al.*, 1967a) อย่างไรก็ตาม Bhargava *et al.* (1970) รายงานว่า เมื่อทดสอบการตกตะกอน (HI titers) โดยกระตุ้นด้วยเชื้อ Newcastle disease virus (NDV) พบว่าไก่ที่ได้รับกรดอะมิโนเมทาโซอินที่ระดับ 0.3 ถึง 0.6 เปอร์เซ็นต์ จะให้ผลดีกว่าการเสริมด้วยกรดอะมิโนเมทาโซอินที่ระดับ 0.7 ถึง 1.1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการได้รับกรดอะมิโนเมทาโซอินในระดับที่ต่ำหรือสูงเกินไปอาจจะส่งผลให้เกิดกรดอะมิโนไม่สมดุลและมีผลต่อระบบภูมิคุ้มกันในไก่ไข่

ทวิศักดิ์ และคณะ (2546) รายงานว่าไก่ไข่ที่ได้รับอาหารโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ ที่มีกรดอะมิโนเมทาโซอิน 0.26 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการตายมากกว่ากลุ่มอื่น (ตารางที่ 3) อาจเนื่องมาจากกินอาหารได้น้อย ทำให้ได้รับปริมาณโภชนาการต่างๆ ลดลง ซึ่งการที่ได้รับปริมาณกรดอะมิโนเมทาโซอินไม่เพียงพอต่อความต้องการ และ/หรือได้รับโปรตีนไม่เพียงพออาจมีผลต่อการสร้างโปรตีนที่

เป็นภูมิคุ้มกันของร่างกาย (immunoglobulin) จึงทำให้ร่างกายอ่อนแอ และมีอัตราการตายเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Tsiagbe *et al.* (1987a) รายงานว่าปริมาณกรดอะมิโนเมทไธโอนีนที่ได้รับมีความสัมพันธ์ต่อการเพิ่มจำนวนของแอนติบอดี และ IgG ในร่างกายไก่ เนื่องจากกรดอะมิโนเมทไธโอนีนมีความสำคัญต่อการสังเคราะห์โปรตีนที่เป็นแอนติบอดีต่าง ๆ รวมทั้งการแบ่งตัวของเม็ดเลือดขาวหรือการทำงานของ T-cells จากคอมพิวเตอร์ (Isakson *et al.*, 1982) เมื่อเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนจึงทำให้อัตราการตายลดลง แสดงให้เห็นว่าการเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารโปรตีนต่ำสามารถลดอัตราการตายได้

นอกจากนั้น Rao *et al.* (1999) รายงานว่าไก่ที่ได้รับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในระดับสูงส่งผลให้ระดับแอนติบอดีไคเตอร์ในการตอบสนองต่อ SRBC (Sheep Red Blood Cell) เพิ่มขึ้นและมี Cutaneous basophilic hypersensitivity response (CBH) ในการตอบสนองต่อ Phytohemagglutinine antibody - P (PHA-P) ต่ำกว่าไก่ที่ได้รับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในระดับต่ำ โดยระดับแอนติบอดีไคเตอร์เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารสูงกว่า 4.46 กรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่น้ำหนักม้าม ต่อมเบียร์ซ่า และอัตราส่วนระหว่าง Heterophile:Lymphocyte (H:L ratio) ไม่มีความแตกต่างกัน

ตารางที่ 4 ผลของระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนต่อการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันในไก่กระทอง

	กรดอะมิโนเมทไธโอนีน (g/kg)				SEM
	3.91	4.46	5.00	5.54	
น้ำหนักอวัยวะนำเหลือง					
- ต่อมเบียร์ซ่า	0.58	0.48	0.52	0.58	0.02
- ม้าม	1.86	1.76	1.96	1.94	0.06
Thickness index (%) 12 h	2.354 ^a	2.287 ^a	2.805 ^b	2.998 ^b	0.99
H:L ratio	0.502	0.505	0.493	0.480	0.0068
Antibody titre (log 2)	5.350 ^a	5.475 ^a	7.250 ^b	9.200 ^c	≤0.251

หมายเหตุ ^{a-c} ตัวอักษรที่ต่างกันภายในแถวเดียวกัน มีความแตกต่างทางสถิติ (P<0.05)

ที่มา: Roa *et al.* (1999)

Glick *et al.* (1983) รายงานว่าเมื่อไก่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีนหรือกรดอะมิโน ต่ำกว่าความต้องการขั้นพื้นฐาน 2 ใน 3 ส่วน จะส่งผลให้การทำงานของระบบภูมิคุ้มกันระดับเซลล์ลดลง แต่การตอบสนองโดยแอนติบอดีนั้นไม่ได้รับผลจากอิทธิพลดังกล่าว โดยพบว่าเมื่อไก่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีนหรือกรดอะมิโนต่ำกว่าความต้องการขั้นพื้นฐาน 1 ใน 3 ส่วน ค่าโปรตีนรวมในซีรัมลดลง แต่ Transferins, IgG และ IgM กลับไม่ได้รับอิทธิพลจากปริมาณโปรตีนดังกล่าว (Glick *et al.*, 1981) สอดคล้องกับ Ishiguro and Koyanagi (1968) ซึ่งรายงานว่าระดับของแอนติบอดีไคเตอร์จะสูงในหนูที่ได้รับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในระดับต่ำ โดยการที่ได้รับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในระดับต่ำจะไปลดปริมาณอัลบูมิน แต่จะไม่ส่งผลต่อปริมาณแกมมา-โกลบูลินในซีรัม

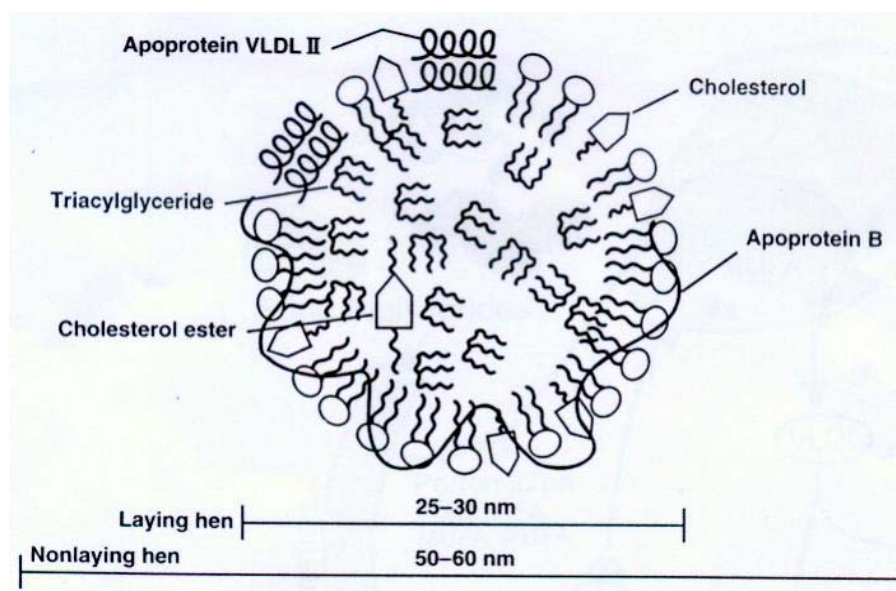
สรีระวิทยาของตับ

สุพิศ (2524) กล่าวว่า ตับทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางในการเกิดกระบวนการ metabolism ของสารอาหารทุกชนิด มีหน้าที่สำคัญ เช่น การสังเคราะห์อัลบูมินและกลอบูลินซึ่งเป็นพลาสมาโปรตีน เอนไซม์ สังเคราะห์โคเลสเตอรอล กรดไขมัน ฟอสโฟลิปิด ไลโปโปรตีนและคีโตนบอดี จากการดูดซึมคาร์โบไฮเดรตหรือไขมันและเปลี่ยนกลับไปอยู่ในรูปกรดไขมัน ซึ่งถูกปลดปล่อยเข้าสู่กระแสเลือดและถูกส่งไปที่รังไข่เพื่อใช้ในการผลิตไขมันสำหรับไข่แดง ซึ่งไข่ 1 ฟองจะมีไขมันเป็นส่วนประกอบอยู่ประมาณ 6 กรัม (นิรนาม, 2540) เป็นต้น

Same *et al.* (1991) รายงานว่า กรดไขมัน ไตรกลีเซอไรด์ และไขมันชนิดอื่นๆ ส่วนใหญ่ไม่สามารถละลายในพลาสมาหรือของเหลวในเซลล์ได้ กรดไขมันอิสระจะสามารถละลายได้โดยการจับกับโปรตีนที่เป็น fatty acid binding-proteins ซึ่งอยู่ภายในเซลล์ และจับกับอัลบูมินที่อยู่ในของเหลวภายในร่างกาย (Body fluids) ไขมันในร่างกายถูกขนส่งโดยไลโปโปรตีน (ภาพที่ 4) ซึ่งถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ตับและลำไส้เล็ก ทำหน้าที่ขนส่งโคเลสเตอรอลและลิพิดชนิดอื่นๆ ในพลาสมาของเลือดจากลำไส้เล็กไปยังตับ เนื้อเยื่อไขมันและเนื้อเยื่ออื่นๆ (อาภัสสร, 2543)

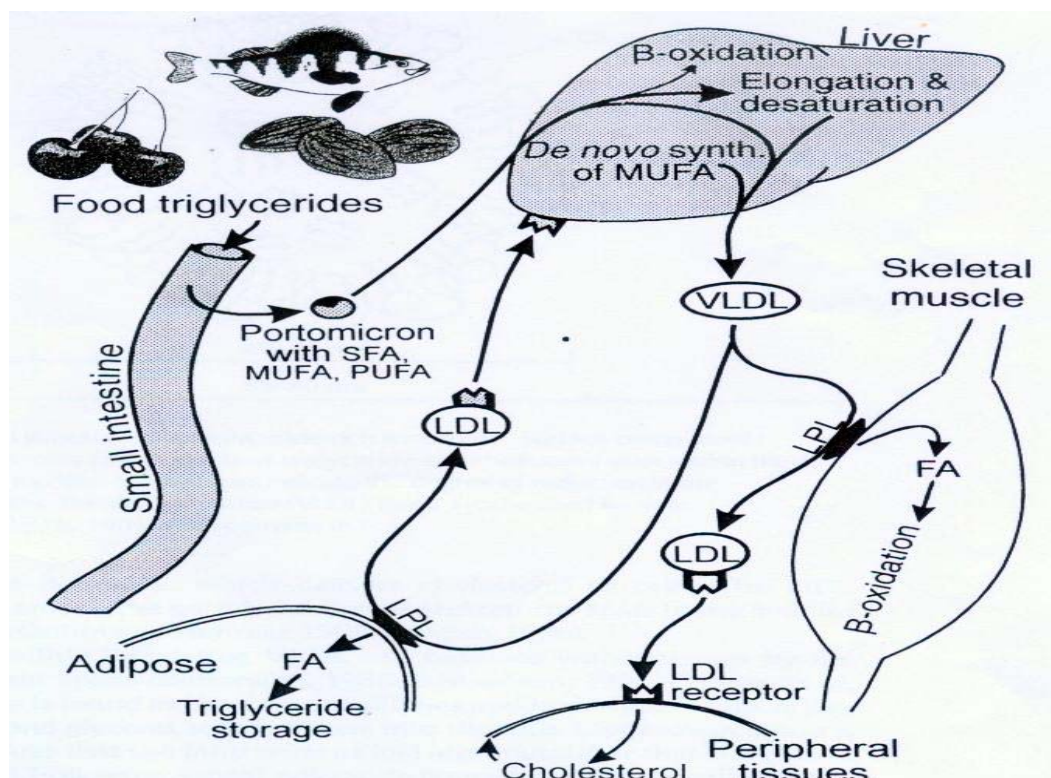
ในสัตว์ปีกมีการแบ่งไลโปโปรตีน ออกเป็น 4 ชนิด คือ โปรโตไมครอน (portomicron) สังเคราะห์ที่บริเวณลำไส้ระหว่างที่มีการดูดซึมไขมัน ไหลเวียนตามกระแสโลหิตส่งไปยังเนื้อเยื่อไขมัน ตับ และเนื้อเยื่อรอบนอก (Peripheral tissue) ภายในเซลล์ตับเกิดกระบวนการ re-esterification สังเคราะห์ VLDL (very low density lipoprotein) ขนส่งไตรกลีเซอไรด์ไปยังเนื้อเยื่อรอบนอกเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานหรือเก็บสะสมไว้ เมื่อไตรกลีเซอไรด์ถูกสลายจาก VLDL โดย

ไลโปโปรตีนไลเปส (Lipoprotein lipase: LPL) แล้ว VLDL ส่วนที่เหลือ คือ เรเมนแนนท์ (remnant) ซึ่งมีโคเลสเตอรอลเอสเทอร์ (cholesterol-ester) ปริมาณสูงจะเปลี่ยนเป็นไลโปโปรตีนที่มีความหนาแน่นต่ำ (Low Density Lipoprotein; LDL) ทำหน้าที่ขนส่งโคเลสเตอรอลในเลือด (โคเลสเตอรอลจากอาหาร) ไปยังเนื้อเยื่อรอบนอก และควบคุมการสังเคราะห์โคเลสเตอรอลในเนื้อเยื่อ HDL (High Density Lipoprotein) หรือไลโปโปรตีนที่มีความหนาแน่นสูง ทำหน้าที่กำจัดโคเลสเตอรอลที่ถูกปล่อยจากเซลล์ที่ตายหรือจากเยื่อหุ้มเซลล์ไปยังตับ เพื่อนำไขมันเหล่านั้นกลับไปใช้ใหม่หรือกำจัดออกจากร่างกาย (Griffin and Hermier, 1988 และ Walzem, 1996) ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 4 ไลโปโปรตีนที่มีความหนาแน่นต่ำมาก (VLDL; very low density lipoprotein) ทำหน้าที่ขนส่งไตรกลีเซอไรด์ไปสะสมในไขء

ที่มา: Klasing (1998)



ภาพที่ 5 กระบวนการ metabolism และการขนส่งไขมันและกรดไขมันในอวัยวะต่างๆในร่างกาย สัตว์ปีก

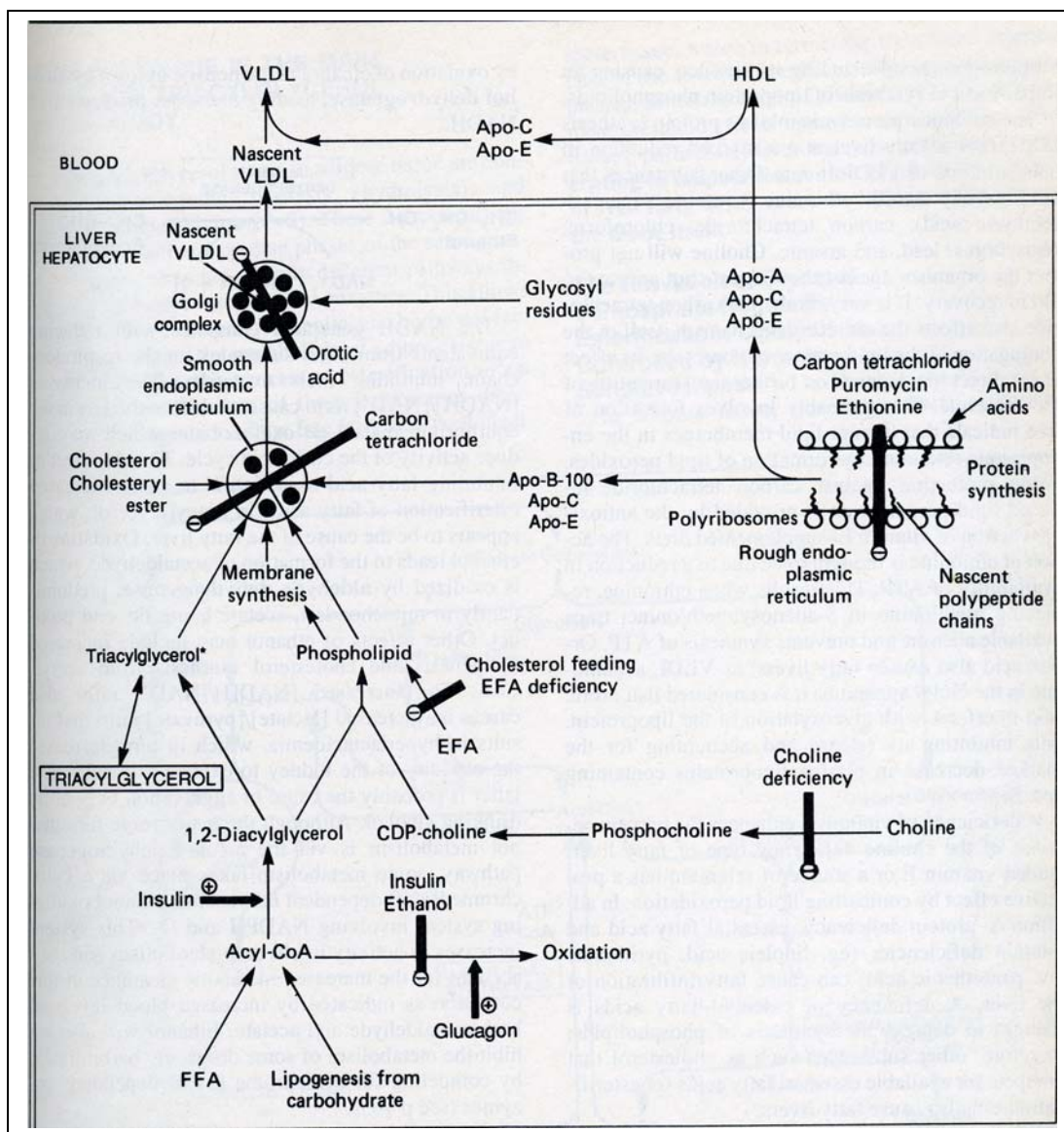
ที่มา: Walzem (1996) อ้างโดย Klasing (1998)

Fatty Liver Syndrome

Fatty Liver Syndrome เป็นอาการผิดปกติทางกระบวนการ metabolism ในไก่ไข่ช่วงที่ให้ผลผลิตสูงสุด (Riddell, 1997) เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ผลผลิตไข่ลดลงถึง 35 เปอร์เซ็นต์ และมีอัตราการตายสูงกว่าค่าเฉลี่ยปกติ จากการตรวจสอบสาเหตุการตาย พบว่าสาเหตุหนึ่งคือมีไขมันในร่างกายสัตว์มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนท้องและตับมีไขมันสะสมอยู่เป็นจำนวนมาก ตับมีขนาดใหญ่กว่าปกติ มีสีน้ำตาลใสจนเหลืองและมีโครงสร้างที่อ่อนบาง ง่ายต่อการฉีกขาด ขึ้นอยู่กับการสะสมไขมัน หากฉีกตับออกตามพู่จะพบมีเลือดออกภายในเกิดขึ้น ซึ่งการที่ตับมีเลือดออกในตับนี้เองที่เป็นสาเหตุทำให้สัตว์ที่อยู่ในช่วงให้ผลผลิตตายได้ (นิรนาม, 2540)

ความผิดปกติในการทำงานของตับ (Liver function) ทำให้เกิด Fatty Liver Syndrome หรือการสะสมไขมันในตับเพิ่มมากขึ้น โดยมีสาเหตุเนื่องมาจากความไม่สมดุลของสารอาหารที่กินได้ รับ เช่น การได้รับอาหารโปรตีนต่ำ อาหารที่ใช้มีพลังงานสูง และภาวะความไม่สมดุลของกรดอะมิโน รวมทั้งการขาดกรดอะมิโนที่จำเป็นบางตัว นอกจากนี้การขาดสารอาหารกลุ่ม lipotropic factor เช่น โคลีน กรดอะมิโนเมทไธโอนีน และวิตามินบี 12 ก็สามารถทำให้เกิดอาการดังกล่าวได้เช่นกัน (เกียรติศักดิ์, 2545)

Murray *et al.* (1996) แบ่ง Fatty Liver Syndrome ออกเป็น 2 ชนิดหลัก คือ 1. การที่ปริมาณกรดไขมันอิสระในกระแสเลือดสูงขึ้น เนื่องจากเกิดขบวนการไฮโดรไลซิสของไลโปโปรตีนและไตรเอซิลกลีเซอรอลของเนื้อเยื่อไขมันนอกตับจากการทำงานของเอนไซม์ไลโปโปรตีนไลเปส โดยกรดไขมันที่เพิ่มขึ้นจะถูกดัดนำไปใช้ในกระบวนการ esterified ซึ่งถ้ากรดไขมันเข้าไปในตับไม่เป็นอัตราเดียวกันกับการสร้าง VLDL ก็จะทำให้เกิดการสะสมไขมันในตับขึ้น (ภาพที่ 5) และ 2. การสร้างพลาสมาไลโปโปรตีนมีจำกัด จึงทำให้เกิดการสะสมไตรเอซิลกลีเซอรอลในตับ ซึ่งอาจมีสาเหตุจาก ก. การสังเคราะห์อะโปโปรตีน (apo-protein) มีจำกัด ข. การสังเคราะห์ไลโปโปรตีน (lipo-protein) จากไขมันและอะโปโปรตีนมีจำกัด ค. ความล้มเหลวในการสร้างฟอสโฟไลปิดที่เป็นองค์ประกอบในไลโปโปรตีน และ ง. ความล้มเหลวของกลไกการหลั่งไลโปโปรตีน



ภาพที่ 6 กระบวนการเกิด Fatty Liver Syndrome
ที่มา: Murray *et al.* (2000)

บทบาทของโปรตีนและกรดอะมิโนเมทไธโอนีนต่อการเกิด Fatty liver Syndrome

ในอาหารที่มีโปรตีนต่ำ มักจะมีกรดอะมิโนไม่พอสำหรับการสังเคราะห์อะโปโปรตีน (apo-protein) การขนส่งไขมันจึงเกิดขึ้นอย่างไม่มีประสิทธิภาพ (Pearson and Butler, 1998) โดยมักจะพบว่าเมื่อไก่ได้รับอาหารโปรตีนต่ำ การสะสมโปรตีนร่วมกับไขมันในตับเพิ่มสูงขึ้น (Leeson and Summers, 1997) ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลของระดับโปรตีนต่อการเกิด Fatty Liver Syndrome

ระดับโปรตีนใน อาหาร (%)	Egg production (% HDB)	Feed (g/d)	Liver fat (% dry weight basis)
13	76.4	108	49.3
15	77.0	107	40.2
17	78.0	107	38.2

ที่มา: Leeson and Summers (1997)

อย่างไรก็ตาม ทวีศักดิ์ และคณะ (2546) ซึ่งศึกษาผลการเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารโปรตีนต่ำต่อ องค์ประกอบของตับของไก่ไข่ที่เลี้ยงในโรงเรือนระบบปิด รายงานว่า ไก่ที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ และกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.26 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร จะมีขนาดตับ (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักร่างกาย) และเปอร์เซ็นต์โปรตีนในตับสูงกว่ากลุ่มอื่น แต่เปอร์เซ็นต์ไขมันในตับกลับน้อยกว่ากลุ่มอื่น และกลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ ที่มีกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.30, 0.38 และ 0.44 เปอร์เซ็นต์ มีขนาดตับ เปอร์เซ็นต์โปรตีน และเปอร์เซ็นต์ไขมันในตับไม่แตกต่างจากกลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีน 16 เปอร์เซ็นต์ (กลุ่มควบคุม) แต่กลุ่มควบคุมมีไขมันช่องท้องมากกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ ที่มีกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.30, 0.38 และ 0.44 เปอร์เซ็นต์ และพบว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ ที่มีกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.26 เปอร์เซ็นต์ มีไขมันช่องท้องต่ำที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับ Maurice *et. al.* (1982) ซึ่งรายงานว่าไก่ไข่ที่ได้รับอาหารโปรตีน 13.5 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักตับ ไขมันในตับ และไขมันช่องท้องน้อยกว่าไก่ไข่ที่กินอาหารระดับโปรตีน 19 เปอร์เซ็นต์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. สัตว์ทดลอง

การทดลองทั้งหมดใช้ไก่ไข่พันธุ์ทางการค้า (Babcock B – 308) อายุ 21 สัปดาห์ จำนวน 672 ตัว มีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 1453.86 ± 13.11 กรัม เลี้ยงไก่บนกรงตับโดยใช้ความหนาแน่น 2 ตัวต่อกรง ในโรงเรือนระบบปิด ให้ไก่ได้รับแสง 16 ชั่วโมง และได้รับอาหารและน้ำอย่างเต็มที่ (*ad libitum*) โดยการทดลองที่ 1 ทดสอบอิทธิพลของโปรตีน 3 ระดับ ใช้ไก่จำนวน 288 ตัว โดยแบ่งไก่ออกเป็น 3 กลุ่มๆ ละ 6 ซ้ำๆ ละ 16 ตัว และการทดลองที่ 2 ทดสอบอิทธิพลของกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 4 ระดับ ใช้ไก่จำนวน 384 ตัว แบ่งไก่ออกเป็น 4 กลุ่มๆ ละ 6 ซ้ำๆ ละ 16 ตัว

2. โรงเรือน

โรงเรือนทดลองระบบปิด มีขนาดกว้าง 8 เมตร ยาว 60 เมตร สูง 3 เมตร ควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือนด้วย ระบบระเหยไอน้ำ (Evaporative cooling system) ใช้พัดลมระบายอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 48 นิ้วจำนวน 4 ตัวติดอยู่ท้ายโรงเรือนเป็นการระบายอากาศแบบอุโมงค์ลม (tunnel ventilation system) และใช้ผ้าม่านสีดำปิดด้านข้างโรงเรือน เพื่อลดรังสีความร้อนภายนอกเข้าสู่โรงเรือน โดยมีชุดควบคุม thermostat ควบคุมการปิด-เปิดของพัดลมและปั้มน้ำ โดยตั้งอุณหภูมิเพื่อควบคุมการทำงานของปั้มน้ำที่ 27 ถึง 29 องศาเซลเซียส และตั้งค่าความชื้น เพื่อควบคุมการเปิดปั้มน้ำที่ 75 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์สัมพัทธ์ และควบคุมการปิดปั้มน้ำที่ 85 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์สัมพัทธ์ ภายในมีกรงตับพื้นลวดขนาด 41 x 46 x 40 ลูกบาศก์เซนติเมตร(พื้นที่ 40 ตารางเซนติเมตรต่อตัว) รางอาหารขนาดกว้าง 15 เซนติเมตร ลึก 10 เซนติเมตรและ ระบบการให้น้ำอัตโนมัติแบบหัวหยด (nipple)

3. อาหารทดลอง

การทดลองที่ 1 ทดสอบอิทธิพลของระดับโปรตีน ใช้อาหารทดลองที่มีโปรตีนต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 14, 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์ ค่าเฉลี่ยสัดส่วนของโปรตีนต่อเมทไธโอนีน (CP:Met) ในสูตร

อาหารเท่ากับ 50 มีสัดส่วนของกรดอะมิโนจำเป็นเทียบกับกรดอะมิโนไลซีน ดังแสดงในตารางที่ 6 ซึ่งเป็นระดับที่ใกล้เคียงกับคำแนะนำของ NRC (1994) ระดับพลังงานใช้ประโยชน์ได้เท่ากันทุกกลุ่ม ตามคำแนะนำของธีรวิทย์และชัยภูมิ (2547) คือ 2,750 Kcal/Kg ดังตารางที่ 7 – 9 ส่วนสารอาหารอื่นๆ มีครบตามความต้องการของสายพันธุ์

การทดลองที่ 2 ทดสอบอิทธิพลของระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีน และเพื่อให้กรดอะมิโนเมทไธโอนีนเป็นกรดอะมิโนที่จำกัดอันดับหนึ่ง จึงใช้อาหารทดลองที่มีโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ โดยทำให้อาหารมีกรดอะมิโนเมทไธโอนีนต่างกัน 4 ระดับ คือ 0.28, 0.30, 0.38 และ 0.44 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 6 สัดส่วนของโภชนะต่าง ๆ จากการคำนวณในอาหารพื้นฐานเปรียบเทียบกับคำแนะนำของ NRC (1994)

	14% CP	16% CP	18% CP	NRC (1994)
โปรตีน/เมทไธโอนีน	51.85	51.61	51.43	50.00
โปรตีน/ไลซีน	17.50	18.60	17.82	21.71
ไลซีน /ไลซีน	1.00	1.00	1.00	1.00
เมทไธโอนีน /ไลซีน	0.34	0.36	0.35	0.43
ทริปโตเฟน /ไลซีน	0.20	0.22	0.22	0.22
ทรีโอนีน/ไลซีน	0.69	0.73	0.70	0.68
ไอโซลูซีน /ไลซีน	0.71	0.77	0.74	0.93
อาร์จินีน /ไลซีน	1.09	1.21	1.16	1.01
ลูซีน /ไลซีน	1.63	1.70	1.57	1.18
เฟนิลอะลานีน /ไลซีน	0.85	0.92	0.87	0.68
ฮิสติดีน/ไลซีน	0.53	0.55	0.51	0.25
วาเลีน /ไลซีน	0.85	0.91	0.86	1.01

หมายเหตุ ก^{1/} ความต้องการพลังงานงานของสัตว์ตามคำแนะนำของ NRC (1994) มีความผันแปรตามน้ำหนักตัวและปริมาณไข่จึงไม่สามารถระบุระดับพลังงานที่ชัดเจนได้

ตารางที่ 7 ส่วนประกอบของวัตถุดิบอาหารที่ใช้ในการทดลอง

วัตถุดิบอาหาร(%)	14% CP	16% CP	18% CP
ข้าวโพด	67.16	65.57	62.63
กากถั่วเหลือง (CP 44%)	11.71	18.39	20.21
ปลาป่น (CP 58%)	5.00	5.00	7.65
รำสกัดน้ำมัน	5.72	0.77	-
แอล-ไลซีน	0.11	-	-
โมโนแคลเซียมฟอสเฟต (P 21%)	0.95	0.96	0.55
เปลือกหอย	8.61	8.57	8.27
เกลือ	0.24	0.24	0.19
^{1/} พรีมิกซ์	0.50	0.50	0.50
รวม(kg)	100.00	100.00	100.00

หมายเหตุ ^{1/}Premix: Lutavit® Mix CNK004 consist of Vitamin A 4.80 MIU; D3 0.96 MIU; E 3.20 g; K3 0.80 g; B1 0.40 g; B2 1.60 g; B6 1.20 g; B12 0.004 g; Pantothenic acid 3.80 g; Niacin 6 g; Folic acid 0.20 g; Biotin 0.036 g; Se 0.04 g; Fe 24 g; Mn 24 g Zn 16 g; Cu 2.40 g; I 0.14 g; Feed preservative substance 2.50 g; Flavor 10 g and carrier added to 1.00 kg premix.

ตารางที่ 8 องค์ประกอบทางโภชนาของอาหาร

องค์ประกอบ	14%CP	16%CP	18%CP
ความชื้น (%)	(10.44)	(10.70)	(10.53)
วัตถุแห้ง (%)	(89.56)	(89.30)	(89.47)
ไขมัน (%)	(2.65)	(2.99)	(2.80)
เยื่อใย (%)	(2.89)	(2.90)	(2.89)
เถ้า (%)	(13.39)	(13.30)	(13.77)
พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (Kcal/Kg)	2,750.00 (3,545.86)*	2,750.00 (3,596.82)*	2,750.00 (3,423.79)*
โปรตีน (%)	14.00 (14.59)	16.00 (16.47)	18.00 (18.57)
แคลเซียม (%)	3.80 (4.16)	3.80 (4.09)	3.80 (4.01)
ฟอสฟอรัสที่ใช้ ประโยชน์ได้ (%)	0.40 (0.77)**	0.40 (0.76)**	0.40 (0.71)**
ไลซีน (%)	0.80 (0.81)	0.86 (0.86)	1.01 (1.01)
เมทไธโอนีน (%)	0.28 (0.26)	0.31 (0.29)	0.35 (0.33)
ทรีปโตเฟน (%)	0.16 (0.15)	0.19 (0.18)	0.22 (0.20)
ธรีโอนีน (%)	0.55 (0.53)	0.63 (0.61)	0.71 (0.69)
ไอโซลูซีน (%)	0.57 (0.54)	0.66 (0.64)	0.75 (0.72)
อาร์จินีน (%)	0.86 (0.85)	1.04 (1.00)	1.17 (1.13)
ลูซีน (%)	1.28 (1.26)	1.46 (1.41)	1.59 (1.54)
เฟนิลอะลานีน (%)	0.67 (0.67)	0.79 (0.80)	0.88 (0.87)
ฮิสติดีน (%)	0.41 (0.42)	0.47 (0.47)	0.52 (0.52)

หมายเหตุ () ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์

* พลังงานรวม

** ฟอสฟอรัสทั้งหมด

กำหนดปริมาณการกินของไก่ไข่เท่ากับ 110 กรัมต่อตัวต่อวัน

คำนวณโดยใช้โปรแกรม Feedlive (2000)

ตารางที่ 9 ส่วนประกอบทางเคมีจากการวิเคราะห์ในวัตถุดิบอาหาร

	ข้าวโพด	กากถั่วเหลือง	ปลาป่น	รำสกัดน้ำมัน
ความชื้น (%)	12.56	11.58	6.96	10.16
โปรตีน (%)	7.73	43.55	58.55	15.01
แคลเซียม (%)	0.02	0.31	5.98	0.10
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)	0.19	0.66	3.28	1.50
เถ้า (%)	1.20	6.22	24.28	11.0
ไลซีน (%)	0.24	2.64	4.07	0.69
เมทไธโอนีน (%)	0.16	0.58	1.51	0.20
ทรีปโตเฟน (%)	0.06	0.60	0.58	0.12
ทรีโอนีน (%)	0.28	1.68	2.25	0.50
ไอโซลูซีน (%)	0.25	1.96	2.22	0.59
อาร์จินีน (%)	0.38	3.16	3.32	1.07
ลูซีน (%)	0.93	3.29	3.87	0.97
วาเลีน (%)	0.37	2.07	2.58	0.80

วิธีการทดลอง

1. แผนการทดลอง

การทดลองที่ 1 ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design: CRD) โดยพิจารณาปัจจัยหลัก คือ ระดับเปอร์เซ็นต์โปรตีน 3 ระดับ คือ 14, 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยแบ่งไก่ออกเป็น 3 กลุ่ม ๆ ละ 6 ซ้ำ ๆ ละ 16 ตัว

การทดลองที่ 2 ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design: CRD) โดยแบ่งไก่ออกเป็น 4 กลุ่ม ๆ ละ 6 ซ้ำ ๆ ละ 16 ตัว เพื่อทดสอบอิทธิพลของระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีน และเพื่อให้เห็นผลของการขาดกรดอะมิโนที่ชัดเจน จึงใช้อาหารทดลองที่มีโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ โดยเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนต่างกัน 4 ระดับ คือ 0.28 (เป็นสูตรอาหารพื้นฐานไม่เสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีน), 0.30, 0.38 และ 0.44 เปอร์เซ็นต์

2. การจัดการเลี้ยงดู

ทั้งสองการทดลอง ไก่ถูกเลี้ยงบนกรงคับที่มีความหนาแน่น 920 ตารางเซนติเมตรต่อตัว (2 ตัวต่อช่อง) ในโรงเรือนระบบปิด ให้ไก่ได้รับอาหารและน้ำอย่างเต็มที่ (*ad libitum*) โดยไก่ได้รับน้ำผ่านระบบน้ำหยด (nipple) ใช้ผ้า màn สีดำปิดข้างโรงเรือน เพื่อลดรังสีความร้อนจากภายนอกเข้าสู่โรงเรือน ใช้ระบบควบคุมสภาพแวดล้อมด้วยระบบไอน้ำ (Evaporative cooling system) แบบ negative pressure system และระบบการระบายอากาศแบบอุโมงค์ลม (tunnel ventilation system) ตั้งอุณหภูมิเพื่อควบคุมการทำงานของปั้มน้ำที่ 27-29 องศาเซลเซียส และตั้งค่าความชื้นเพื่อควบคุมการเปิดปั้มน้ำที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75-80 เปอร์เซ็นต์ และปิดปั้มน้ำที่ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์ และให้ไก่ได้รับแสง 16 ชั่วโมงต่อวัน

3. การบันทึกผลการทดลอง

การบันทึกผลการทดลองแบ่งเป็น 7 ช่วงๆ ละ 28 วัน คือช่วงที่ไก่ไข่อายุ 21-24, 25-28, 29-32, 33-36, 37-40, 41-44 และ 45-48 สัปดาห์ตามลำดับ จากนั้นแบ่งอายุไก่เป็น 2 ช่วง คือ 21-32 สัปดาห์ (เริ่มให้ไข่จนถึงให้ไข่สูงสุด) และ 33-48 สัปดาห์ (เริ่มให้ไข่ลดลง) โดยแต่ละ

ช่วงมีการบันทึกข้อมูลพื้นฐานดังนี้ คือ 1. อุณหภูมิโรงเรือน 2. น้ำหนักตัว 3. ผลผลิตไข่ 4. ปริมาณอาหารที่กิน และ 5. จำนวนไข่ตาย

4. การวิเคราะห์ทางเคมี

4.1 ทำการสุ่มวัตถุดิบอาหารก่อนการผสมและตัวอย่างอาหารทดลองที่ผสมเสร็จแล้ว เพื่อวิเคราะห์โภชนาต่าง ๆ คือ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และเถ้า โดยวิธี Proximate Analysis ตามวิธีของ AOAC (1990) วิเคราะห์พลังงานรวมในอาหารโดยใช้เครื่อง bomb calorimeter และวิเคราะห์ปริมาณ แคลเซียม ฟอสฟอรัส ตามวิธีของ AOAC (1990) ดัดแปลงโดย อังคณา และดวงสมร (2523) และวิเคราะห์หาปริมาณกรดอะมิโนโดยใช้หลักการ Near-Infrared Spectroscopy (NIR) (Jianguo *et al.*, 2002) ดังแสดงในตารางที่ 7 และ 8 โดยทำการสุ่มวัตถุดิบอาหารทดลองเพื่อทำการวิเคราะห์ เพื่อประเมินโภชนาที่มีอยู่จริงก่อนคำนวณสูตรอาหาร ทำการสุ่มทุกครั้งที่ผสมอาหารทดลองและเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เมื่อสิ้นสุดการทดลองจึงนำอาหารทดลองที่สุ่มทั้งหมดมารวมกันเพื่อทำการสุ่มตัวอย่างนำไปวิเคราะห์ทางเคมีตามวิธีที่กล่าวไว้ข้างต้น

4.2 นำไข่ที่มีน้ำหนักตัวอยู่ในช่วงค่าเฉลี่ยของแต่ละหน่วยทดลอง $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจำนวนกลุ่มละ 6 ตัว (เข้าละ 1 ตัว) ในสัปดาห์ที่ 33 และ 48 มาเจาะเลือดที่เส้นเลือดดำบริเวณปีก (Wing Vein) ประมาณ 3 ซีซี (cc) นำไปปั่นเหวี่ยง (Centrifugation) แยกซีรัม (Serum) ด้วยอัตราความเร็ว 3,000 รอบ/นาที (3,000 rpm) นาน 15 นาที แยกซีรัมที่ได้เก็บแช่แข็งที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนทั้งหมดในซีรัมไข่ไข่อายุ 33 และ 48 สัปดาห์ ตามหลักการ Biuret method โดยใช้ชุดทดสอบ Total Protein ของบริษัท Erba Diagnostics Mannheim GmbH

4.3 ศึกษาสุขภาพไข่ไข่อายุ 33 และ 48 สัปดาห์ โดยนำซีรัมมาวิเคราะห์หาปริมาณอัลบูมิน อัลฟา-กลอบูลิน, บีตา-กลอบูลิน และแกมมา-กลอบูลิน ด้วยเทคนิคเซลลูโลสอะซิเตทอิเล็กโตรโฟรีซิส (Cellulose acetate electrophoresis technique) และหาระดับ ND-Titer โดย Hemagglutination-Inhibition test (HI-test)

4.4 ศึกษากระบวนการขนส่งไขมันของไข่ไข่อายุ 33 และ 48 สัปดาห์ โดยหาปริมาณไลโปโปรตีนที่มีความหนาแน่นต่ำมาก (Very Low Density Lipoprotein; VLDL) ด้วยเทคนิคเซลลูโลส

อะซิเตทอิเล็กโตรโฟเรซิส (Cellulose acetate electrophoresis technique) และปริมาณกรดไขมันอิสระ (Non-esterified free fatty acid; NEFA) ในซีรัมตามวิธีการของ Smith (1975)

4.5 ทำการฆ่าไข่เมื่ออายุครบ 33 และ 48 สัปดาห์โดยการฉีดอากาศเข้าโพรงสมอง จากนั้นเปิดซาก เก็บตับ และม้ามชั่งน้ำหนัก

4.6 สุ่มเก็บเนื้อเยื่อตับ เพื่อทำสไลด์เนื้อเยื่อศึกษาการแทรกตัวของไขมันในเนื้อเยื่อตับ (Fatty degeneration) และปริมาณไตรกลีเซอไรด์ในตับ โดยดัดแปลงวิธีการของ Sutton *et al.* (1984) คือ ทำการสกัดไขมันโดยชั่งตัวอย่าง 1 กรัม เจือจางด้วย acetone-ethanol (1:1 v/v) 5 เท่า แล้วนำไป homogenized ที่อัตราความเร็ว 20,000 รอบ/นาที (20,000 rpm) หลังจากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยอัตราความเร็ว 3,000 รอบ/นาที (3,000 rpm) เป็นเวลา 10 นาที นำสารละลายส่วนบนไปวิเคราะห์ด้วยวิธี Enzymatic Colorimetric Method ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นแสง 510 นาโนเมตร โดยใช้ชุดทดสอบของบริษัท Erba Diagnostics Mannheim GmbH

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ตามแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test โดยมีแบบหุ้नทางสถิติคือ

5.1 การทดลองที่ 1

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

เมื่อ μ = ค่าเฉลี่ยรวม

A_i = อิทธิพลของระดับโปรตีน

โดย $i = 1$ (14% CP)

2 (16% CP)

3 (18% CP)

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

5.2 การทดลองที่ 2

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

เมื่อ μ = ค่าเฉลี่ยร่วม

A_i = อิทธิพลของระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีน

โดย $i = 1$ (0.280 เปอร์เซ็นต์กรดอะมิโนเมทไธโอนีน)

2 (0.300 เปอร์เซ็นต์กรดอะมิโนเมทไธโอนีน)

3 (0.380 เปอร์เซ็นต์กรดอะมิโนเมทไธโอนีน)

4 (0.440 เปอร์เซ็นต์กรดอะมิโนเมทไธโอนีน)

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

6. ระยะเวลาทำการทดลอง

เริ่มการทดลอง : เดือนธันวาคม พุทธศักราช 2546

สิ้นสุดการทดลอง : เดือนกันยายน พุทธศักราช 2547

7. สถานที่ทำการทดลอง

7.1 ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเลี้ยงสัตว์ปีก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

7.2 ห้องปฏิบัติการสัตววิทยา ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

7.3 ห้องปฏิบัติการสัตววิทยา ภาควิชาสัตววิทยา คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ

7.4 ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

7.5 ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์กรดอะมิโน บริษัท Degussa (Degussa AO – Feed Additive & Applied Technology) ประเทศเยอรมัน

ผลและวิจารณ์

การทดลองที่ 1 การศึกษาผลของระดับโปรตีนในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิต ภูมิคุ้มกัน และการเกิด Fatty Liver Syndrome

อิทธิพลของระดับโปรตีนต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่ไข่

1. ผลต่อผลผลิตไข่ น้ำหนักฟองไข่ และมวลไข่

อิทธิพลของระดับโปรตีนในอาหารต่อการให้ผลผลิตไข่ของไก่ไข่ช่วงอายุ 21-32 และ 33-48 สัปดาห์ แสดงในตารางที่ 10 และ 11 ตามลำดับ พบว่า ในช่วงอายุ 21-32 สัปดาห์ เปอร์เซ็นต์ผลผลิตไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แม้โปรตีนที่สูงขึ้นทำให้เปอร์เซ็นต์ไข่มีแนวโน้มสูงขึ้น โดยมีค่าเท่ากับ 91.9, 94.5 และ 95.0 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับโปรตีน 14, 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในช่วงอายุ 33-48 สัปดาห์ พบว่าโปรตีนในอาหารทำให้เปอร์เซ็นต์ผลผลิตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ให้ผลผลิตไข่น้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 85.12, 90.76 และ 93.06 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับโปรตีน 14 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

จากการทดลองทั้งสองช่วง ระดับโปรตีนในอาหารส่งผลให้น้ำหนักฟองไข่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยโปรตีนในอาหารที่สูงขึ้นส่งผลให้น้ำหนักฟองไข่เพิ่มขึ้น ในช่วงอายุ 21-32 สัปดาห์ กลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักฟองไข่น้อยที่สุด คือ 56.72 กรัม แตกต่างจากกลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีน้ำหนักฟองไข่เท่ากับ 58.96 และ 59.34 กรัม ตามลำดับ ในช่วงอายุ 33-48 สัปดาห์ กลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักฟองไข่ 58.78 กรัม ซึ่งน้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 18 เปอร์เซ็นต์ ที่มีน้ำหนักฟองไข่เท่ากับ 61.75 กรัมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อย่างไรก็ตามกลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 16 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักฟองไข่เท่ากับ 60.24 กรัม นั้นไม่แตกต่างจากกลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 14 และ 18 เปอร์เซ็นต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 9 และ 10

ในทั้งสองช่วงการทดลองนั้น อิทธิพลของโปรตีนในอาหารส่งผลให้มวลไขมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยมวลไขสูงขึ้นตามโปรตีนในอาหารที่สูงขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 10 และ 11

จากผลการทดลองในช่วงแรก (อายุ 21-33 สัปดาห์) พบว่าการลดระดับโปรตีนในอาหารไม่มีผลต่อปริมาณผลผลิต แต่พบว่าในระยะยาว (อายุครบ 48 สัปดาห์) ไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลผลิตไขน้อยลง และไขมีน้ำหนักฟองไข่ลดลง ส่งผลให้มวลไขลดลงด้วยเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ ได้รับโปรตีนและกรดอะมิโนจากอาหารน้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับรายงานของ Coon (1993) ซึ่งกล่าวว่าไก่ที่รับอาหารโปรตีน 18 เปอร์เซ็นต์ มีเปอร์เซ็นต์ไข น้ำหนักไข สูงกว่าอาหารโปรตีน 16 และ 14 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ Reid (1976) ยังรายงานไว้ว่า กลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีนตั้งแต่ 15.5 ถึง 19.5 เปอร์เซ็นต์ ให้เปอร์เซ็นต์ไข น้ำหนักไข มวลไข สูงกว่ากลุ่มที่รับอาหารโปรตีนตั้งแต่ 10.0 ถึง 13.5 เปอร์เซ็นต์ โดย Penz and Jensen (1991) และ Coon (1993) อธิบายว่าไก่ที่ได้รับอาหารโปรตีนต่ำมีน้ำหนักไขลดลงนั้นเกิดจากปริมาณโปรตีนที่นำไปสร้างเป็นโปรตีนในฟองไข่ลดลง สอดคล้องกับการศึกษาครั้งนี้ ซึ่งไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ ได้รับโปรตีนและกรดอะมิโนเมทไธโอนีนจากอาหารน้อยกว่าความต้องการที่แนะนำโดย NRC (1994) ซึ่งรายงานไว้ว่าไก่ไขมีความต้องการโปรตีน 16.50 กรัม/ตัว/วัน และกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.33 กรัม/ตัว/วัน

2. ผลต่อปริมาณการกินอาหาร โปรตีน พลังงานและกรดอะมิโนจำเป็นที่ได้รับจากอาหาร

ระดับโปรตีนในอาหารไม่ส่งผลต่อปริมาณการกินอาหาร ให้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 10 และ 11) โดยพบว่าในช่วงอายุ 21-33 สัปดาห์ มีปริมาณการกินอาหาร 110.1, 110.7 และ 111.2 กรัม/ตัว/วัน ที่ระดับโปรตีน 14, 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และช่วงอายุ 33-48 สัปดาห์ มีปริมาณการกินอาหาร 112.7, 111.9 และ 114.6 กรัม/ตัว/วัน ที่ระดับโปรตีน 14, 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จึงทำให้ไก่ไข่ได้รับพลังงานจากอาหารไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วย ($p > 0.05$) โดยในช่วงอายุ 21-33 สัปดาห์ ได้รับพลังงานจากอาหาร 302.72, 304.43 และ 305.84 กิโลแคลอรี/ตัว/วัน และช่วงอายุ 33-48 สัปดาห์ ได้รับพลังงาน

จากอาหาร 312.4, 308.8 และ 310.2 กิโลแคลอรี/ตัว/วัน ที่ระดับโปรตีน 14 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

จากการทดลองทั้งสองช่วงพบว่าระดับโปรตีนในอาหารส่งผลให้ไก่ไข่ได้รับโปรตีนจากอาหารแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยปริมาณโปรตีนที่ได้รับจากอาหารสูงขึ้นตามโปรตีนในอาหารที่สูงขึ้น (ตารางที่ 9 และ 10) พบว่าในช่วงอายุ 21-33 สัปดาห์ ไก่ไข่ได้รับโปรตีนจากอาหาร 15.4, 17.7 และ 20.0 กรัม/ตัว/วัน และช่วงอายุ 33-48 สัปดาห์ ได้รับโปรตีนจากอาหาร 15.8, 17.9 และ 20.6 กรัม/ตัว/วัน ที่ระดับโปรตีน 14, 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ในทั้งสองช่วงการทดลองพบว่า อิทธิพลของระดับโปรตีนในอาหารส่งผลให้ไก่ไข่ได้รับกรดอะมิโนจำเป็นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยพบว่าไก่ไข่ได้รับกรดอะมิโนจำเป็นแต่ละชนิดเพิ่มขึ้นเมื่อระดับโปรตีนในอาหารสูงขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 12

จากการที่ระดับโปรตีนในอาหารที่ต่างกัน ไม่มีผลต่อปริมาณการกินและพลังงานที่ได้รับจากอาหาร เนื่องจากสัตว์กินอาหารเพื่อให้ได้พลังงานเพียงพอกับการความต้องการของร่างกายเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ (อุทัย, 2529) โดยธีรวิทย์ และชัยภูมิ (2547) รายงานว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีนแตกต่างกันแต่พลังงานเท่ากันมีปริมาณการกินอาหารไม่แตกต่างกัน และเมื่อลดระดับพลังงานในอาหารลงไก่จะกินอาหารมากขึ้น สอดคล้องกับการทดลองครั้งนี้ ซึ่งพลังงานใช้ประโยชน์ได้ในอาหารทดลองทุกสูตรเท่ากัน คือ 2,750 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม และจากผลการทดลองพบว่าปริมาณการกินอาหารของไก่ไข่ใกล้เคียงกับปริมาณที่แนะนำตามสายพันธุ์ คือวันละ 110 กรัม/ตัว/วัน (ANNEX, 2000) ดังนั้นระดับพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ในอาหาร จึงควบคุมปริมาณอาหารที่กินของไก่ให้เท่ากัน

ทวีศักดิ์และคณะ (2546) รายงานว่าเมื่อพลังงานในอาหารเท่ากันไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 16 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณโปรตีนที่ได้รับมากกว่ากลุ่มที่ได้รับโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับการศึกษาครั้งนี้ซึ่งพบว่า ปริมาณการกินอาหารของไก่ไข่ในแต่ละกลุ่มการทดลองนั้นไม่แตกต่างกัน แต่ระดับโปรตีนในอาหารทดลองในแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกัน เมื่อไก่ไข่กินอาหารที่มีระดับโปรตีนในอาหารต่ำและยังมีการกินอาหารเท่าเดิม จึงทำให้มีโปรตีนที่ได้รับจากอาหารต่ำไปด้วย นอกจากนั้น NRC (1994) แนะนำว่าไก่ไข่ที่กินอาหาร 110 กรัม/ตัว/วัน มีความต้องการโปรตีน 16.5 กรัม/ตัว/วัน แต่เนื่องจากพลังงานในอาหารเป็นตัวกำหนดปริมาณอาหารที่กิน

มากกว่าโปรตีน (Scott *et al.*, 1982) ดังนั้นปริมาณการกินอาหารที่ไม่แตกต่างกันเมื่อได้รับอาหารโปรตีนระดับต่างๆ จึงส่งผลให้โปรตีนที่ได้รับแตกต่างกัน

เนื่องจากระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารนั้น คำนวณจากสัดส่วนของโปรตีนต่อกรดอะมิโนเมทไธโอนีน (CP:Met) โดยในทุกสูตรอาหารมีค่า CP:Met เท่ากับ 51.6 ซึ่งเป็นระดับที่ทำให้ใกล้เคียงที่สุดตามคำแนะนำของ NRC (1994) คือ 50 และปรับระดับกรดอะมิโนจำเป็นอื่นๆ โดยคำนวณสัดส่วนของกรดอะมิโนจำเป็นต่อไลซีนตามคำแนะนำของ NRC (1994) (ตารางที่ 6) ดังนั้นในอาหารโปรตีน 14, 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์ จึงมีสัดส่วนของกรดอะมิโนเมทไธโอนีนต่อไลซีนใกล้เคียงกันทุกกลุ่ม คือ 34, 35 และ 36 ทำให้แต่ละกลุ่มมีกรดอะมิโนเมทไธโอนีนเป็นองค์ประกอบในอาหาร 0.28, 0.31 และ 0.35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อพิจารณาพร้อมกับปริมาณอาหารที่กินซึ่งได้รับอิทธิพลจากพลังงานในอาหาร กลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ จึงได้รับกรดอะมิโนเมทไธโอนีน ไอโซลิวซีน ทรีโอดเฟน และวาลีน น้อยกว่ากลุ่มอื่นๆ

3. ผลต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารโปรตีน และพลังงานเป็นน้ำหนักไข่

ในช่วงอายุ 21-32 สัปดาห์ ระดับโปรตีนในอาหารส่งผลให้ไก่มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 9 และ 10) โดยพบว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ เป็นกลุ่มที่มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ด้อยที่สุด คือ 2.12 กรัม/ไข่ 1 กรัม แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากกลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 18 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ดีที่สุด คือ 1.98 กรัม/ไข่ 1 กรัม อย่างไรก็ตามพบว่า ไก่ในกลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 16 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ 2.02 กรัม/ไข่ 1 กรัม ไม่แตกต่างจากกลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 14 และ 18 เปอร์เซ็นต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในช่วงอายุ 33-48 สัปดาห์ พบว่า ไก่ในกลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ดีกว่าไก่ในกลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.01$) โดยมีค่าเท่ากับ 2.26, 2.11 และ 2.02 กรัม/ไข่ 1 กรัม ที่ระดับโปรตีน 14, 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

อย่างไรก็ตามพบว่า ระดับโปรตีนในอาหารที่สูงขึ้น กลับส่งผลให้ไก่มีอัตราการเปลี่ยนโปรตีนเป็นน้ำหนักไข่ด้อยลง โดยพบว่าในช่วงอายุ 21-32 สัปดาห์ ไก่ในกลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเปลี่ยนโปรตีนเป็นน้ำหนักไข่ 0.29 กรัม/ไข่ 1 กรัม ดีกว่ากลุ่มที่ได้

รับอาหารโปรตีน 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) ซึ่งมีอัตราการเปลี่ยนโปรตีนเป็นน้ำหนักร่างกาย 0.32 และ 0.35 กรัม/ไข่ 1 กรัม ตามลำดับ ในช่วงอายุ 33-48 สัปดาห์ไข่ไก่กลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 18 เปอร์เซ็นต์ เป็นกลุ่มที่มีอัตราการเปลี่ยนโปรตีนเป็นน้ำหนักร่างกายดีกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 14 และ 16 เปอร์เซ็นต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 0.30, 0.32 และ 0.35 กรัม/ไข่ 1 กรัม ที่ระดับโปรตีน 14, 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 10 และ 11

โปรตีนที่สูงขึ้นส่งผลให้ไก่ไข่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานจากอาหารดีขึ้นทั้งสองช่วงการทดลอง โดยช่วงแรกของการทดลอง (21-32 สัปดาห์) พบว่า ระดับโปรตีนในอาหารที่สูงขึ้นส่งผลให้อัตราการเปลี่ยนพลังงานเป็นน้ำหนักร่างกายดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 18 เปอร์เซ็นต์ เป็นกลุ่มที่มีอัตราการเปลี่ยนพลังงานเป็นน้ำหนักร่างกายดีที่สุด แตกต่างจากกลุ่มที่ได้รับโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 16 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเปลี่ยนพลังงานเป็นน้ำหนักร่างกายไม่แตกต่างจากกลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 14 และ 18 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแต่ละกลุ่มมีอัตราการเปลี่ยนพลังงานเป็นน้ำหนักร่างกายเท่ากับ 5.79, 5.57 และ 5.45 กิโลแคลอรี/ไข่ 1 กรัม ที่ระดับโปรตีน 14, 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 10) และในช่วงอายุ 32-48 สัปดาห์ โปรตีนในอาหารส่งผลให้ไก่ไข่มีอัตราการเปลี่ยนอาหารแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) พบว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 18 และ 16 เปอร์เซ็นต์มีอัตราการเปลี่ยนพลังงานเป็นน้ำหนักร่างกายดีกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ โดยมีอัตราการเปลี่ยนพลังงานเป็นน้ำหนักร่างกายเท่ากับ 5.79, 5.57 และ 5.45 กิโลแคลอรี/ไข่ 1 กรัม ที่ระดับโปรตีน 14, 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 11

เนื่องจากไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ มีมวลไข่ต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหาร 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่โปรตีนในอาหารที่เพิ่มขึ้นทำให้ผลผลิตสูงขึ้น ประกอบกับทุกกลุ่มมีปริมาณการกินอาหารและพลังงานที่ได้รับไม่แตกต่างกันนัก ดังนั้นเมื่อดำเนินการอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักร่างกาย จึงทำให้กลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีนต่ำมีอัตราการเปลี่ยนอาหารและพลังงานเป็นน้ำหนักร่างกายดีกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีนสูง และเนื่องจากโปรตีนที่สัตว์กินเข้าไปสามารถใช้ประโยชน์ได้เพียง 40 เปอร์เซ็นต์ (Schutte *et al.*, 1983) โดยโปรตีนส่วนที่เกินนั้นประกอบด้วยกรดอะมิโนซึ่งจะถูกขับออกจากร่างกาย โดยกำจัดหมู่อะมิโนผ่านไต (Stevens, 1996) และโคโรนาร์บอนจะถูกเปลี่ยนเป็นอะซีติลโคเอ ไพรูเวต หรือสารตัวกลางในวัฏจักรเครบส์ (อาภัสตรา, 2543) จึงเป็นไปได้ว่ากลุ่มที่ได้รับโปรตีนสูงมีการเปลี่ยนโปรตีนเป็นพลังงานในการ

สร้างผลผลิต ทำให้อัตราการเปลี่ยนอาหาร และพลังงานเป็นน้ำหนักไข่ดีกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีนต่ำ ขณะที่กลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีนต่ำจึงมีอัตราการเปลี่ยนโปรตีนเป็นน้ำหนักไข่ดีกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีนสูง สอดคล้องกับ Bunchasak *et al.* (1996, 1997, 1998); Bunchasak. (1997) และ Bunchasak and Slipasorn (2005) ซึ่งรายงานว่าสัตว์ที่ได้รับอาหารโปรตีนต่ำมักมีประสิทธิภาพการใช้โปรตีนที่ดีขึ้น

ตารางที่ 10 ผลของระดับโปรตีนต่อสมรรถภาพการผลิตไก่ไข่ช่วงอายุ 21-32 สัปดาห์

	CP (%)			P-value
	14	16	18	
ผลผลิตไข่ (เปอร์เซ็นต์)	91.9 ± 1.5	94.5 ± 1.2	95.0 ± 0.9	0.77
น้ำหนักไข่ (กรัม)	56.72 ^b ± 0.5	58.96 ^a ± 0.8	59.34 ^a ± 0.5	0.03
มวลไข่	51.8 ^B ± 0.7	54.9 ^A ± 1.1	56.1 ^A ± 0.5	0.008
ปริมาณอาหารที่ได้รับ (กรัม/ตัว/วัน)	110.1 ± 0.7	110.7 ± 0.7	111.2 ± 0.7	0.55
ปริมาณโปรตีนที่ได้รับ (กรัม/ตัว/วัน)	15.4 ^C ± 0.10	17.7 ^B ± 0.12	20.0 ^A ± 0.13	<0.001
ปริมาณพลังงานที่ได้รับ (กิโลแคลอรี/ตัว/วัน)	302.72 ± 1.9	304.43 ± 2.0	305.84 ± 1.9	0.55
อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ (กรัม/ไข่ 1 กรัม)	2.12 ^a ± 0.03	2.02 ^{ab} ± 0.05	1.98 ^b ± 0.02	0.03
อัตราการเปลี่ยนโปรตีนเป็นน้ำหนักไข่ (กรัม/ไข่ 1 กรัม)	0.29 ^C ± 0.03	0.32 ^B ± 0.01	0.35 ^A ± 0.01	0.001
อัตราการเปลี่ยนพลังงานเป็นน้ำหนักไข่ (กิโลแคลอรี/ไข่ 1 กรัม)	5.79 ^a ± 0.04	5.57 ^{ab} ± 0.09	5.45 ^b ± 0.06	0.03

หมายเหตุ ^{a,b,c} อักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

^{A,B,C} อักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.01)

ทุกข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± SE

ตารางที่ 11 ผลของระดับโปรตีนต่อสมรรถภาพการผลิตไก่ไข่อายุ 33-48 สัปดาห์

	CP (%)			P-value
	14	16	18	
ผลผลิตไข่ (เปอร์เซ็นต์)	85.12 ^b ±1.38	90.76 ^a ±1.14	93.06 ^a ±1.04	0.04
น้ำหนักไข่ (กรัม)	58.78 ^b ±0.52	60.24 ^{ab} ±0.71	61.75 ^a ±0.45	0.02
มวลไข่	49.89 ^C ±0.58	53.14 ^B ±0.93	56.90 ^A ±0.88	<0.01
ปริมาณอาหารที่ได้รับ(กรัม/ตัว/วัน)	112.67 ±1.22	111.95 ±1.07	114.64 ±1.23	0.28
ปริมาณโปรตีนที่ได้รับ (กรัม/ตัว/วัน)	15.78 ^C ±0.17	17.91 ^B ±0.17	20.63 ^A ±0.22	<0.01
ปริมาณพลังงานที่ได้รับ (กิโลแคลอรี/ตัว/วัน)	312.41 ±2.10	308.82 ±2.06	310.24 ±1.94	0.06
อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ (กรัม/ไข่1 กรัม)	2.26 ^b ±0.04	2.11 ^a ±0.02	2.02 ^a ±0.04	0.02
อัตราการเปลี่ยนโปรตีนเป็นน้ำหนักไข่ (กรัม/ไข่ 1 กรัม)	0.30 ^b ±0.008	0.32 ^b ±0.010	0.35 ^a ±0.005	0.04
อัตราการเปลี่ยนพลังงานเป็นน้ำหนักไข่ (กิโลแคลอรี/ไข่ 1 กรัม)	6.30 ^B ±0.07	5.72 ^A ±0.10	5.54 ^A ±0.11	<0.01

หมายเหตุ ^{a,b,c} อักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

^{A,B,C} อักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.01)

ทุกข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± SE

ตารางที่ 12 อิทธิพลของระดับโปรตีนในอาหารต่อปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นที่ไก่ไข่ได้รับในช่วงอายุ 21-32 และ 33-48 สัปดาห์

	14 CP (%)	16 CP (%)	18 CP (%)	P- value
	------(g/hen/d)-----			
Lysine	0.89 ^C ± 0.005 (0.90 ^C ± 0.009)	0.95 ^B ± 0.006 (0.96 ^B ± 0.009)	1.12 ^A ± 0.007 (1.16 ^A ± 0.012)	<0.001
Methionine	0.30 ^C ± 0.002 (0.32 ^C ± 0.003)	0.34 ^B ± 0.002 (0.35 ^B ± 0.003)	0.37 ^A ± 0.002 (0.40 ^A ± 0.004)	<0.001
Isoleucine	0.59 ^C ± 0.005 (0.64 ^C ± 0.007)	0.71 ^B ± 0.005 (0.74 ^B ± 0.007)	0.80 ^A ± 0.004 (0.81 ^A ± 0.009)	<0.001
Leucine	1.33 ^C ± 0.009 (1.46 ^C ± 0.016)	1.56 ^B ± 0.011 (1.63 ^B ± 0.015)	1.71 ^A ± 0.011 (1.82 ^A ± 0.020)	<0.001
Valine	0.73 ^C ± 0.005 (0.77 ^C ± 0.008)	0.84 ^B ± 0.006 (0.87 ^B ± 0.008)	0.94 ^A ± 0.006 (1.00 ^A ± 0.031)	<0.001
Branch-chain amino acids	2.65 ^C ± 0.017 (2.87 ^C ± 0.031)	3.11 ^B ± 0.021 (3.25 ^B ± 0.031)	3.45 ^A ± 0.022 (3.68 ^A ± 0.040)	<0.001
Threonine	0.58 ^C ± 0.003 (0.62 ^C ± 0.007)	0.67 ^B ± 0.004 (0.70 ^B ± 0.007)	0.77 ^A ± 0.005 (0.81 ^A ± 0.009)	<0.001
Arginine	0.93 ^C ± 0.006 (0.98 ^C ± 0.011)	1.11 ^B ± 0.007 (1.16 ^B ± 0.011)	1.26 ^A ± 0.008 (1.34 ^A ± 0.014)	<0.001
Histidine	0.46 ^C ± 0.003 (0.47 ^C ± 0.005)	0.52 ^B ± 0.004 (0.53 ^B ± 0.005)	0.58 ^A ± 0.004 (0.60 ^A ± 0.060)	<0.001
Phenylalanine	0.74 ^C ± 0.005 (0.77 ^C ± 0.008)	0.89 ^B ± 0.006 (0.88 ^B ± 0.008)	0.97 ^A ± 0.006 (1.01 ^A ± 0.011)	<0.001
Tryptophan	0.16 ^C ± 0.001 (0.18 ^C ± 0.002)	0.19 ^B ± 0.001 (0.21 ^B ± 0.002)	0.22 ^A ± 0.001 (0.25 ^A ± 0.003)	<0.001

หมายเหตุ ^{A, B, C} ตัวอักษรที่แตกต่างกันภายในแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.01)

ทุกข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± SE

() ปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นที่สัตว์ได้รับในช่วงอายุ 33-48 สัปดาห์

อิทธิพลของระดับโปรตีนต่อระบบภูมิคุ้มกันของไก่ไข่

1. ผลต่ออัตราการตาย

ระดับโปรตีนในอาหารไม่มีผลต่ออัตราการตายของไก่ไข่ในทั้งสองช่วงการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) จากผลการทดลองพบว่าไก่ไข่ช่วงอายุ 21-32 สัปดาห์ มีอัตราการตาย 0.33, 0.11 และ 0.27 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 9) และช่วงอายุ 33-48 สัปดาห์ มีอัตราการตาย 0.04, 0.12 และ 0.08 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับโปรตีนในอาหาร 14, 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 13)

จากการทดลองพบว่าระดับโปรตีนในอาหารไม่มีผลต่ออัตราการตาย สอดคล้องกับ Fernandez *et al.* (1973) ซึ่งได้ศึกษาผลของโปรตีนและการเปลี่ยนแปลงระดับโปรตีน ในไก่พันธุ์ เล็กฮอร์นขาวอายุ 20 สัปดาห์ พบว่าการเปลี่ยนแปลงระดับโปรตีน 18 เปอร์เซ็นต์ เป็น 15 เปอร์เซ็นต์ และ โปรตีน 15 เป็น 13 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีผลต่ออัตราการตาย จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า ไก่ไข่ได้รับโปรตีนจากอาหาร 15.4-20.6 กรัม/ตัว/วัน (ในอาหารโปรตีน 14-18 เปอร์เซ็นต์) ยังไม่ส่งผลให้ไก่ไข่ได้รับสารอาหารมากหรือน้อยจนเกินไปจนมีผลต่อการตายได้

2. ผลต่ออวัยวะน้ำเหลือง (ตับ และม้าม)

ผลการศึกษาระดับโปรตีนในอาหารต่อน้ำหนักตับ พบว่าโปรตีนในอาหารที่สูงขึ้นทำให้น้ำหนักตับเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นทั้งสองช่วงการทดลอง โดยไก่ไข่อายุ 32 สัปดาห์มีน้ำหนักตับแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กลุ่มที่ได้รับอาหาร โปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ เป็นกลุ่มที่มีน้ำหนักตับน้อยที่สุด คือ 1.67 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างจากกลุ่มที่ได้รับอาหาร โปรตีน 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีน้ำหนักตับ เท่ากับ 1.98 และ 2.02 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 13) ในระยะยาว (48 สัปดาห์) โปรตีนในอาหารไม่ส่งผลให้น้ำหนักตับแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แม้จะมีแนวโน้มเหมือนกับอายุ 32 สัปดาห์ โดยแต่ละกลุ่มมีน้ำหนักตับเท่ากับ 2.78, 2.80 และ 2.91 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับโปรตีนในอาหาร 14, 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

โปรตีนในอาหารไม่ส่งผลต่อน้ำหนักม้าม (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว) ของไก่ไข่อายุ 32 สัปดาห์ ให้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ซึ่งแต่ละกลุ่มมีน้ำหนักม้ามเท่ากับ 0.10,

0.12 และ 0.14 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับโปรตีนในอาหาร 14, 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ในระยะยาวโปรตีนกลับทำให้น้ำหนักม้ามแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 18 เปอร์เซ็นต์ เป็นกลุ่มที่มีน้ำหนักม้ามสูงที่สุด คือ 0.13 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่พบความแตกต่างของน้ำหนักม้ามระหว่างไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 14 และ 16 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีน้ำหนักม้าม 0.06 และ 0.07 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 13)

โปรตีนในอาหารที่สูงขึ้นทำให้น้ำหนักตับเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากโปรตีนทั้งหมดในพลาสมาสร้างขึ้นที่ตับ ยกเว้นอิมมูโนโกลบูลิน Steven (1996) รายงานว่าตับเป็นแหล่งสำคัญในการเปลี่ยนกรดอะมิโนที่ได้จากโปรตีนในอาหารเป็นโปรตีนที่ใช้ในตับและพลาสมาหลายชนิด ดังนั้น การที่ได้รับอาหารโปรตีนสูงจึงอาจเหนี่ยวนำให้ตับสังเคราะห์โปรตีนและไขมันเพิ่มขึ้น ตับจึงมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีนสูงมีไตรกลีเซอไรด์ในตับมากกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีนต่ำ (ตารางที่ 15) สอดคล้องกับ Maurice *et al.* (1982) รายงานว่า ไก่ไข่ที่กินอาหารโปรตีนสูง มีน้ำหนักตับและไขมันในตับมากกว่าไก่ที่ได้รับอาหารโปรตีนต่ำ อย่างไรก็ตาม Bunchasak and Silapasorn (2005) รายงานว่า ไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ (0.38 เปอร์เซ็นต์เมทไธโอนีน) มีน้ำหนักตับ (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักร่างกาย) ไม่แตกต่างจากกลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 16 เปอร์เซ็นต์ (0.38 เปอร์เซ็นต์เมทไธโอนีน) แม้กลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีนต่ำมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนในตับน้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีนสูง ($p < 0.05$)

จากผลการทดลอง ในช่วงอายุ 21-32 สัปดาห์โปรตีนในอาหารไม่มีผลต่อน้ำหนักม้าม สอดคล้องกับ Cheema *et al.* (2003) ซึ่งรายงานวว่า ระดับโปรตีนในอาหารที่แตกต่างกันทำให้น้ำหนักอวัยวะน้ำเหลือง เช่น ม้าม ต่อมไทมัส (Thymus glands) และต่อมเบอร์ซ่า (Bursa of Fabricious) เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักร่างกาย ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P = 0.81$) อย่างไรก็ตาม มีรายงานว่า อวัยวะน้ำเหลืองมีการพัฒนาการเจริญเติบโตมากขึ้น เมื่อระดับโปรตีนในอาหารเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์และอาหารที่ได้รับ (Rao *et al.*, 1999)

จากการศึกษาในครั้งนี้ พบว่าอาหารที่ไก่ไข่ได้รับเป็นระยะเวลาที่นานขึ้นนั้น ส่งผลต่อการทำงานของอวัยวะในระบบน้ำเหลืองทุติยภูมิ (Secondary lymphoid system) คือเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (อายุ 48 สัปดาห์) กลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีนสูง (โปรตีน 18 เปอร์เซ็นต์) มีน้ำหนักม้ามสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีนต่ำ สอดคล้องกับ Payne *et al.* (1990) และ Kenney *et al.* (1968) ซึ่ง

รายงานว่ ำไ้ที่ขาดแคลนโปรตีนเป็นเวลานานจะทำให้จำนวนเม็ดเลือดขาวในระบบไหลเวียนโลหิตน้อย และมีไขมันขนาดเล็กลง

3. ผลต่อ ND Titer (HI-test)

เมื่อตรวจสอบอิทธิพลของระดับโปรตีนในอาหารต่อการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันโดยแอนติบอดี (Humoral Mediated Immune Respond; HMIR) ด้วยการนำซีรัมมาตรวจหาค่า Titer ของโรคนิวคาสเซิล (ND Titer) โดยวิธี Hemagglutination-Inhibition test (HI-test) พบว่า ระดับโปรตีนในอาหารส่งผลให้ ND Titer (HI-test) ในซีรัมไก่ไข่อายุ 32 และ 48 สัปดาห์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 13) ซึ่งระดับโปรตีนในอาหารที่สูงขึ้นทำให้ ND Titer (HI-test) เพิ่มขึ้น ไ้ไข่อายุ 32 สัปดาห์ กลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 18 เปอร์เซ็นต์ เป็นกลุ่มที่มีค่า ND Titer (HI-test) สูงที่สุด คือ 4.17 แตกต่างจากกลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 14 และ 16 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งมีระดับ ND Titer (HI-test) เท่ากับ 2.20 และ 2.50 ตามลำดับ ในช่วงอายุ 48 สัปดาห์ ไ้ไข่กลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์เป็นกลุ่มที่มีค่า ND Titer (HI-test) ต่ำที่สุด คือ 2.00 แตกต่างจากกลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 18 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่า ND Titer (HI-test) สูงที่สุด คือ 3.33 ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตามพบว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 16 เปอร์เซ็นต์ มีค่า ND Titer (HI-test) ไม่แตกต่างจากกลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 14 และ 18 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่า ND Titer (HI-test) เท่ากับ 3.00

ไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ มีค่า ND Titer (HI-test) น้อยกว่าไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีนสูง อาจเนื่องจากมีปริมาณโปรตีนที่ได้รับ 15.4 และ 15.8 กรัม/ตัว/วัน ในช่วงอายุ 21-32 และ 33-48 สัปดาห์ตามลำดับ (ตารางที่ 9 และ 10) โดยต่ำกว่าความต้องการตามคำแนะนำของ NRC (1994) ซึ่งแนะนำว่าไก่ไข่ที่กินอาหาร 110 กรัม/ตัว/วัน มีความต้องการโปรตีน 16.5 กรัม/ตัว/วัน สอดคล้องกับ Payne *et al.* (1990) รายงานว่า ลูกไก่แสดงอาการของโรคนิวคาสเซิลมากขึ้น และระดับของแอนติบอดีที่มีต่อไวรัสชนิดนี้ก็จะน้อยลง เมื่อไม่ได้รับโปรตีนจากอาหาร อย่างไรก็ตาม จากการทดลองครั้งนี้พบว่า การตอบสนองทางภูมิคุ้มกันที่ลดลง ยังไม่ส่งผลต่ออัตราการตายของไก่ไข่ทั้งสองช่วงการทดลอง

นอกจากนี้ไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ มีการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันระดับแอนติบอดีลดลง อาจเป็นผลจากภาวะการขาดแคลนกรดอะมิโนเมทไธโอนีน ไอโซ

ลิวซีน วาลีน และทรีปโตเฟน ซึ่งมีผลงานวิจัยหลายฉบับที่รายงานถึงผลเสียของการขาดแคลนกรดอะมิโนจำเป็นเหล่านี้ต่อการตอบสนองทางภูมิคุ้มกัน โดย Bhargava *et al.* (1970) และ Marzija *et al.* (1982) รายงานว่า การได้รับกรดอะมิโนวาลีน โลซีน เมทไธโอนีน หรือเมทไธโอนีน + ซีสเตอีน ในปริมาณที่ไม่เพียงพอ ทำให้การตอบสนองทางภูมิคุ้มกัน (HI titre) ต่อวัคซีนโรคนิวคาสเซิลลดลง นอกจากนั้น Konashi *et al.* (2000) รายงานว่าการขาดแคลน branch-chain amino acid (BCAA) นั้น มีผลต่อการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันในไก่ลดลงเช่นกัน แม้จากผลการทดลองพบว่า ไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ ได้รับกรดอะมิโนไอโซลิวซีน และวาลีนไม่เพียงพอกับความ ต้องการตามคำแนะนำของ NRC (1994) ก็ตาม แต่เนื่องจากปริมาณลิวซีนที่ได้รับมากเกินไปเกินความต้องการ (ตารางที่ 12) จึงทำให้ BCAA ที่ได้รับทั้งหมดครบตามความต้องการ ดังนั้นการขาดแคลนกรดอะมิโนเมทไธโอนีน (ตารางที่ 12) จึงน่าจะเป็นสาเหตุหลักที่ส่งผลต่อการตอบสนองทางภูมิคุ้มกัน โดย NRC (1994) รายงานความต้องการของกรดอะมิโนเมทไธโอนีน ไอโซลิวซีน และวาลีน เท่ากับ 0.33, 0.71 และ 0.77 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า ความต้องการกรดอะมิโน เพื่อให้ผลผลิตนั้นมากกว่าความต้องการเพื่อการตอบสนองทางภูมิคุ้มกัน

4. ผลต่อโปรตีนทั้งหมดในซีรัม

ผลการศึกษาอิทธิพลของระดับโปรตีนในอาหารต่อปริมาณโปรตีนทั้งหมดในซีรัมของไก่ไข่อายุ 33 และ 48 สัปดาห์ (ตารางที่ 13) พบว่าระดับโปรตีนในอาหารไม่มีผลต่อปริมาณโปรตีนทั้งหมดในซีรัมไก่ไข่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) อย่างไรก็ตามพบว่าโปรตีนทั้งหมดในซีรัม มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อโปรตีนในอาหารเพิ่มขึ้น โดยไก่ไข่อายุ 33 สัปดาห์ มีโปรตีนทั้งหมดในซีรัม 3.38, 3.55 และ 3.91 กรัม/เดซิลิตร ไก่ไข่อายุ 48 สัปดาห์มีโปรตีนทั้งหมดในซีรัม 5.39, 5.93 และ 6.16 กรัม/เดซิลิตร ที่ระดับโปรตีน 14, 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ความเข้มข้นของโปรตีนทั้งหมดในซีรัม (Total serum protein) ใช้แสดงสภาวะทางโภชนาการ หรือสภาวะการสูญเสียโปรตีนเบื้องต้นได้ดี (Keneko *et al.*, 1997) โดยพบว่า การได้รับโปรตีนจากอาหารลดลง ทำให้โปรตีนรวมในซีรัมมีแนวโน้มต่ำลง โดยพบค่าสหสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนที่ได้รับและโปรตีนทั้งหมดในซีรัม 0.61 และ 0.67 เมื่อไก่ไข่อายุ 32 และ 48 สัปดาห์ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 7 สอดคล้องกับ Glick *et al.* (1981) ซึ่งรายงานว่า โปรตีนรวมทั้งหมดในซีรัมลดลงเมื่อได้รับโปรตีนจากอาหารน้อยลง

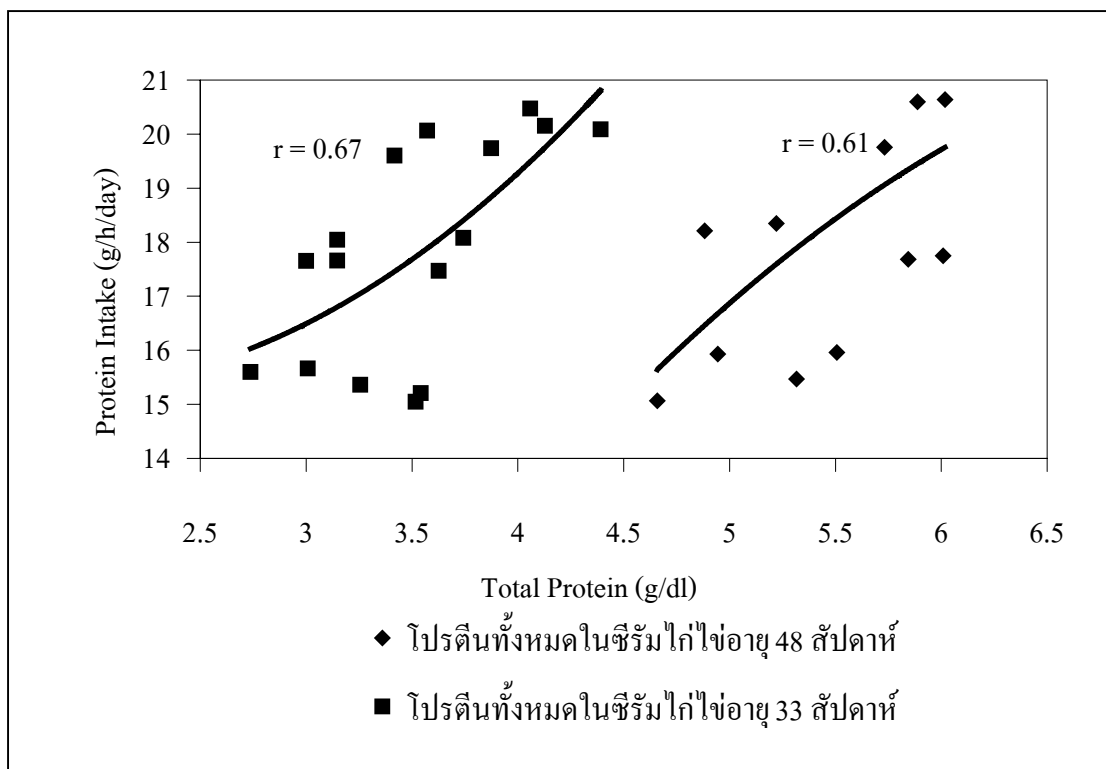
นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า สฮอร์โมนบางชนิด เช่น สฮอร์โมนเอสโตรเจน (estrogen) หรือ โกรทฮอร์โมน (growth hormone) มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของโปรตีนในพลาสมา ซึ่งเป็นผลจากกระบวนการสร้างผลผลิต (anabolic effect) ขณะที่สฮอร์โมนไทรอกซีน (thyroxine) หรือคอร์ติซอล (cortisol) มีแนวโน้มที่ทำให้โปรตีนในพลาสมาลดลงซึ่งเป็นผลจากกระบวนการสลายโปรตีน (catabolic effect) (Keneko *et al.*, 1997) ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากสมรรถภาพการผลิตแล้วพบว่า กลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีนสูงมีเปอร์เซ็นต์การให้ผลผลิตมากกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีนต่ำ อิทธิพลของกระบวนการสร้างผลผลิตที่สูงขึ้น (ตารางที่ 10 และ 11) จึงอาจส่งผลให้กลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีนสูง มีโปรตีนทั้งหมดในซีรัมสูงกว่าไก่ไข่กลุ่มที่รับอาหารโปรตีนต่ำ

ตารางที่ 13 ผลของระดับโปรตีนต่อระบบภูมิคุ้มกันของไก่ไข่อายุ 32 และ 48 สัปดาห์

	CP (%)			P-value
	14	16	18	
อายุ 32 สัปดาห์				
น้ำหนักอวัยวะน้ำเหลือง (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว)				
- ตับ	1.67 ^b ± 0.07	1.98 ^a ± 0.10	2.02 ^a ± 0.05	0.015
- ม้าม	0.10 ± 0.02	0.12 ± 0.03	0.14 ± 0.04	0.734
ND Titer (HI-test)	2.20 ^b ± 0.58	2.50 ^b ± 0.34	4.17 ^a ± 0.20	0.036
โปรตีนทั้งหมดในซีรัม (Serum Total Protein) (g/dl)	3.38 ± 0.02	3.55 ± 0.24	3.91 ± 0.14	0.209
อัตราการตาย (เปอร์เซ็นต์)	0.33 ± 0.31	0.11 ± 0.03	0.27 ± 0.19	0.526
อายุ 48 สัปดาห์				
น้ำหนักอวัยวะน้ำเหลือง				
- ตับ	2.78 ± 0.18	2.80 ± 0.16	2.91 ± 0.19	0.86
- ม้าม	0.06 ^b ± 0.00	0.07 ^b ± 0.00	0.13 ^a ± 0.02	0.031
ND Titer (HI-test)	2.00 ^b ± 0.31	3.00 ^{ab} ± 0.40	3.33 ^a ± 0.21	0.046
โปรตีนทั้งหมดในซีรัม (Serum Total Protein) (g/dl)	5.39 ± 0.03	5.93 ± 0.32	6.16 ± 0.37	0.281
อัตราการตาย (เปอร์เซ็นต์)	0.04 ± 0.04	0.12 ± 0.08	0.08 ± 0.05	0.65

หมายเหตุ ^a และ ^b อักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ทุกข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± SE



ภาพที่ 7 อิทธิพลของโปรตีนที่ได้รับต่อปริมาณโปรตีนทั้งหมดในซีรัมไก่ไข่อายุ 32 และ 48 สัปดาห์

5. ผลต่อปริมาณอัลบูมิน

ในซีรัมไก่ไข่อายุ 32 สัปดาห์ ระดับโปรตีนในอาหารไม่มีผลต่อความเข้มข้นของอัลบูมินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) อย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณอัลบูมินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับโปรตีนจากอาหารเพิ่มขึ้น โดยมีปริมาณอัลบูมินในซีรัม 1.14, 1.31 และ 1.31 กรัม/เดซิลิตร ที่ระดับโปรตีนในอาหาร 14, 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงอายุ 48 สัปดาห์ โปรตีนในอาหารมีผลทำให้ปริมาณอัลบูมินแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยไก่ไข่อายุ 48 สัปดาห์ที่ได้รับอาหารโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ เป็นกลุ่มที่มีปริมาณอัลบูมินในซีรัมน้อยที่สุด คือ 1.47 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร แตกต่างจากกลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีปริมาณความเข้มข้นของอัลบูมินในซีรัม 1.79 และ 1.82 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 14

อัลบูมินทำหน้าที่เป็นแหล่งของกรดอะมิโน ทำหน้าที่ขนส่งกรดไขมัน และแร่ธาตุ ระดับอัลบูมินในพลาสมาจะลดลงเมื่อสัตว์ได้รับอาหารที่มีโปรตีนต่ำ (Leveille *et al.*, 1960; Leveille and Sauberlich, 1961; Nir and Ascarelli, 1967) และจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อได้รับอาหารที่มีโปรตีนมากเกินไปเกินความต้องการของร่างกาย (Leveille and Sauberlich, 1961) ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าในช่วงอายุ 21-32 และ 33-48 สัปดาห์ ไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณอัลบูมินในซีรัมต่ำกว่าไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 14) สอดคล้องกับ Eggum (1989) และ Tewe (1985) รายงานว่า โปรตีนทั้งหมดในซีรัม และอัลบูมินนั้นจะได้รับอิทธิพลโดยตรงจากทั้งคุณภาพและปริมาณโปรตีนที่ได้รับจากอาหาร แม้ Agbede and Aletor (2003) ได้รายงานแหล่งโปรตีนในอาหาร (คุณภาพของโปรตีน) นั้นไม่มีอิทธิพลต่อการสังเคราะห์โปรตีนทั้งหมดในซีรัม อัลบูมิน และกลอบูลิน

6. ผลต่อปริมาณอัลฟา-กลอบูลิน

ช่วงอายุ 21-32 และ 33-44 สัปดาห์ ระดับโปรตีนในอาหารไม่มีผลต่อปริมาณอัลฟา-กลอบูลินในซีรัมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยไก่ไข่อายุ 32 สัปดาห์ มีปริมาณอัลฟา-กลอบูลินในซีรัม 0.55, 0.48 และ 0.48 กรัม/เดซิลิตร และไก่ไข่อายุ 48 สัปดาห์ มีปริมาณอัลฟา-กลอบูลินในซีรัม 0.67, 1.06 และ 1.16 กรัม/เดซิลิตร ดังแสดงในตารางที่ 14

อัลฟา-กลอบูลินซึ่งเป็นกลุ่มโปรตีนที่สร้างขึ้นที่ตับ โดยทั่วไปโปรตีนกลุ่มนี้จะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อร่างกายเกิดสภาวะไตอักเสบ (acute nephritis) ตับอักเสบ (severe active hepatitis) การอักเสบของร่างกาย (systemic inflammation) และสภาวะการขาดแคลนอาหาร (malnutrition) (Margaret, 2001) โดยสุพิศ (2524) กล่าวว่าอัลฟา-กลอบูลินส่วนใหญ่ประกอบด้วยไกลโคโปรตีนและไลโปโปรตีน พบว่าถ้าโปรตีนหรืออัลบูมินในโลหิตต่ำลง (hypoproteinemia or hypoalbuminemia) จะมีอัลฟา-กลอบูลินสูงขึ้น สอดคล้องกับผลการทดลองซึ่งปรากฏว่าไก่ไข่อายุ 32 สัปดาห์ อัลฟา-กลอบูลินมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นและอัลบูมินมีแนวโน้มลดลงเมื่อได้รับอาหารโปรตีนต่ำ ซึ่งเหตุการณ์ดังกล่าวจึงอาจแสดงถึงสภาวะการขาดแคลนอาหาร (โปรตีนและกรดอะมิโน) ของไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงอายุ 48 สัปดาห์ ปริมาณอัลฟา-กลอบูลินและอัลบูมินกลับมีแนวโน้มลดลงเมื่อได้รับอาหารโปรตีนต่ำ ซึ่งเหตุการณ์ดังกล่าวอาจแสดงถึงความเสี่ยงต่อสภาวะเซลล์ตับตายเฉียบพลัน (acute hepatocellular necrosis) (สุพิศ, 2524) อย่างไรก็ตามจากการทดลองไม่พบการตายเนื่องจากสาเหตุดังกล่าว

7. ผลต่อปริมาณบีตา-กลอบูลิน

อิทธิพลของระดับโปรตีนในอาหารส่งผลให้ปริมาณบีตา-กลอบูลินในซีรัมไก่ไข่อายุ 32 สัปดาห์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยพบว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 18 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณบีตา-กลอบูลินในซีรัมสูงที่สุด คือ 1.97 กรัม/เดซิลิตร แตกต่างจากกลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 16 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีปริมาณบีตา-กลอบูลินในซีรัม 1.39 กรัม/เดซิลิตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในช่วงท้ายการทดลอง พบว่าไก่ไข่อายุ 48 สัปดาห์มีปริมาณบีตา-กลอบูลินในซีรัมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม พบว่าปริมาณบีตา-กลอบูลินมีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับโปรตีนในอาหารสูงขึ้น โดยมีปริมาณบีตา-กลอบูลินในซีรัม 2.63, 2.53 และ 2.33 กรัม/เดซิลิตร ที่ระดับโปรตีนในอาหาร 14, 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 14)

สุพิศ (2524) กล่าวว่าบีตา-กลอบูลินส่วนใหญ่ประกอบด้วยบีตา-ไลโปโปรตีน (beta-lipoprotein) และทรานเฟอร์ริน (transferrin) ดังนั้นบีตา-กลอบูลินในซีรัมจะเพิ่มขึ้น เมื่อมีไขมันหรือโคเลสเตอรอลในเลือดเพิ่มขึ้น จากผลการทดลองช่วงแรก พบว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 18 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณบีตา-กลอบูลินในซีรัมมากที่สุด อาจเกิดจากระดับโปรตีนในอาหาร 18 เปอร์เซ็นต์เป็นระดับที่มากเกินความต้องการของไก่ไข่ Stevens (1996) รายงานว่า ร่างกายสัตว์ไม่สามารถเก็บสะสมโปรตีนที่ได้จากอาหารในรูปกรดอะมิโนอิสระได้ ต้องกำจัดหมู่อะมิโนออกเหลือโครงคาร์บอนซึ่งสามารถเปลี่ยนเป็น Acetyl CoA และเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์กรดไขมันและเปลี่ยนเป็นไตรกลีเซอไรด์ ขนส่งจากตับไปเก็บสะสมในไขแดงและเนื้อเยื่อไขมัน (Wagner *et al.*, 1978) ดังนั้นกลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 18 เปอร์เซ็นต์ อาจมีไตรกลีเซอไรด์ในซีรัมที่สูงขึ้น จึงทำให้บีตา-กลอบูลินเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์มีปริมาณบีตา-กลอบูลินในซีรัมไม่แตกต่างกับกลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 18 เปอร์เซ็นต์ อาจเนื่องมาจากกลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ มีผลผลิตไข่ต่ำกว่ากลุ่มอื่นขณะที่ได้รับพลังงานในอาหารเท่ากัน ดังนั้นอาจมีการสังเคราะห์และขนส่งไขมันสูงได้เช่นกัน เพราะปรากฏการณ์การสูงขึ้นของไตรกลีเซอไรด์ เมื่อได้รับโปรตีนต่ำนั้นพบได้เสมอ (พจน์และคณะ, 2543) จึงส่งผลให้ไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณบีตา-กลอบูลินในซีรัมไม่แตกต่างกับกลุ่มที่ได้รับโปรตีน 18 เปอร์เซ็นต์

ในช่วงท้ายการทดลอง โปรตีนในอาหารที่สูงขึ้นส่งผลให้บีตา-กลอบูลินมีแนวโน้มลดลง อาจเกิดจากการที่อาหารโปรตีน 18 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ไลโปโปรตีนสูงขึ้น ส่งผลให้ Lipoprotein

lipase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ควบคุมระดับไตรกลีเซอไรด์ในซีรัมนั้นสูงขึ้น เพื่อขนส่งไตรกลีเซอไรด์เข้าไปในไข่แดง ไตรกลีเซอไรด์ในซีรัมจึงลดลง (Wagner *et. al.*, 1978) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณไตรกลีเซอไรด์ในตับที่ลดลงของไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับโปรตีน 18 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 15)

8. ผลต่อปริมาณแกมมา-กลอบูลิน

โปรตีนในอาหารไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณแกมมา-กลอบูลินในซีรัมไก่ไข่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) อย่างไรก็ตามพบว่าแกมมา-กลอบูลินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อโปรตีนในอาหารสูงขึ้นในทั้งสองช่วงการทดลอง โดยไก่ไข่อายุ 32 สัปดาห์ มีปริมาณแกมมา-กลอบูลินในซีรัม 0.05, 0.10 และ 0.12 กรัม/เดซิลิตร และไก่ไข่อายุ 48 สัปดาห์ มีปริมาณแกมมา-กลอบูลินในซีรัม 0.37, 0.43 และ 0.46 กรัม/เดซิลิตร ที่ระดับโปรตีน 14, 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 14)

แกมมา-กลอบูลิน คืออิมมูโนกลอบูลิน (Immunoglobulin; Ig) ซึ่งจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นในกรณีที่ร่างกายมีการสังเคราะห์แอนติบอดี อันเป็นผลจากการกระตุ้นของแอนติเจน (antigenic stimulation) สูงขึ้น (Margaret, 2001) จากผลการทดลองพบว่า กลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีนสูง gamma-globulin มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับ ND-Titer ที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 13)

Pearson and Heron (1982) รายงานว่าแม่พันธุ์ไก่กระທงที่ได้รับโปรตีนสูงจะมีความสมบูรณ์พันธุ์และความสามารถในการฟัก (Fertility and hatchability) ลดลง ซึ่ง Chao and Lee (2001) ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับแกมมา-กลอบูลินในซีรัมและความสมบูรณ์ของระบบสืบพันธุ์หรือระบบภูมิคุ้มกัน (reproductive performance or immunity) ในไก่พันธุ์พื้นเมืองไต้หวัน พบว่าไก่ที่มีความสมบูรณ์พันธุ์ต่ำลง มักมีระดับแกมมา-กลอบูลินในซีรัมเพิ่มสูงขึ้น จากผลดังกล่าวจึงมีความสอดคล้องกับผลการทดลอง ซึ่งพบว่าไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 18 เปอร์เซ็นต์ เป็นกลุ่มที่มีปริมาณแกมมา-กลอบูลินในซีรัมสูงที่สุด

นอกจากนั้นอายุและสายพันธุ์ยังเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปริมาณแกมมา-กลอบูลินด้วยเช่นกัน โดยจากผลการทดลอง (ตารางที่ 14) พบว่าสอดคล้องกับ Keneko (1989) ซึ่งรายงานว่าไก่เพศเมียที่โตเต็มวัยซึ่งพร้อมที่จะวางไข่ มีปริมาณแกมมา-กลอบูลินสูงกว่าไก่ที่มีอายุน้อยกว่าและ

ไก่เพศผู้ที่มีอายุใกล้เคียงกัน นอกจากนั้น Grandhi *et al.* (1975) รายงานว่าลูกไก่อายุ 1 วัน และแม่พันธุ์ไวท์เลกฮอร์น (White leghorn) มีปริมาณแกลมา-กลอบูลินในซีรัมมากกว่าแม่ไก่ทั่วไป

9. ผลต่อปริมาณกลอบูลิน และสัดส่วนของอัลบูมินต่อกลอบูลิน (A:G ratio)

โปรตีนในอาหารไม่ส่งผลให้ปริมาณกลอบูลินในซีรัม และอัตราส่วนระหว่างอัลบูมินต่อกลอบูลินไก่ไข่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในทั้งสองช่วงการทดลอง อย่างไรก็ตามพบว่ากลอบูลินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อโปรตีนในอาหารสูงขึ้น โดยไก่ไข่อายุ 32 สัปดาห์ มีปริมาณกลอบูลินในซีรัม 2.20, 2.66 และ 2.74 กรัม/เดซิลิตร และไก่ไข่อายุ 48 สัปดาห์ มีปริมาณกลอบูลินในซีรัม 3.81, 3.94 และ 4.05 กรัม/เดซิลิตร ที่ระดับโปรตีน 14, 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนั้นพบว่า ไก่ไข่อายุ 32 สัปดาห์ มีค่าอัตราส่วนระหว่างอัลบูมินต่อกลอบูลิน 0.60, 0.49 และ 0.47 และไก่ไข่อายุ 48 สัปดาห์ มีค่าอัตราส่วนระหว่างอัลบูมินต่อกลอบูลิน 0.38, 0.43 และ 0.49 เมื่อได้รับโปรตีน 14, 16 และ 18 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 14

การศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับรายงานของ Odunsi (2005) ซึ่งรายงานค่า อัลบูมิน กลอบูลิน และอัตราส่วนระหว่างอัลบูมินต่อกลอบูลินในซีรัมลูกไก่กระทง คือ 1.08-1.32, 2.06-2.49 g/dl และ 0.50-0.55 ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าปริมาณกลอบูลินในซีรัมยังคงเพิ่มขึ้นตามระดับโปรตีนในอาหารที่สูงขึ้น แม้จะไม่ทำให้เกิดความแตกต่างทางสถิติก็ตาม สอดคล้องกับ Eggum (1989) และ Tewe (1985) ที่รายงานว่าปริมาณอัลบูมิน และกลอบูลินในซีรัมนั้นจะได้รับอิทธิพลโดยตรงจากทั้งคุณภาพและปริมาณของโปรตีนในอาหาร

จากผลการทดลอง พบว่าแตกต่างจาก Keneko (1989) ซึ่งรายงานค่าอัตราส่วนระหว่างอัลบูมินต่อกลอบูลินของไก่และไก่วงมีค่า 1.33 และ 1.30 ตามลำดับ Sturkie (1965) รายงานว่า การวางไข่ทำให้ต้องนำอัลบูมินจำนวนมากไปใช้ในการสร้างไข่ขาวในฟองไข่ และผลจากฮอร์โมนเอสโตรเจนที่เพิ่มสูงขึ้นในช่วงวางไข่ยังมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของกลอบูลินอีกด้วย ซึ่งทำให้อัตราส่วนระหว่างอัลบูมินต่อกลอบูลินในซีรัมของไก่ไข่ต่ำกว่าที่ Keneko (1989) รายงาน การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนระหว่างอัลบูมินต่อกลอบูลิน เป็นสัญญาณแรกๆ ที่ใช้ในการสังเกตภาวะการเป็นโรคเกี่ยวกับโปรตีน (protein dyscasia) (Henry, 1984) จากการทดลองในช่วงอายุ 21-32 สัปดาห์ นั้นพบว่า ไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับอาหาร โปรตีน 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราส่วนระหว่างอัลบูมินต่อกลอบูลินต่ำกว่าไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากระดับโปรตีน

ในอาหารที่สูงขึ้น ส่งผลให้ปริมาณกลอบูลินมีแนวโน้มสูงขึ้น อย่างไรก็ตามในช่วงอายุ 33-48 สัปดาห์ พบว่าเมื่อไก่ไข่ได้รับโปรตีนจากอาหารน้อยลง ปริมาณอัลบูมินลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ปริมาณกลอบูลินกลับเพิ่มสูงขึ้นไม่มากนัก (ตารางที่ 14) ดังนั้น อัตราส่วนของอัลบูมินต่อกลอบูลินจึงมีแนวโน้มลดลงแสดงให้เห็นว่าในระยะยาวไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มที่จะเกิด hypoalbuminemia

ตารางที่ 14 ผลของระดับโปรตีนต่อแบบของโปรตีนในซีรัม (Serum protein pattern) ของไก่ไข่อายุ 32 และ 48 สัปดาห์

	CP (%)			P-value
	14	16	18	
<u>อายุ 32 สัปดาห์</u>				
Albumin (g/dl)	1.14 ± 0.16	1.31 ± 0.13	1.31 ± 0.09	0.581
Alpha-globulin (g/dl)	0.55 ± 0.02	0.48 ± 0.09	0.48 ± 0.07	0.790
Beta-globulin (g/dl)	1.74 ^{ab} ± 0.13	1.39 ^b ± 0.17	1.94 ^a ± 0.14	0.050
Gamma-globulin (g/dl)	0.05 ± 0.01	0.10 ± 0.05	0.12 ± 0.06	0.740
Globulin (g/dl)	2.20 ± 0.40	2.66 ± 0.17	2.74 ± 0.38	0.547
A:G	0.60 ± 0.26	0.49 ± 0.03	0.47 ± 0.05	0.750
<u>อายุ 48 สัปดาห์</u>				
Albumin (g/dl)	1.47 ^b ± 0.08	1.79 ^a ± 0.08	1.82 ^a ± 0.04	0.012
Alpha-globulin (g/dl)	0.67 ± 0.04	1.06 ± 0.21	1.16 ± 0.16	0.143
Beta-globulin (g/dl)	2.63 ± 0.18	2.53 ± 0.22	2.33 ± 0.19	0.611
Gamma-globulin (g/dl)	0.37 ± 0.16	0.43 ± 0.03	0.46 ± 0.09	0.839
Globulin (g/dl)	3.81 ± 0.28	3.94 ± 0.29	4.05 ± 0.06	0.787
A:G	0.38 ± 0.01	0.43 ± 0.02	0.49 ± 0.03	0.426

หมายเหตุ ^{a,b,c} อักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ทุกข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± SE

อิทธิพลของระดับโปรตีนต่อการเกิด Fatty Liver Syndrome ของไก่ไข่

ผลการศึกษาอิทธิพลของระดับโปรตีนต่อการเกิด Fatty Liver Syndrom ของไก่ไข่จากปริมาณไลโปโปรตีนที่มีความหนาแน่นต่ำมากด้วยเทคนิคเซลลูโลสอะซีเตทอิเล็กโตรโฟรีซิส ไม่สามารถตรวจสอบได้ ดังแสดงในตารางที่ 15

วิธีการดังกล่าวไม่สามารถแยกไลโปโปรตีนในซีรัมชนิด pre-beta lipoprotein ได้ เนื่องจากไตรกลีเซอไรด์จะถูกกำจัดออกจากระบบหมุนเวียนโดยกระบวนการทำงานของเอนไซม์ไลโปโปรตีนไลเปส (Lipoprotein lipase) ที่บริเวณผิวของเซลล์บุผิวชั้นในของหลอดเลือดฝอย กระบวนการไฮโดรไลซิสของโคไลไมครอนและไลโปโปรตีนที่มีความหนาแน่นต่ำมากจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและเกิดกระบวนการสร้างไลโปโปรตีนที่มีความหนาแน่นต่ำ (Bulter, 1971) ซึ่ง Fried *et al.* (1968) กล่าวว่า ในทั้งสัตว์ปีกและสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม นั้น อะโปโปรตีน (apoprotein) ในโคไลไมครอน ไลโปโปรตีนที่มีความหนาแน่นต่ำมาก และไลโปโปรตีนที่มีความหนาแน่นต่ำ (LDL) เกิดอัตราการหมุนเวียน (turnover rate) ไวกว่าไลโปโปรตีนที่มีความหนาแน่นสูง (HDL) สาเหตุที่กล่าวมาจึงทำให้เกิดภาวะขาดโปรตีน (protein deficiency) ในพลาสมาไลโปโปรตีนของไก่ไข่ (Waldrup *et al.*, 1965)

ช่วงอายุ 21-32 และ 33-48 สัปดาห์ ผลของระดับโปรตีนในอาหารต่อการสะสมไขมันในตับ และ NEFA ในเลือด แสดงไว้ในตารางที่ 15 พบว่าในช่วงแรกระดับโปรตีนในอาหารไม่มีอิทธิพลต่อน้ำหนักตัว การแทรกตัวของไขมันในเนื้อเยื่อตับ (Fatty degeneration) ไตรกลีเซอไรด์ในตับ (mg/g liver) และ NEFA ในเลือดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่พบว่าโปรตีนที่สูงขึ้นทำให้ขนาดของตับใหญ่ขึ้น และไตรกลีเซอไรด์ในตับ (mg/liver) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตามพบเช่นกันว่า NEFA ในเลือดและไตรกลีเซอไรด์ในตับ (mg/g liver) มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเปอร์เซ็นต์โปรตีนในอาหารสูงขึ้น ในช่วงท้ายการทดลอง โปรตีนทำให้น้ำหนักตัวของไก่ไข่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ปริมาณไตรกลีเซอไรด์ในตับและ NEFA ในเลือดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแม้ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ และเนื่องจากผลการศึกษาความผิดปกติของเนื้อเยื่อตับด้วยวิธีดังกล่าว เห็นผลไม่ชัดเจน ในช่วงอายุ 48 สัปดาห์จึงไม่ได้ทำการศึกษาความผิดปกติของเนื้อเยื่อตับ

จากการทดลองพบว่าในระยะแรก เมื่อระดับโปรตีนในอาหารสูงขึ้น น้ำหนักตัวไก่กลับมีแนวโน้มลดลง โดยขัดแย้งกับ Reid and Weber (1974) และ Keshavarz and Jackson (1992) ซึ่งราย

งานว่า ไก่ที่ได้รับอาหารโปรตีนสูง จะมีน้ำหนักตัวสูงกว่าไก่ที่ได้รับอาหารโปรตีนต่ำ อย่างไรก็ตาม การศึกษาครั้งนี้พบว่า การที่ไก่กลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีนสูงมีแนวโน้มของน้ำหนักตัวลดลงนั้น อาจเกิดจากขบวนการใช้พลังงานจากการสลายไขมันในร่างกายที่สูงขึ้น โดยปกติการสลายไขมันในร่างกายเพื่อนำไปใช้ประโยชน์สามารถวัดได้จากปริมาณ NEFA ในเลือดที่สูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองเนื่องจากกลุ่มที่กินอาหารโปรตีนสูง มีอัตราการเปลี่ยนพลังงานเป็นไขมันสูงขึ้น แต่พลังงานที่ได้รับจากอาหารที่กินไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 10) จึงเป็นไปได้ว่าไก่กลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีนสูง มีการสลายพลังงานจากภายในร่างกายไปใช้เพื่อการสร้างผลผลิต จึงอาจกล่าวได้ว่านอกจากการเปลี่ยนโครงสร้างคาร์บอนของโปรตีนเป็นพลังงานเพื่อช่วยให้อัตราการเปลี่ยนพลังงานเป็นไขมันสูงขึ้นแล้ว การสลายไขมันในร่างกายเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานก็อาจเป็นอีกปัจจัยหนึ่ง อย่างไรก็ตาม ในช่วงทำการทดลอง น้ำหนักตัวกลับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับ Meluzzi *et al.* (2001) รายงานว่า ไก่ไข่ที่ได้รับอาหารโปรตีนสูง (150 และ 170 g/kg CP) มีน้ำหนักตัวที่อายุ 40 สัปดาห์มากกว่ากลุ่มที่ได้รับโปรตีนต่ำ (130 g/kg CP) ซึ่งอาจเกิดจากระดับโปรตีนในอาหารไม่เพียงพอต่อความต้องการในการผลิตไข่ทำให้มีการสลายโปรตีนในร่างกายเพื่อทดแทน

นอกจากนี้พบว่าอิทธิพลของระดับโปรตีนในอาหารไม่มีผลต่อการแทรกตัวของไขมันในเนื้อเยื่อตับ (Fatty degeneration) และปริมาณไตรกลีเซอไรด์ในตับ (mg/g liver) แต่เนื่องจากน้ำหนักตัวที่แตกต่างกัน จึงส่งผลให้ปริมาณไตรกลีเซอไรด์ในตับ (mg/liver) เพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) สอดคล้องกับ Noble (1985) ซึ่งรายงานว่าไก่ไข่ที่ได้รับโปรตีน 16 เปอร์เซ็นต์ มีไขมันในตับสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าระดับโปรตีนในอาหารเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณไขมันในตับเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักแห้งของตับและอายุการให้ไข่ (Thayler *et al.*, 1973) ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า ไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีนสูงมีน้ำหนักตัวเมื่อเกิดเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัวสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีนต่ำ สอดคล้องกับ Maurice *et al.*, (1982) ซึ่งรายงานว่าไก่ที่กินอาหารโปรตีน 19 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักตัว เปอร์เซ็นต์ไขมันในตับ มากกว่าไก่ที่กินอาหารโปรตีน 13.5 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาณไตรกลีเซอไรด์ในตับที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอาจมีสาเหตุจาก 1) การสังเคราะห์ไตรกลีเซอไรด์ในตับที่สูงขึ้น 2) ตับไม่สามารถส่งไตรกลีเซอไรด์ออกนอกตับได้ หรือ 3) จากทั้ง 2 สาเหตุร่วมกัน (Wagner *et al.*, 1978) ซึ่งจากการทดลองครั้งนี้ ไก่ที่ได้รับโปรตีนทั้ง 3 ระดับไม่พบอาการผิดปกติของการแทรกตัวของไขมันในเนื้อเยื่อตับ หรือการเกิด Fatty liver syndrome แสดงให้เห็นว่า ไตรกลีเซอไรด์ในตับที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับอาหารที่มีโปรตีนสูงขึ้นนั้นไม่ได้เกิดจากสาเหตุการขนส่งไขมันออกจากตับบกพร่อง แต่เกิดจากการสังเคราะห์ไตรกลีเซอไรด์ในตับเพิ่มขึ้น เนื่องจากไก่ไข่ที่อยู่ในช่วงให้ไข่ไม่มีการสะสม

ไตรกลีเซอไรด์ในระดับมากขึ้น เพื่อใช้สำหรับการให้ผลผลิตไข่และเป็นองค์ประกอบภายในฟองไข่ (Fujii *et al.*, 1985)

ในช่วงทำการทดลอง พบว่าระดับโปรตีนในอาหารไม่มีผลต่อปริมาณไตรกลีเซอไรด์ในตับ สอดคล้องกับ Mcdaniel *et al.* (1959) ซึ่งรายงานว่ ระดับโปรตีนในอาหาร (15, 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์) ไม่มีผลต่อน้ำหนักตับ และการสะสมไขมันในตับ อย่างไรก็ตาม พบว่าปริมาณไตรกลีเซอไรด์ในตับ (มิลลิกรัม/ ตับ 1 กรัม) มีแนวโน้มลดลง เมื่อไก่ได้รับโปรตีนจากอาหารมากขึ้น อาจเกิดจากร่างกายสัตว์ไม่สามารถเก็บสะสมโปรตีนที่ได้จากอาหารในรูปกรดอะมิโนได้ จึงต้องกำจัดหมู่อะมิโนออก เหลือโครงคาร์บอนซึ่งสามารถเปลี่ยนเป็น Acetyl CoA และเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์กรดไขมัน (Stevens, 1996) ร่างกายจึงสร้างไตรกลีเซอไรด์จากกรดไขมันและขนส่งผ่านทางตับเพื่อเก็บสะสมในไข่แดงและเนื้อเยื่อไขมัน (Wagner *et al.*, 1978) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณกรดไขมันอิสระในซีรัมที่สูงขึ้นเมื่อไก่ได้รับอาหารโปรตีนสูง (ตารางที่ 14) ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงระดับของไขมันในตับนั้นจึงขึ้นอยู่กับความต้องการไขมันเพื่อใช้ในการสร้างฟองไข่ (Taurog *et al.* 1994) ซึ่งมีรายงานว่าปริมาณไตรกลีเซอไรด์ในไข่แดงของไก่ไข่ที่ได้รับโปรตีน 18 เปอร์เซ็นต์สูงกว่ากลุ่มที่ได้รับโปรตีน 16 เปอร์เซ็นต์ (รัตนา, 2549) กลุ่มที่ให้โปรตีนสูงจึงมีการสะสมไตรกลีเซอไรด์ในตับน้อยเนื่องจากการส่งไตรกลีเซอไรด์ไปสะสมในฟองไข่ที่มีจำนวนมากกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีนต่ำ

ตารางที่ 15 ผลของระดับโปรตีนต่อระดับไตรกลีเซอไรด์ในตับและกรดไขมันอิสระในซีรัมไก่ไข่อายุ 32 และ 48 สัปดาห์

	CP (%)			P-value
	14	16	18	
<u>อายุ 32 สัปดาห์</u>				
Body weight (g)	1700 ± 44.34	1670 ± 90.00	1643 ± 6.67	0.77
NEFA (micromole/lite)	1210 ± 211.87	1243 ± 157.92	1338 ± 177.04	0.84
VLDL*	ND	ND	ND	-
Liver triglyceride (mg/g liver)	32.7 ± 2.67	33.8 ± 2.22	35.4 ± 1.04	0.29
Liver triglyceride (mg/liver)	934 ^a ± 46.32	1049 ^a ± 87. 19	1299 ^b ± 89.20	0.02
Fatty degeneration**	1	0	0	0.26
<u>อายุ 48 สัปดาห์</u>				
Body weight (g)	1808 ^b ± 24.33	1878 ^{ab} ± 29.10	1909 ^a ± 16.10	0.03
NEFA (micromole/lite)	976 ± 104.35	1150 ± 168.51	1223 ± 180.38	0.51
VLDL	ND	ND	ND	-
Liver triglyceride (mg/g liver)	33.7 ± 2.13	32.8 ± 1.13	28.4 ± 0.67	0.05
Liver triglyceride (mg/liver)	1536 ± 76.18	1657 ± 100.29	1430 ± 62.75	0.16
Fatty degeneration	ND	ND	ND	-

หมายเหตุ^{a,b,c} Values within a row with different superscripts are significantly different (p<0.05) , Mean ± SE

*ND – No detect

** Fatty degeneration score; 0 = normal, 1 = mild, 2 = abundant

การทดลองที่ 2 การศึกษาผลของระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิต ภูมิคุ้มกัน และการเกิด Fatty Liver Syndrome

อิทธิพลของระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่ไข่

1. ผลต่อผลผลิตไข่ น้ำหนักฟองไข่ และมวลไข่

ระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารไม่มีผลต่อผลผลิตไข่ น้ำหนักฟองไข่ และมวลไข่ของไก่ไข่ช่วงอายุ 21-32 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 16) โดยพบว่ากลุ่มควบคุมซึ่งได้รับอาหารไม่เสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีน (มีกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารเพียง 0.28 เปอร์เซ็นต์) เป็นกลุ่มที่มีเปอร์เซ็นต์ผลผลิต น้ำหนักไข่ และมวลไข่ น้อยที่สุด คือ 91.9 เปอร์เซ็นต์ 56.72 กรัม และ 51.8 ตามลำดับ ขณะที่กลุ่มที่ได้รับอาหารกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.44 เปอร์เซ็นต์ เป็นกลุ่มที่ให้ผลผลิต และมวลไข่สูงที่สุด คือ 94.5 เปอร์เซ็นต์ และ 54.6 ตามลำดับ และกลุ่มที่ได้รับอาหารกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.38 เปอร์เซ็นต์ เป็นกลุ่มที่มีน้ำหนักฟองไข่สูงที่สุด คือ 58.30 กรัม จากผลการทดลองจึงพบว่าการเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ผลผลิตไข่ น้ำหนักฟองไข่ และมวลไข่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น

อิทธิพลของระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารส่งผลต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่ไข่ช่วงอายุ 33-48 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 17) โดยไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับอาหารไม่เสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนให้ผลผลิตต่ำที่สุด คือ 85.12 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.38 และ 0.44 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งให้ผลผลิต 89.14 และ 88.91 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ($p<0.05$) อย่างไรก็ตามพบว่าไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับอาหารกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.30 เปอร์เซ็นต์ มีผลผลิต 86.14 เปอร์เซ็นต์ นั้นให้ผลผลิตไม่แตกต่างจากกลุ่มที่ไม่ได้เสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีน นอกจากนั้นพบว่าการเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนไม่ทำให้น้ำหนักไข่และมวลไข่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แม้น้ำหนักไข่และมวลไข่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อไก่ได้รับอาหารเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนก็ตาม

จากผลการวิเคราะห์พบกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์เพียง 0.26 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจัดเป็นกลุ่มที่ขาดกรดอะมิโนเมทไธโอนีน (negative control) การเพิ่มระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ผลผลิตไข่และมวลไข่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แม้ว่า

กลุ่มที่ได้รับอาหารกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.44 เปอร์เซ็นต์ จะมีน้ำหนักฟองไข่น้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.38 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามกลุ่มที่ได้รับอาหารกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.44 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มของค่ามวลไข่น้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.38 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่ากรดอะมิโนเมทไธโอนีน ทำให้ผลผลิตไข่โดยรวมดีขึ้นสอดคล้องกับรายงานของทวิตคัลและคณะ (2546) โดยเป็นที่ทราบทั่วไปว่ากรดอะมิโนเมทไธโอนีนทำให้เกิดความสมดุลของกรดอะมิโนในอาหารดีขึ้น (Keshavarz and Jackson 1992; Harms and Russell, 1993) รวมทั้งร่างกายสามารถดูดซึมไปใช้ได้เร็วขึ้น (Brody, 1994)

2. ผลต่อปริมาณการกินอาหาร โปรตีน พลังงาน และกรดอะมิโนจำเป็นที่ได้รับจากอาหาร

ในช่วงอายุ 21-32 สัปดาห์ อิทธิพลของระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารส่งผลให้ปริมาณการกินอาหาร โปรตีนและพลังงานที่ได้รับ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 16) โดยพบว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารไม่เสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนมีปริมาณการกินอาหาร โปรตีนและพลังงานที่ได้รับ คือ 110.08, 15.41 กรัม/ตัว/วัน และ 302.72 กิโลแคลอรี/ตัว/วัน ตามลำดับ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากกลุ่มที่ได้รับอาหารกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.38 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีปริมาณการกินอาหาร โปรตีนและพลังงานที่ได้รับ 107.70, 15.07 กรัม/ตัว/วัน และ 296.18 กิโลแคลอรี/ตัว/วัน ตามลำดับ อย่างไรก็ตามพบว่า กลุ่มที่ได้รับอาหารกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.30 และ 0.44 เปอร์เซ็นต์ เป็นกลุ่มที่ปริมาณการกินอาหาร โปรตีนและพลังงานที่ได้รับจากอาหารไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากกลุ่มที่ได้รับอาหารกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.28 และ 0.38 เปอร์เซ็นต์

ในช่วงท้ายการทดลอง (33-48 สัปดาห์) พบว่าระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารไม่มีผลต่อปริมาณการกินอาหาร โปรตีนและพลังงานที่ได้รับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 17) ผลการทดลองพบว่า ในช่วงอายุ 33-48 สัปดาห์ มีปริมาณการกินอาหาร 112.68, 113.60, 116.17 และ 112.49 กรัม/ตัว/วัน ที่ระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหาร 0.28, 0.30, 0.38 และ 0.48 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทำให้ไก่ได้รับโปรตีนและพลังงานจากอาหารไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยไก่ได้รับโปรตีนจากอาหาร 15.77, 15.90, 16.26 และ 15.75 กรัม/ตัว/วัน และได้รับพลังงานจากอาหาร 314.15, 307.77, 311.54 และ 315.16 กิโลแคลอรี/ตัว/วัน ที่ระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.28, 0.30, 0.38 และ 0.48 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ในทั้งสองช่วงการทดลองพบว่า ระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารส่งผลให้ไก่ไข่ได้รับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนจากอาหารแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยพบว่าไก่ไข่ได้รับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนจากอาหารเพิ่มขึ้นเมื่อระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารสูงขึ้น (ตารางที่ 18) นอกจากนั้นพบว่าในช่วงอายุ 21-32 สัปดาห์ กลุ่มที่ได้รับอาหารกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.38 เปอร์เซ็นต์ เป็นกลุ่มที่ได้รับกรดอะมิโนไลซีน ไอโซลิวซีน ลิวซีน วาลีน บรานเชนอะมิโนเอซิด ธีโรนีน อาร์จินีน ฮิสทีดีน ฟีนิลอะลานีน ทรีปโตเฟน น้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารไม่เสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตามพบว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.30 และ 0.44 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นดังกล่าวไม่แตกต่างจากกลุ่มที่ได้รับอาหารไม่เสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนและกลุ่มที่ได้รับอาหารกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.38 เปอร์เซ็นต์ และนอกจากนั้น ในช่วงอายุ 33-48 สัปดาห์ กรดอะมิโนเมทไธโอนีนส่งผลให้กรดอะมิโนไลซีน ไอโซลิวซีน ลิวซีน วาลีน บรานเชนอะมิโนเอซิด ธีโรนีน อาร์จินีน ฮิสทีดีน ฟีนิลอะลานีน ทรีปโตเฟน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 20

ในช่วงแรกของการทดลอง พบว่าไก่กลุ่มที่ได้รับอาหารกรดอะมิโนเมทไธโอนีนต่ำ มีแนวโน้มของปริมาณการกินอาหารมากขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารคำนวณตามสัดส่วนของโปรตีนในอุดมคติ (ตารางที่ 6) อาหารสูตรควบคุมซึ่งมีปริมาณกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารเพียง 0.28 เปอร์เซ็นต์ จึงไม่เพียงพอกับความต้องการตามคำแนะนำของ NRC (1994) ดังนั้นไก่ในกลุ่มที่ได้รับอาหารไม่เสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนอาจพยายามกินอาหารเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้ปริมาณโปรตีน พลังงานและกรดอะมิโนจำเป็นอื่นๆ ที่ได้รับจากอาหารเพิ่มขึ้นตามไปด้วย จึงส่งผลให้ปริมาณผลผลิตไม่แตกต่างกัน

ในช่วงท้ายการทดลอง พบว่าการเสริมเมทไธโอนีนในอาหารทำให้ไก่ไข่มีแนวโน้มการกินอาหารเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากการเพิ่มระดับเมทไธโอนีนในอาหารโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ ช่วยปรับสมดุลกรดอะมิโนในอาหาร ไก่จึงกินอาหารมากขึ้นซึ่งสอดคล้องกับ รายงานของ Penz and Jensen (1991); Keshavarz and Jackson (1992); Chung Hsu *et al.* (1998); Humphrey and Klasing (2004) ดังนั้นปริมาณโปรตีน พลังงาน และกรดอะมิโนจำเป็นที่ได้รับ ยกเว้นเมทไธโอนีน จึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณการกินอาหารที่สูงขึ้น ดังนั้นกลุ่มที่ได้รับอาหารกรดอะมิโนเมทไธโอนีนสูงจึงให้ผลผลิตสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารกรดอะมิโนเมทไธโอนีนต่ำ

3. ผลต่ออัตราการเปลี่ยนอาหาร โปรตีนและพลังงานเป็นน้ำหนักไข่

ในช่วงอายุ 21-32 สัปดาห์ อิทธิพลของกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารส่งผลให้อัตราการเปลี่ยนอาหารแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 16) โดยพบว่าการเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนทำให้อัตราการเปลี่ยนอาหารดีขึ้น กลุ่มที่ได้รับอาหารไม่เสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนมีอัตราการเปลี่ยนอาหารด้อยที่สุด คือ 1.93 กรัม/ไข่ 1 กรัม แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากกลุ่มที่ได้รับอาหารกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.38 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีอัตราการเปลี่ยนอาหารดีที่สุด คือ 1.84 กรัม/ไข่ 1 กรัม อย่างไรก็ตามพบว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.30 และ 0.44 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยแต่ละกลุ่มมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ 1.88 และ 1.89 กรัม/ไข่ 1 กรัม ตามลำดับ การเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารส่งผลให้ไก่ไข่มีอัตราการเปลี่ยนโปรตีนและพลังงานเป็นน้ำหนักไข่ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยกลุ่มที่ได้รับอาหารกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.30, 0.38 และ 0.44 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเปลี่ยนโปรตีนเป็นน้ำหนักไข่เท่ากัน คือ มีอัตราการเปลี่ยนโปรตีนเป็นน้ำหนักไข่ 0.28 กรัม/ตัว/วัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากกลุ่มที่ได้รับอาหารไม่เสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีน ซึ่งมีอัตราการเปลี่ยนโปรตีนเป็นน้ำหนักไข่เท่ากับ 0.30 กรัม/ตัว/วัน ($p < 0.01$) การเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนทำให้ไก่ไข่มีอัตราการเปลี่ยนพลังงานดีขึ้น โดยกลุ่มที่ได้รับอาหารกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.38 เปอร์เซ็นต์ เป็นกลุ่มที่มีอัตราการเปลี่ยนพลังงานเป็นน้ำหนักไข่ดีที่สุด คือ 5.07 กิโลแคลลอรี่/ไข่ 1 กรัม แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากกลุ่มที่ได้รับอาหารไม่เสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีน ซึ่งมีอัตราการเปลี่ยนพลังงานเป็นน้ำหนักไข่ด้อยที่สุด คือ 5.32 กิโลแคลลอรี่/ไข่ 1 กรัม ($p < 0.01$) อย่างไรก็ตามพบว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.30 และ 0.44 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเปลี่ยนพลังงานเป็นน้ำหนักไข่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือมีอัตราการเปลี่ยนพลังงาน เท่ากับ 5.19 และ 5.20 กิโลแคลลอรี่/ไข่ 1 กรัม ตามลำดับ ดังแสดงตารางที่ 16

ในช่วงอายุ 33-48 สัปดาห์ อิทธิพลของกรดอะมิโนเมทไธโอนีนส่งผลให้ไก่ไข่มีอัตราการเปลี่ยนอาหารและโปรตีนเป็นน้ำหนักไข่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยพบว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.44 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเปลี่ยนอาหารและโปรตีนเป็นน้ำหนักไข่ดีที่สุด คือ 2.09 และ 0.29 กรัม/ไข่ 1 กรัม ตามลำดับ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากกลุ่มที่ได้รับอาหารไม่เสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีน ซึ่งมีอัตราการเปลี่ยนอาหารและ

โปรตีนป็นน้ำหนักไข่ 2.26 และ 0.32 กรัม/ไข่ 1 กรัม ตามลำดับ กลุ่มที่ได้รับอาหารกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.30 และ 0.38 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเปลี่ยนอาหารและโปรตีนเป็นน้ำหนักไข่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากกลุ่มที่ได้รับอาหารไม่เสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีน โดยแต่ละกลุ่มมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ 2.26, 2.19 และ 2.27 กรัม/ไข่ 1 กรัมตามลำดับ และมีอัตราการเปลี่ยนโปรตีนเป็นน้ำหนักไข่ 0.32, 0.31 และ 0.32 กรัม/ไข่ 1 กรัมตามลำดับ อย่างไรก็ตาม กรดอะมิโนเมทไธโอนีนไม่ส่งผลต่ออัตราการเปลี่ยนพลังงานเป็นน้ำหนักไข่ แม้อัตราการใช้พลังงานมีแนวโน้มดีขึ้นเมื่อได้รับอาหารเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีน โดยมีอัตราการเปลี่ยนโปรตีนเป็นน้ำหนักไข่ 6.32, 5.94, 6.11 และ 5.84 กิโลแคลอรี/ไข่ 1 กรัม ที่ระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.28, 0.30, 0.38 และ 0.44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 17

จากทั้งสองช่วงการทดลองพบว่าไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับอาหารกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.28 เปอร์เซ็นต์ เป็นกลุ่มที่มีประสิทธิภาพในการใช้อาหาร โปรตีนและพลังงานน้อยที่สุด เนื่องจากการกินอาหารมากที่สุด แต่ให้ผลผลิตต่ำโดยกลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.30 เปอร์เซ็นต์เป็นต้นไป สามารถใช้โปรตีนและพลังงานในการเปลี่ยนเป็นน้ำหนักฟองไข่ได้ดีกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.28 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับรายงานของทวิศศักดิ์ และคณะ (2546) ซึ่งรายงานว่า การเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ประสิทธิภาพการใช้อาหารและปริมาณกรดอะมิโนเมทไธโอนีนที่ได้รับสูงขึ้น

ตารางที่ 16 ผลของระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนต่อสมรรถภาพการผลิตไก่ไข่อายุ 21-32 สัปดาห์

	Met (%)				P-value
	0.28	0.30	0.38	0.44	
ผลผลิตไข่ (เปอร์เซ็นต์)	91.9 ± 1.5	92.0 ± 0.4	92.2 ± 1.2	94.5 ± 0.3	0.27
น้ำหนักไข่ (กรัม)	56.72 ± 0.5	57.93 ± 0.9	58.30 ± 0.5	57.70 ± 0.7	0.32
มวลไข่	51.8 ± 0.7	53.3 ± 1.8	54.0 ± 1.0	54.6 ± 0.8	0.33
ปริมาณอาหารที่ได้รับ (กรัม/ตัว/วัน)	110.08 ^a ± 0.7	109.39 ^{ab} ± 0.4	107.70 ^b ± 0.4	108.75 ^{ab} ± 0.6	0.04
ปริมาณโปรตีนที่ได้รับ (กรัม/ตัว/วัน)	15.41 ^a ± 0.10	15.31 ^{ab} ± 0.06	15.07 ^b ± 0.05	15.22 ^{ab} ± 0.09	0.04
ปริมาณพลังงานที่ได้รับ (กิโลแคลลอรี่/ตัว/วัน)	302.72 ^a ± 1.9	300.82 ^{ab} ± 1.2	296.18 ^b ± 1.0	299.05 ^{ab} ± 1.7	0.04
อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ (กรัม/ไข่ 1 กรัม)	1.93 ^a ± 0.009	1.88 ^b ± 0.018	1.84 ^c ± 0.011	1.89 ^b ± 0.008	0.02
อัตราการเปลี่ยนโปรตีนเป็นน้ำหนักไข่ (กรัม/ไข่ 1 กรัม)	0.30 ^A ± 0.003	0.28 ^B ± 0.004	0.28 ^B ± 0.005	0.28 ^B ± 0.003	0.009
อัตราการเปลี่ยนพลังงานเป็นน้ำหนักไข่ (กิโลแคลลอรี่/ไข่ 1 กรัม)	5.32 ^A ± 0.02	5.19 ^B ± 0.05	5.07 ^C ± 0.03	5.20 ^B ± 0.02	0.005

หมายเหตุ ^{a,b,c} ตัวอักษรที่แตกต่างกันภายในแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

^{A,B,C,D} ตัวอักษรที่แตกต่างกันภายในแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.01)

ทุกข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± SE

ตารางที่ 17 ผลของระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนต่อสมรรถภาพการผลิตไก่ไข่อายุ 33-48 สัปดาห์

	Met (%)				P-value
	0.28	0.30	0.38	0.44	
ผลผลิตไข่ (เปอร์เซ็นต์)	85.12 ^b ± 1.2	86.16 ^{ab} ± 0.6	89.14 ^a ± 1.3	88.91 ^a ± 0.5	0.02
น้ำหนักไข่ (กรัม)	58.78 ± 0.5	59.80 ± 0.4	59.14 ± 0.5	61.15 ± 0.9	0.07
มวลไข่	49.89 ± 0.6	51.99 ± 0.6	51.35 ± 1.4	54.10 ± 1.1	0.05
ปริมาณอาหารที่ได้รับ (กรัม/ตัว/วัน)	112.68 ± 1.2	113.60 ± 1.2	116.17 ± 1.7	112.49 ± 1.4	0.25
ปริมาณโปรตีนที่ได้รับ (กรัม/ตัว/วัน)	15.77 ± 0.17	15.90 ± 0.16	16.26 ± 0.24	15.75 ± 0.21	0.25
ปริมาณพลังงานที่ได้รับ (กิโลแคลอรี/ตัว/วัน)	314.15 ± 3.0	307.77 ± 2.4	311.54 ± 3.7	315.16 ± 4.0	0.43
อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ (กรัม/ไข่ 1 กรัม)	2.26 ^B ± 0.446	2.19 ^{AB} ± 0.025	2.27 ^B ± 0.049	2.09 ^A ± 0.027	0.007
อัตราการเปลี่ยนโปรตีนเป็นน้ำหนักไข่ (กรัม/ไข่ 1 กรัม)	0.32 ^B ± 0.006	0.30 ^{AB} ± 0.003	0.32 ^B ± 0.005	0.29 ^A ± 0.007	0.007
อัตราการเปลี่ยนพลังงานเป็นน้ำหนักไข่ (กิโลแคลอรี/ไข่ 1 กรัม)	6.32 ± 0.070	5.94 ± 0.049	6.11 ± 0.230	5.84 ± 0.109	0.10

หมายเหตุ ^{a,b,c,d} ตัวอักษรที่แตกต่างกันภายในแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

^{A,B,C,D} ตัวอักษรที่แตกต่างกันภายในแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.01)

ทุกข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± SE

ตารางที่ 18 อิทธิพลของระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารต่อปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นที่ไก่ไข่ได้รับในช่วงอายุ 21-32 และ 33-48 สัปดาห์

	Met (%)				P- value
	0.28	0.30	0.38	0.44	
	----- (g/hen/d) -----				
Lysine	0.88±0.006 ^a (0.90±0.010)	0.87±0.003 ^{ab} (0.91±0.010)	0.86±0.003 ^b (0.93±0.014)	0.87±0.005 ^{ab} (0.90±0.012)	0.04 (0.26)
Methionine	0.30 ^A ± 0.002 (0.31 ^A ±0.003)	0.32 ^B ± 0.001 (0.34 ^B ±0.003)	0.40 ^C ± 0.001 (0.44 ^C ±0.006)	0.47 ^D ± 0.003 (0.49 ^D ±0.006)	<0.01 (<0.01)
Isoleucine	0.63±0.004 ^a (0.64±0.007)	0.62±0.002 ^{ab} (0.65±0.007)	0.61±0.002 ^b (0.66±0.010)	0.62±0.004 ^{ab} (0.64±0.008)	0.04 (0.26)
Leucine	1.43±0.009 ^a (1.46±0.016)	1.42±0.006 ^{ab} (1.48±0.015)	1.40±0.005 ^b (1.51±0.022)	1.41±0.008 ^{ab} (1.46±0.019)	0.04 (0.26)
Valine	0.75±0.005 ^a (0.77±0.008)	0.74±0.003 ^{ab} (0.77±0.008)	0.73±0.002 ^b (0.79±0.011)	0.74±0.004 ^{ab} (0.76±0.010)	0.04 (0.26)
Branch-chain	2.81±0.018 ^a (2.87±0.031)	2.79±0.011 ^{ab} (2.90±0.030)	2.75±0.009 ^b (2.96±0.043)	2.77±0.016 ^{ab} (2.87±0.038)	0.04 (0.26)
Amino acids					
Threonine	0.61±0.004 ^a (0.62±0.007)	0.60±0.002 ^{ab} (0.62±0.006)	0.59±0.002 ^b (0.64±0.009)	0.60±0.003 ^{ab} (0.62±0.008)	0.04 (0.26)
Arginine	0.96±0.006 ^a (0.98±0.011)	0.95±0.004 ^{ab} (0.99±0.010)	0.94±0.003 ^b (1.01±0.015)	0.95±0.005 ^{ab} (0.98±0.013)	0.04 (0.26)
Histidine	0.46±0.003 ^a (0.47±0.005)	0.46±0.002 ^{ab} (0.48±0.005)	0.45±0.001 ^b (0.49±0.007)	0.45±0.003 ^{ab} (0.47±0.006)	0.04 (0.26)
Phenylalanine	0.75±0.005 ^a (0.77±0.008)	0.74±0.003 ^{ab} (0.77±0.008)	0.73±0.002 ^b (0.79±0.012)	0.74±0.004 ^{ab} (0.76±0.010)	0.04 (0.26)
Tryptophan	0.18±0.001 ^a (0.18±0.002)	0.18±0.001 ^{ab} (0.18±0.002)	0.17±0.000 ^b (0.19±0.003)	0.17±0.001 ^{ab} (0.18±0.002)	0.04 (0.26)

หมายเหตุ ^{A, B, C} ตัวอักษรที่แตกต่างกันภายในแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเชิงทางสถิติ (p<0.01)

() ปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นที่สัตว์ได้รับในช่วงอายุ 33-48 สัปดาห์ ทุกข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± SE

อิทธิพลของระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนต่อระบบภูมิคุ้มกันของไก่ไข่

1. ผลต่ออัตราการตาย

ระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่ออัตราการตายของไก่ไข่ในทั้งสองช่วงการทดลอง ($p>0.05$) การทดลองพบว่าไก่ไข่ช่วงอายุ 21-32 สัปดาห์ มีอัตราการตาย 0.33, 0.33, 0.22 และ 0.27 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 16) และช่วงอายุ 33-48 สัปดาห์ มีอัตราการตาย 0.04, 0.20, 0.08 และ 0.04 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหาร 0.28, 0.30, 0.38 และ 0.44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 17

จากผลการทดลองพบว่าแตกต่างจากรายงานของ Bunchasak and Silapasorn (2005) ซึ่งรายงานว่า การเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้อัตราการตายของไก่ที่เลี้ยงในโรงเรือนระบบเปิด (ไก่ได้รับความเครียดจากความร้อน) ลดลง อย่างไรก็ตาม การทดลองครั้งนี้เลี้ยงไก่ในโรงเรือนระบบปิด ซึ่งสัตว์สามารถจัดการกับความร้อนที่ผลิตขึ้นจากร่างกายได้ดีขึ้น มีการย่อยอาหาร และมีกระบวนการทาง Metabolic ที่ดีขึ้น (Ferguson *et al.*, 2000) ดังนั้นสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันจึงอาจเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการตายที่แตกต่างกัน

2. ผลต่ออวัยวะน้ำเหลือง (ตับและม้าม)

อิทธิพลของระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารต่อน้ำหนักอวัยวะน้ำเหลืองแสดงในตารางที่ 19 พบว่ากรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารที่สูงขึ้นทำให้น้ำหนักตับเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักร่างกายเพิ่มขึ้น โดยพบว่าในไก่ไข่อายุ 32 สัปดาห์ กลุ่มที่ได้รับอาหารไม่เสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนเป็นกลุ่มที่มีน้ำหนักตับต่ำที่สุด คือ 1.67 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างจากกลุ่มที่ได้รับอาหารกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.44 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีน้ำหนักตับ 2.28 เปอร์เซ็นต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กลุ่มที่ได้รับกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.30 และ 0.38 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักตับ 1.87 และ 1.92 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากกลุ่มที่ไม่เสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนและกลุ่มที่ได้รับกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.44 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามในระยะยาวกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารกลับไม่ส่งผลให้น้ำหนักตับไก่ไข่อายุ 48 สัปดาห์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยแต่ละกลุ่มมีน้ำหนักตับคือ 2.78, 2.42, 2.73

และ 2.41 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหาร 0.28, 0.30, 0.38 และ 0.44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

จากผลการทดลองพบว่า ในช่วงแรกของการทดลอง น้ำหนักตัวสูงขึ้นเมื่อปริมาณการเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้อาจมีสาเหตุจากการสะสมไขมันหรือโปรตีนในระดับที่สูงขึ้น โดยตัวมีไขมันสูงขึ้นเมื่อเพิ่มระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารให้สูงขึ้น อาจเนื่องมาจากเมทไธโอนีนไปกระตุ้นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์กรดไขมันสะสมไว้ในตัวเพิ่มขึ้น (Smith *et al.* 1983) ซึ่งสอดคล้องกับทวิศักดิ์และคณะ (2546) ซึ่งรายงานว่า ไก่ไข่ที่ได้รับอาหาร โปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ และเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนมีไขมันในระดับที่สูงขึ้น และจากผลการทดลองครั้งนี้พบเช่นกันว่าปริมาณไตรกลีเซอไรด์ในตัวเพิ่มขึ้น เมื่อได้รับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนจากอาหารมากขึ้น (ตารางที่ 21)

นอกจากนี้พบว่าการเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหาร ส่งผลให้ไก่ไข่อายุ 32 และ 48 สัปดาห์ มีน้ำหนักม้ามไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยไก่ไข่อายุ 32 สัปดาห์ แต่ละกลุ่มมีน้ำหนักม้ามเท่ากับ 0.10, 0.09, 0.12 และ 0.13 เปอร์เซ็นต์ และไก่ไข่อายุ 48 สัปดาห์ แต่ละกลุ่มมีน้ำหนักม้ามเท่ากับ 0.06, 0.08, 0.08 และ 0.08 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหาร 0.28, 0.30, 0.38 และ 0.44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ผลดังกล่าวสอดคล้องกับรายงานของ Rao *et al.* (1999) ซึ่งรายงานว่าการเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในระดับสูงส่งผลให้น้ำหนักอวัยวะน้ำเหลือง (น้ำหนักม้ามและต่อมเบียร์ช่า) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม การพัฒนาของอวัยวะน้ำเหลืองนั้น ยังขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของสัตว์ด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ Payne *et al.* (1990) และ Kenney *et al.* (1968) รายงานว่า ไก่ที่ขาดแคลนโปรตีนเป็นเวลานาน จะทำให้จำนวนเม็ดเลือดขาวในระบบหมุนเวียนโลหิตน้อย และม้ามมีขนาดเล็กลง สอดคล้องกับผลการทดลองซึ่งพบว่าตลอดการทดลองทุกกลุ่มได้รับโปรตีนต่ำกว่าความต้องการตามคำแนะนำของ NRC (1994) ซึ่งอาจมีผลทำให้ในช่วงท้าย (อายุ 48 สัปดาห์) น้ำหนักม้ามมีแนวโน้มน้อยกว่าในช่วงต้นการทดลอง (อายุ 32 สัปดาห์)

ในช่วงแรกของการทดลองพบว่า ระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ไก่แต่ละกลุ่มได้รับโปรตีนจากอาหารแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่

16) แต่ไม่มีผลต่อน้ำหนักม้าม ผลดังกล่าวสอดคล้องกับการทดลองที่ 1 ซึ่งพบว่าในระยะแรก (อายุ 32 สัปดาห์) ระดับโปรตีนที่ต่างกันนั้นไม่ส่งผลน้ำหนักม้ามแตกต่างกัน (ตารางที่ 13)

3. ผลต่อ ND Titer (HI-test)

กรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารส่งผลให้ค่า ND Titer (HI-test) ในซีรัมไก่ไข่อายุ 32 และ 48 สัปดาห์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยไก่ไข่อายุ 32 สัปดาห์ มีค่า ND Titer (HI-test) ในซีรัม 2.20, 3.00, 2.50 และ 2.83 และไก่ไข่อายุ 48 สัปดาห์มีค่า ND Titer (HI-test) ในซีรัม 2.00, 3.16, 2.60 และ 3.00 ที่ระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหาร 0.28, 0.30, 0.38 และ 0.44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 19)

จากผลการทดลอง พบว่าสอดคล้องกับ Swain and Johri (2000) ซึ่งรายงานว่าการเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารเพียงอย่างเดียว ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าแอนติบอดีไคเตอร์ (Antibody titre) อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าระดับแอนติบอดีไคเตอร์ตอบสนองต่อ SRBC (Sheep Red Blood Cell) เพิ่มขึ้นเมื่อระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารสูงขึ้น (Tsiagbe *et al.*, 1987a, b) นอกจากนี้ Rao *et al.* (1999) รายงานว่าระดับแอนติบอดีไคเตอร์เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารสูงกว่า 4.46 กรัมต่อกิโลกรัม ($p<0.05$)

นอกจากนั้น เป็นที่น่าสังเกตว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนมีค่า ND Titer สูงกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารไม่เสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีน ซึ่งมีรายงานผลงานวิจัยหลายฉบับที่รายงานถึงผลเสียของการขาดแคลนกรดอะมิโนจำเป็นต่อการตอบสนองทางภูมิคุ้มกัน โดย Bhargava *et al.* (1970) และ Marzija *et al.* (1982) รายงานว่าการได้รับกรดอะมิโนวาลีน ไลซีน เมทไธโอนีน หรือเมทไธโอนีน + ซีสเตอีน ในปริมาณที่ไม่เพียงพอ นั้น การตอบสนองทางภูมิคุ้มกันต่อวัคซีนโรคนิวคาสเซิลจะลดลง (HI titre) และ Konashi *et al.* (2000) รายงานว่าการขาดแคลน branch-chain amino acid (BCAA) นั้นมีผลทางลบต่อการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันในไก่ จากการทดลองครั้งนี้พบว่า ไก่ไข่ได้รับกรดอะมิโนไอโซลิวซีน และวาลีนไม่เพียงพอกับความต้องการตามคำแนะนำของ NRC (1994) แต่เนื่องจากปริมาณลิซีนที่ได้รับมากเกินไปเกินความต้องการ จึงทำให้ไก่ได้รับ BCAA เพียงพอกับความต้องการเหมือนกันทุกกลุ่ม (ตารางที่ 20) ดังนั้นการขาดแคลน

กรดอะมิโนเมทไธโอนีนของกลุ่มที่ไม่ได้เสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหาร จึงอาจเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ค่า ND Titer ต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีน

4. ผลต่อโปรตีนทั้งหมดในซีรัม

กรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารไม่มีผลต่อค่าโปรตีนทั้งหมดในซีรัมไก่ไข่อายุ 32 และ 48 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยไก่ไข่อายุ 32 สัปดาห์ มีค่า โปรตีนทั้งหมดในซีรัม 3.38, 3.35, 3.39 และ 3.68 และไก่ไข่อายุ 48 สัปดาห์มีค่า โปรตีนทั้งหมดในซีรัม 5.39, 5.06, 5.32 และ 5.07 ที่ระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหาร 0.28, 0.30, 0.38 และ 0.44 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตารางที่ 19)

จากผลการทดลองพบว่า ค่าโปรตีนทั้งหมดในซีรัมสอดคล้องกับ Harrison and Harrison (1986) ซึ่งรายงานปริมาณความเข้มข้นของโปรตีนทั้งหมดในซีรัมสัตว์ปีก 4.3-5.6 กรัม/เดซิลิตร จากการทดลองในช่วงแรก (อายุ 32 สัปดาห์) พบว่าระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารที่สูงขึ้น ทำให้โปรตีนทั้งหมดในซีรัมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นนั้น Keneko *et al.* (1997) รายงานว่าอาจเกิดจากอิทธิพลของฮอร์โมนเอสโตรเจน สอดคล้องกับปริมาณผลผลิตที่เพิ่มขึ้น เมื่อได้รับอาหารเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีน (ตารางที่ 16 และ 17) อย่างไรก็ตาม Eggum (1989) และ Tewe (1985) รายงานว่าทั้งคุณภาพและปริมาณของโปรตีนที่สัตว์ได้รับจากอาหาร ส่งผลโดยตรงต่อปริมาณโปรตีนทั้งหมดในซีรัม ซึ่งในช่วงท้ายของการทดลองพบว่าอิทธิพลของกรดอะมิโนในอาหารทำให้ไก่ได้รับโปรตีนจากอาหารไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 17) ดังนั้นปริมาณโปรตีนทั้งหมดในซีรัมไก่ไข่จึงไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 19 ผลของระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนต่อระบบภูมิคุ้มกันของไก่ไข่อายุ 32 และ 48 สัปดาห์

	Met (%)				P-value
	0.28	0.30	0.38	0.44	
อายุ 32 สัปดาห์					
น้ำหนักอวัยวะน้ำเหลือง					
- ตับ	1.67 ^b ± 0.07	1.87 ^{ab} ± 0.12	1.92 ^{ab} ± 0.14	2.28 ^a ± 0.16	0.028
- ม้าม	0.10 ± 0.02	0.09 ± 0.01	0.12 ± 0.01	0.13 ± 0.02	0.442
ND Titer (HI-test)	2.20 ± 0.58	3.00 ± 0.25	2.50 ± 0.42	2.83 ± 0.40	0.569
โปรตีนรวม (g/dl) (Serum Total Protein)	3.38 ± 20	3.35 ± 0.19	3.39 ± 0.20	3.68 ± 0.20	0.634
อัตราการตาย (เปอร์เซ็นต์)	0.33 ± 0.22	0.33 ± 0.12	0.22 ± 0.11	0.27 ± 0.13	0.78
อายุ 48 สัปดาห์					
น้ำหนักอวัยวะน้ำเหลือง					
- ตับ	2.78 ± 0.18	2.42 ± 0.19	2.73 ± 0.10	2.41 ± 0.11	0.193
- ม้าม	0.06 ± 0.00	0.08 ± 0.02	0.08 ± 0.00	0.08 ± 0.01	0.837
ND Titer (HI-test)	2.00 ± 0.31	3.16 ± 0.30	2.60 ± 0.04	3.00 ± 0.40	0.126
โปรตีนรวม (g/dl) (Serum Total Protein)	5.39 ± 0.30	5.06 ± 0.25	5.32 ± 0.24	5.07 ± 0.13	0.692
อัตราการตาย (เปอร์เซ็นต์)	0.04 ± 0.04	0.20 ± 0.16	0.08 ± 0.05	0.04 ± 0.04	0.53

หมายเหตุ ^{a,b,c} อักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ทุกข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± SE

5. ผลต่อปริมาณอัลบูมิน

กรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารไม่มีผลต่อปริมาณอัลบูมินในซีรัมไก่ไข่อายุ 32 และ 48 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยไก่ไข่อายุ 32 สัปดาห์ มีปริมาณอัลบูมินในซีรัม 1.14, 1.08, 1.23 และ 1.30 กรัม/เดซิลิตร และไก่ไข่อายุ 48 สัปดาห์มีปริมาณอัลบูมินในซีรัม 1.47, 1.63, 1.60 และ 1.51 กรัม/เดซิลิตร ที่ระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหาร 0.28, 0.30, 0.38 และ 0.44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 20)

จากผลการทดลอง สอดคล้องกับ Odunsi (2005) ซึ่งรายงานค่าอัลบูมินในซีรัม 1.08-1.32 กรัม/เดซิลิตร เนื่องจากการทดลองใช้อาหารโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ และมีกรดอะมิโนเมทไธโอนีนต่างกัน 4 ระดับ โดยคำนวณตามสัดส่วนของโปรตีนรวมต่อกรดอะมิโนเมทไธโอนีน และปรับสัดส่วนของกรดอะมิโนจำเป็นต่อกรดอะมิโนไลซีนในอาหารให้มีระดับใกล้เคียงตามคำแนะนำของ NRC (1994) ดังนั้นในแต่ละสูตรจึงมีปริมาณกรดอะมิโนเมทไธโอนีนที่แตกต่างกัน ส่งผลให้คุณภาพของโปรตีนหรืออาหารนั้นต่างกัน โดยพบว่าการเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนส่งผลให้ปริมาณผลผลิตสูงขึ้น (ตารางที่ 16 และ 17) ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าคุณภาพของอาหารไม่มีผลต่อความเข้มข้นของอัลบูมินในซีรัม ซึ่งขัดแย้งกับงานทดลองที่ 1 ที่พบว่าระดับโปรตีนในอาหารส่งผลต่อความเข้มข้นของโปรตีนในซีรัม และ Eggum (1989) และ Tewe (1985) ที่รายงานว่าปริมาณอัลบูมินในซีรัมนั้นจะได้รับอิทธิพลโดยตรงจากทั้งคุณภาพและปริมาณของโปรตีนในอาหาร

6. ผลต่อปริมาณอัลฟา-กลอบูลิน

กรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารไม่มีผลต่อปริมาณอัลฟา-กลอบูลินในซีรัมไก่ไข่อายุ 32 และ 48 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยไก่ไข่อายุ 32 สัปดาห์ มีปริมาณอัลฟา-กลอบูลินในซีรัม 0.55, 0.51, 0.46 และ 0.60 กรัม/เดซิลิตร และไก่ไข่อายุ 48 สัปดาห์มีปริมาณอัลฟา-กลอบูลินในซีรัม 0.67, 0.85, 0.84 และ 0.92 กรัม/เดซิลิตร ที่ระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหาร 0.28, 0.30, 0.38 และ 0.44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 20

จากผลการทดลองในช่วงแรกพบว่า สอดคล้องกับ รัศมีศักดิ์ (2547) ซึ่งรายงานความเข้มข้นของอัลฟา-กลอบูลินในซีรัมไก่ไข่ 0.35-0.63 กรัม/เดซิลิตร Margaret (2001) รายงานว่าอัลฟา-กลอบูลินเป็นกลุ่มโปรตีนที่สร้างขึ้นที่ตับ โดยทั่วไปโปรตีนกลุ่มนี้จะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อร่างกาย

เกิดสภาวะไตอักเสบ (acute nephritis) ตับอักเสบ (severe active hepatitis) การอักเสบของร่างกาย (systemic inflammation) และสภาวะการขาดแคลนอาหาร (malnutrition) ซึ่งผลการทดลองพบว่า อัลฟา-กลอบูลินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อได้รับอาหารเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีน อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาสมรรถภาพการผลิตของกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนแล้ว พบว่า ไม่เกิดอาการดังกล่าวกับกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีน นอกจากนั้น สุพิศ (2524) กล่าวว่าอัลฟา-กลอบูลินส่วนใหญ่ประกอบด้วยไลโปโปรตีนและไลโปโปรตีน ดังนั้นกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนอาจลำเลียงไขมันหรือโคเลสเตอรอลออกจากตับมากขึ้น เนื่องจากไข่ไม่มีกลไกป้องกันไม่ให้ไขมันหรือโคเลสเตอรอลในตับมีมากเกินไป จึงส่งออกสู่กระแสเลือดไปเก็บไว้ในไข่แดง (Harris and Wilcox, 1963) เพื่อใช้สำหรับสะสมเป็นพลังงานให้กับตัวอ่อน (Weiss and Scott, 1979) จึงทำให้ไลโปโปรตีนในซีรัมสูงขึ้น สอดคล้องกับผลผลิตที่เพิ่มขึ้นของกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีน (ตารางที่ 16 และ 17)

นอกจากนั้น Thomas (1998) รายงานว่าอัลฟา-กลอบูลินในซีรัมที่เพิ่มขึ้นอาจเกิดจากปริมาณ HDL ในซีรัมที่เพิ่มขึ้น โดย HDL ทำหน้าที่เป็นตัวขนส่งคอเลสเตอรอลกลับไปยังตับ เพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์กรดน้ำดีและฮอร์โมน (Vance, 1998) ดังนั้นกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีน อาจมีการส่งคอเลสเตอรอลกลับไปที่ตับมากขึ้น สอดคล้องกับ Oda *et al.* (1989) ซึ่งรายงานว่า การเสริมเมทไธโอนีนในอาหาร ทำให้ระดับโคเลสเตอรอลในซีรัมของหนูสูงขึ้น

7. ผลต่อปริมาณบีตา-กลอบูลิน

กรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารไม่มีผลต่อปริมาณบีตา-กลอบูลินในซีรัมไก่ไข่อายุ 32 และ 48 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยไก่ไข่อายุ 32 สัปดาห์ มีปริมาณบีตา-กลอบูลินในซีรัม 1.74, 1.58, 1.61 และ 1.63 กรัม/เดซิลิตร และไก่ไข่อายุ 48 สัปดาห์มีปริมาณบีตา-กลอบูลินในซีรัม 2.63, 2.26, 2.36 และ 2.20 กรัม/เดซิลิตร ที่ระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหาร 0.28, 0.30, 0.38 และ 0.44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 20)

ปริมาณบีตา-กลอบูลินจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีไขมันหรือโคเลสเตอรอลเพิ่มขึ้น (สุพิศ, 2524) โดยระดับไตรกลีเซอไรด์ในซีรัม เป็นตัวบ่งบอกถึงการเคลื่อนย้ายไตรกลีเซอไรด์จากตับไปยังไข่ และเนื้อเยื่อไขมันอื่น ๆ ขณะที่การขนส่งไตรกลีเซอไรด์จากตับไปยัง Extra hepatic

tissue จะอาศัยไลโปโปรตีนที่มีความหนาแน่นต่ำมาก (Very Low Density Lipoprotein; VLDL) (Hermier *et al.*, 1984) ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าการเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนไม่มีผลต่อปริมาณบีตา-กลอบูลินสอดคล้องกับรัตน (2549) ซึ่งรายงานว่า การเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนไม่มีผลต่อปริมาณโคเลสเตอรอลในซีรัม ไตรกลีเซอไรด์ในซีรัมและไข่แดง

8. ผลต่อปริมาณแกมมา-กลอบูลิน

ระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณแกมมา-กลอบูลินในซีรัม ไก่ไข่อายุ 32 และ 48 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยไก่ไข่อายุ 32 สัปดาห์ มีปริมาณ แกมมา-กลอบูลินในซีรัม 0.05, 0.07, 0.05 และ 0.11 กรัม/เดซิลิตร และไก่ไข่อายุ 48 สัปดาห์มีปริมาณแกมมา-กลอบูลินในซีรัม 0.37, 0.58, 0.45 และ 0.56 กรัม/เดซิลิตร ที่ระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหาร 0.28, 0.30, 0.38 และ 0.44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 20

จากผลการทดลองพบว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีน มีความเข้มข้นของแกมมา-กลอบูลินในซีรัม มากกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารไม่เสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีน เนื่องจากกรดอะมิโนเมทไธโอนีนมีความสำคัญต่อการสังเคราะห์โปรตีนที่เป็นแอนติบอดีและ IgG ในร่างกายไก่ (Tsiagbe *et al.*, 1987a) สอดคล้องกับค่า ND Titer (HI-test) ซึ่งเป็นตัววัดการทำงานของระบบภูมิคุ้มกัน โดยแอนติบอดี (Humoral Mediated Immune Respond) ที่เพิ่มขึ้นเมื่อไก่ได้รับอาหารเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีน (ตารางที่ 18)

9. ผลต่อปริมาณกลอบูลิน และสัดส่วนของอัลบูมินต่อกลอบูลิน (A:G ratio)

กรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณกลอบูลิน และสัดส่วนของอัลบูมินต่อกลอบูลินในซีรัม ไก่ไข่อายุ 32 และ 48 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยไก่ไข่อายุ 32 สัปดาห์ มีปริมาณกลอบูลิน ในซีรัม 2.20, 2.16, 2.17 และ 2.32 กรัม/เดซิลิตร มีสัดส่วนอัลบูมินต่อกลอบูลินเท่ากับ 0.53, 0.50, 0.56 และ 0.56 และไก่ไข่อายุ 48 สัปดาห์มีปริมาณกลอบูลิน 3.81, 3.70, 3.66 และ 3.55 กรัม/เดซิลิตร มีสัดส่วนอัลบูมินต่อกลอบูลิน เท่ากับ 0.38, 0.45, 0.45 และ 0.43 ที่ระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหาร 0.28, 0.30, 0.38 และ 0.44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 20

จากผลการทดลองในช่วงแรก พบว่าการเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีน สัดส่วนของอัลบูมินต่อกลอบูลินไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากอัลบูมินและกลอบูลินมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม ในระยะยาว การเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าอัลบูมินต่อกลอบูลิน เช่นเดียวกัน แต่พบว่าสัดส่วนของอัลบูมินต่อกลอบูลินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณอัลบูมินมีแนวโน้มลดลงเมื่อได้รับอาหารไม่เสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีน แสดงให้เห็นว่าไก่ไข่กลุ่มนี้มีแนวโน้มที่จะเกิดภาวะ hypoalbuminemia

การเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารส่งผลให้ผลผลิตสูงขึ้น สมรรถภาพการผลิตโดยรวมดีขึ้น แต่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกลอบูลินและอัตราส่วนอัลบูมินต่อกลอบูลินนั้น สอดคล้องกับ Agbede and Aletor (2003) ซึ่งรายงานว่า แหล่งโปรตีนในอาหารหรือคุณภาพของอาหารนั้น ไม่มีผลต่อกลอบูลินและอัตราส่วนอัลบูมินต่อกลอบูลิน อย่างไรก็ตาม Eggum (1989) and Tewe (1985) รายงานว่าปริมาณโปรตีนทั้งหมดในซีรัม กลอบูลิน และอัลบูมินนั้นจะได้รับผลโดยตรงจากทั้งปริมาณและคุณภาพของโปรตีนที่ได้รับจากอาหาร จากผลการทดลองจึงอาจกล่าวได้ว่าระดับกรดอะมิโนในอาหาร 0.30, 0.38 และ 0.44 เปอร์เซ็นต์ เป็นระดับที่พอเพียงต่อความต้องการเพื่อเพิ่มผลผลิต และระดับเมทไธโอนีนในอาหาร 0.28 - 0.44 เปอร์เซ็นต์ เป็นระดับที่ยังไม่ส่งผลต่อความเปลี่ยนแปลงของการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันโดยแอนติบอดี (Humoral Mediated Immune Respond; HMIR) ซึ่ง Glick *et al.* (1981) รายงานว่า ไก่แสดงผลการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันโดยแอนติบอดีที่ลดลงอย่างชัดเจน เมื่อได้รับอาหารที่มีกรดอะมิโนไลซีนและเมทไธโอนีนเพียง 1 ใน 3 ส่วนของความต้องการกรดอะมิโน

ดังนั้นจากการศึกษาครั้งนี้จึงเสนอว่า เพื่อให้การศึกษาดัชนีของกรดอะมิโนเมทไธโอนีนต่อการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันและความเข้มข้นของโปรตีนในซีรัมเห็นผลอย่างชัดเจน จึงควรที่จะลดดัชนีของกรดอะมิโนจำเป็นชนิดอื่นๆ ที่อาจส่งผลต่อการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันและความเข้มข้นของโปรตีนในซีรัม โดยอาจใช้อาหารที่มีโปรตีนรวมสูงขึ้น เพื่อที่จะมั่นใจได้ว่าสัตว์จะได้รับกรดอะมิโนจำเป็นชนิดอื่นๆ ได้ครบตามความต้องการ และลดหรือเพิ่มปริมาณกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหาร ให้น้อยหรือมากกว่า 0.28 และ 0.44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 20 ผลของระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนต่อแบบของโปรตีนในซีรัม (Serum protein pattern) ของไก่ไข่อายุ 32 และ 48 สัปดาห์

	Met (%)				P-value
	0.28	0.30	0.38	0.44	
<u>อายุ 32 สัปดาห์</u>					
Albumin (g/dl)	1.14 ± 0.16	1.08 ± 0.05	1.23 ± 0.10	1.30 ± 0.10	0.481
Alpha-globulin (g/dl)	0.55 ± 0.02	0.51 ± 0.06	0.46 ± 0.07	0.60 ± 0.06	0.483
Beta-globulin (g/dl)	1.74± 0.13	1.58 ± 0.11	1.61 ± 0.08	1.63 ± 0.12	0.827
Gamma-globulin (g/dl)	0.05 ± 0.01	0.07 ± 0.03	0.05 ± 0.01	0.11 ± 0.07	0.718
Globulin (g/dl)	2.20 ± 0.40	2.16 ± 0.16	2.17 ± 0.11	2.32 ± 0.16	0.923
A:G	0.53 ± 0.26	0.50 ± 0.03	0.56 ± 0.09	0.56 ± 0.03	0.932
<u>อายุ 48 สัปดาห์</u>					
Albumin (g/dl)	1.47 ± 0.08	1.63 ± 0.12	1.60 ± 0.10	1.51 ± 0.12	0.735
Alpha-globulin (g/dl)	0.67 ± 0.04	0.85 ± 0.16	0.84 ± 0.10	0.92 ± 0.11	0.490
Beta-globulin (g/dl)	2.63 ± 0.18	2.26 ± 0.18	2.36 ± 0.22	2.20 ± 0.09	0.428
Gamma-globulin (g/dl)	0.37 ± 0.16	0.58 ± 0.11	0.45 ± 0.08	0.56 ± 0.05	0.489
Globulin (g/dl)	3.81 ± 0.28	3.70 ± 0.26	3.66 ± 0.18	3.55 ± 0.14	0.879
A:G	0.38 ± 0.01	0.45 ± 0.01	0.45 ± 0.02	0.43 ± 0.04	0.401

หมายเหตุ ทุกข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± SE

อิทธิพลของระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนต่อกระบวนการสร้าง ไขมัน และการเกิด Fatty Liver Syndrome ในไก่ไข่

ผลของระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนต่อกระบวนการสร้าง ไขมัน และการเกิด Fatty Liver Syndrome ในไก่ไข่ อายุ 32 และ 48 สัปดาห์ แสดงในตารางที่ 21 ในช่วงแรกของการทดลอง ระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารไม่ทำให้การแทรกตัวของไขมันในเนื้อเยื่อตับเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม เมื่อระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารสูงขึ้น ทำให้น้ำหนักตับ และไตรกลีเซอไรด์ในตับ (mg/g liver) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่ NEFA ในซีรัม มีแนวโน้มลดลง นอกจากนี้ยังพบว่า กลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีกรดอะมิโนเมทไธโอนีนสูงขึ้นนั้นมีน้ำหนักตับ มากกว่ากลุ่มที่มีกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในระดับต่ำอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) จึงทำให้ปริมาณไตรกลีเซอไรด์ในตับเมื่อคำนวณจากปริมาณทั้งหมดในตับสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในช่วงท้ายการทดลอง การเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ต่อน้ำหนักตัว กรดไขมันอิสระ และระดับไตรกลีเซอไรด์ในตับ ($p > 0.05$) อย่างไรก็ตามพบว่า ไก่ที่ได้รับอาหารกรดอะมิโนเมทไธโอนีนสูง น้ำหนักตัวมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่กรดไขมันอิสระในซีรัมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

จากผลการทดลองพบว่า การที่ตับมีปริมาณไตรกลีเซอไรด์สูงขึ้นเมื่อปริมาณกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับทวิสต์กี และคณะ (2546) ที่ศึกษาในไก่ไข่และรายงานว่าตับไก่มีไขมันสูงขึ้นเมื่อเพิ่มระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหาร โดยปริมาณไตรกลีเซอไรด์ในตับที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นนั้น อาจมีสาเหตุมาจาก 1) การสังเคราะห์ไตรกลีเซอไรด์ในตับสูงขึ้น 2) ตับไม่สามารถส่งไตรกลีเซอไรด์ออกนอกตับได้อย่างมีประสิทธิภาพ หรือ 3) จากทั้ง 2 สาเหตุร่วมกัน (Wagner *et al.*, 1978) แต่จากการทดลองไม่พบอาการผิดปกติของการแทรกตัวของไขมันในเนื้อเยื่อตับ หรืออาการของโรค fatty liver syndrome แสดงว่า การที่ไตรกลีเซอไรด์ในตับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับอาหารที่มีกรดอะมิโนเมทไธโอนีน สูงขึ้นนั้นไม่ได้เกิดจากการขนส่งไขมันออกจากตับบกพร่อง ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่า กรดอะมิโนเมทไธโอนีนอาจไปกระตุ้นการสังเคราะห์ไขมันให้สะสมในตับสูงขึ้น (Smith *et al.*, 1983) ซึ่งการเพิ่มขึ้นของไตรกลีเซอไรด์นั้นก็เพื่อรองรับผลผลิตไข่ที่สูงขึ้น ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับผลของโปรตีนในการทดลองที่ 1

ระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนไม่มีผลต่อการแทรกตัวของไขมันในตับ แม้กรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารจะต่ำก็ตาม แสดงให้เห็นว่าอาหารที่มีโปรตีนต่ำ (14 เปอร์เซ็นต์) และมีปริมาณ

กรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารตั้งแต่ 0.28-0.44 เปอร์เซ็นต์ ยังไม่ก่อให้เกิดปัญหา fatty liver syndrome ในไก่ไข่ที่เลี้ยงในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม (โรงเรือนระบบปิด) นอกจากนี้พบว่าเมื่อระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนในอาหารมากขึ้น ระดับ NEFA ในซีรัมมีแนวโน้มลดลง ซึ่งอาจเกิดจากให้นำพลังงานที่สะสมในรูปของไขมันร่างกายมาใช้ในการสร้างไข่น้อยลง โดยพบว่ากลุ่มที่ได้รับกรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.30 เปอร์เซ็นต์ และสูงกว่ามีประสิทธิภาพการใช้พลังงานดีขึ้น ซึ่งเป็นไปได้ว่าการเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีน เพิ่มสมดุลของกรดอะมิโนให้ดีขึ้น ทำให้มีกรดอะมิโนมากพอสำหรับการสังเคราะห์โปรตีนและเปลี่ยนเป็นพลังงาน โดยข้อสมมุติฐานในครั้งนี้อาจคล้อยตามน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น เมื่อได้รับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนจากอาหารมากขึ้น

ตารางที่ 21 ผลของระดับกรดอะมิโนเมทไธโอนีนต่อกระบวนการสร้าง ไขมัน และการเกิด Fatty Liver Syndrome ในไก่ไข่อายุ 32 และ 48 สัปดาห์

	Met (%)				P-value
	0.28	0.30	0.38	0.44	
อายุ 32 สัปดาห์					
Body weight (g)	1798 ± 30	1800 ± 15	1810 ± 11	1810 ± 20	0.90
NEFA	1210 ± 430	1197 ± 409	1183 ± 235	1124 ± 205	0.98
VLDL	ND	ND	ND	ND	-
Liver triglyceride (mg/liver)	934 ^a ± 79.88	1105 ^{ab} ± 82.19	1158 ^{ab} ± 88.64	1411 ^b ± 155.05	0.07
Liver triglyceride (mg/g liver)	32.7 ± 2.67	32.83 ± 2.44	33.34 ± 2.49	34.21 ± 3.75	0.98
Fatty degeneration*	1	0	0	1	0.23
อายุ 32 สัปดาห์					
Body weight (g)	1827 ± 24	1818 ± 15	1816 ± 27	1808 ± 18	0.94
NEFA	976 ± 104	1259 ± 250	1224 ± 262	1211 ± 159	0.79
VLDL	ND	ND	ND	ND	-
Liver triglyceride (mg/g liver)	32.15 ± 1.80	31.81 ± 1.37	34.45 ± 1.70	30.70 ± 0.93	0.33
Liver triglyceride (mg/liver)	1536 ± 76.18	1425 ± 134.85	1736 ± 137.15	1434 ± 86.23	0.20
Fatty degeneration*	-	-	-	-	-

หมายเหตุ^{a,b,c} Values within a row with different superscripts are significantly different (p<0.05) Mean ± SE

*ND – No detect

** Fatty degeneration score; 0 = normal, 1 = mild, 2 = abundant