บทที่ 5

วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

วิจารณ์ผลการทดลอง

- **การศึกษาในไก่เนื้อ** *(การทดลองที่ 1)*

สมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซาก

จากการใช้น้ำมันถั่วเหลือง หรือน้ำมันลินซีดซึ่งมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนสูง มีผลทำให้น้ำหนักตัวเพิ่ม และอัตราแลกน้ำหนักดีกว่ากลุ่มควบคุมที่ใช้น้ำมันปาล์มอย่างมีนัยสำคัญนั้น อาจมีสาเหตุเนื่องจากสัตว์สามารถใช้ประโยชน์จากอาหารได้ดีขึ้นเมื่ออาหารมีระดับของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงขึ้น (Zollitsch *et al.*, 1997)

ส่วนการที่เสริมด้วยทองแดงระดับต่ำ (125 มก./กก. อาหาร) มีแนวโน้มให้ผลดีกว่ากลุ่มควบคุมและการเสริมในระดับสูง (250 มก./กก. อาหาร) นั้น สอดคล้องกับรายงานของ Pesti and Bakalli (1996) ที่อ้างว่าการเสริมทองแดงซิเตรต (รูปอินทรีย์) ในระดับที่สูงกว่า 125 มก./กก.อาหาร (185 และ 250 มก./กก.อาหาร) ไม่ทำให้สมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อดีขึ้น นอกจากนี้กลุ่มที่เสริมระดับ 250 มก./กก.อาหาร ยังมีสมรรถภาพการผลิตด้อยกว่ากลุ่มที่เสริมระดับ 125 และ 185 มก./กก.อาหารอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่การเสริมทองแดงซิเตรต (รูปอินทรีย์) ระดับ 63 มก./กก.อาหาร เปรียบเทียบกับการเสริมทองแดงซัลเฟต (รูปอนินทรีย์) ระดับ 125 และ 250 มก./กก.อาหาร เป็นเวลา 42 วัน พบว่า การเสริมในรูปอินทรีย์ทำให้ไก่มีการเติบโตดีกว่าในรูปอนินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญ แต่มีอัตราแลกน้ำหนักและปริมาณคอเลสเตอรอลในเนื้อหน้าอกไม่แตกต่างกัน แสดงว่าทองแดงในรูปอินทรีย์มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปอนินทรีย์ และเนื่องจากทองแดงที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้อยู่ในรูปอินทรีย์ ซึ่งมีการดูดซึมได้ดีกว่า ดังนั้นจึงควรระมัดระวังความเป็นพิษจากการเสริมในระดับที่สูงกว่านี้ สำหรับการเสริมโครเมียมระดับ 200 และ400 มก./ตันอาหาร ที่ปรากฏว่าให้ผลต่างกันไม่ชัดเจน แต่ถ้าเสริมที่ระดับ 400 มก./ตันอาหาร มีผลทำให้อัตราการตายต่ำที่สุดนั้น อาจมีสาเหตุเนื่องมาจากโครเมียมช่วยให้ระบบภูมิคุ้มกันทำงานดีขึ้น โดยไปลดระดับฮอร์โมนคอร์ติโคสเตอโรน (Corticosterone) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Sahin *et al.* (2003) ที่ได้ศึกษาในไก่เนื้อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คุณภาพซาก

ไขมันในช่องท้องของไก่เนื้อมีแนวโน้มลดลงเมื่อเสริมทองแดงและโครเมียม ทั้ง 2 ระดับ โดยเฉพาะเมื่อเสริมด้วยไคโตซาน หรือใช้น้ำมันถั่วเหลืองและลินซีด มีค่าต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ (1.26, 1.22, 1.17 vs. 1.80% BW ตามลำดับ, Table 10) แสดงถึงคุณสมบัติของไคโตซานในการดูดจับไขมัน ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Deuchi *et al.* (1994) ที่ศึกษาในหนูด้วยการเสริมไคโตซานในอาหารที่มีไขมันสูง มีผลทำให้ปริมาณไขมันในมูลสูงกว่าการไม่เสริมไคโตซาน ทั้งนี้เนื่องจาก ประจุบวกของไคโตซานจะจับกับประจุลบของไขมันในอาหาร ทำให้ไขมันถูกดูดซึมได้น้อยลง จึงถูกขับออกมาพร้อมกับมูล

กรณีของโครเมียมนั้นพบว่าโครเมียมที่อยู่ในรูป trivalent ทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบหลักของ GTF ซึ่งส่งเสริมการทำงานของอินซูลินในการขนส่งกลูโคสเข้าสู่เซลล์เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ และลดการเปลี่ยนกลูโคสไปเป็นไขมัน ส่งผลให้การสะสมไขมันในร่างกายลดลง สำหรับในกรณีของไขมันทั้ง 2 ชนิดอาจเนื่องมาจากการมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสูง ส่งผลให้เอนไซม์ fatty acid synthetase ซึ่งใช้สังเคราะห์กรดไขมัน ทำงานลดลง สอดคล้องกับ Santz *et al.* (2000) ส่วนผลคุณภาพซากด้านอื่นๆ (เปอร์เซ็นต์ซาก น้ำหนักเครื่องในรวม ตื๋น ตับ เนื้อน่องไม่ถอดกระดูก และเนื้อหน้าอก) ไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่ม

เมื่อแยกพิจารณาในแต่ละเพศพบว่าไก่เพศเมียมีไขมันในช่องท้องสูงกว่าเพศผู้อย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับรายงานของ Lopez-Ferrer *et al.* (2001) ในไก่เนื้อ ที่สรุปว่าเนื่องมาจากมีอิทธิพลของฮอร์โมนเพศเมีย นอกจากนี้ไก่เพศเมียยังมีเนื้อหน้าอกสูงกว่า แต่มีเนื้อน่องต่ำกว่าไก่เพศผู้อย่างมีนัยสำคัญด้วย สอดคล้องกับรายงานของของสุชนและคณะ (2543) ที่ศึกษาในไก่ลูกผสมพื้นเมือง ซึ่งอาจเป็นผลจากลักษณะทางสรีระวิทยาของไก่เพศผู้ที่มีอัตราการเจริญเติบโตและขนาดตัวโตกว่า จึงมีสัดส่วนของน่องติดกระดูกมากกว่า ส่วนเปอร์เซ็นต์ซากและคุณภาพซากอื่น ๆ ของไก่ทั้งสองเพศไม่ต่างกัน

คอเลสเตอรอลในเลือดและเนื้อไก่

การที่ปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดและเนื้อไก่ลดลงได้เมื่อเสริมทองแดงนั้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Pesti and Bakalli (1996) ที่เสริมทองแดงซัลเฟตและซิเตรตในอาหารไก่เนื้อ มีผลทำให้คอเลสเตอรอลในเลือด และเนื้อไก่ลดลง Konjufca *et al.* (1997) ให้เหตุผลว่าเนื่องจากทองแดงไปลดระดับ Reduce glutathione (GSH) ทำให้การทำงานของเอนไซม์ HMG-COA reductase ซึ่งเป็นเอนไซม์ควบคุมอัตราเร็วในการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ส่วนการเสริมโครเมียมนั้น Sahin *et al.* (2003) พบว่าการใช้ที่ระดับ 400 มก./ตัน ในอาหารไก่เนื้อ ทำให้ปริมาณคอเลสเตอรอลและกลูโคสในซีรัมต่ำกว่า แต่มีอินซูลินในซีรัมสูงกว่ากลุ่มที่ไม่เสริมอย่างมีนัยสำคัญ แสดงถึงคุณสมบัติของโครเมียมในการช่วยให้อินซูลินทำงานดีขึ้น ด้วยเหตุที่อินซูลินทำหน้าที่ในการขนส่งน้ำตาลเข้าสู่เซลล์ จึงทำให้ลดการเปลี่ยนกลูโคสไปเป็นไขมัน ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

สำหรับการเสริมด้วยไดโตซานนั้นสอดคล้องกับรายงานของ Cynthia *et al.* (2000) ที่ศึกษาในหนู โดยพบว่ากลุ่มที่เสริมไดโตซานมีปริมาณและความเข้มข้นของคอเลสเตอรอลในตับ รวมทั้งอัตราการดูดซึมคอเลสเตอรอลเข้าสู่กระแสเลือดต่ำกว่ากลุ่มไม่เสริม แต่จะมีปริมาณไขมันและน้ำดีที่ขับออกมาในมูลมากกว่ากลุ่มไม่เสริมไดโตซานอย่างมีนัยสำคัญ ด้วยเหตุนี้เมื่อร่างกายมีการดูดกลับน้ำดีน้อยลง (มีการขับออกมากขึ้น) ร่างกายจึงต้องนำคอเลสเตอรอลมาสังเคราะห์เป็นน้ำดีขึ้นมาใหม่อยู่เสมอ จึงส่งผลให้ปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดและเนื้อลดลง

สำหรับการใช้น้ำมันถั่วเหลืองและลินซีด ทดแทนน้ำมันปาล์มแล้วปรากฏว่าช่วยให้คอเลสเตอรอลในเลือด และเนื้อไก่ลดลงอาจเนื่องจากการที่สัตว์ได้รับอาหารที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง ส่งผลให้เอนไซม์ fatty acid synthetase ซึ่งใช้สังเคราะห์กรดไขมัน ทำงานลดลง (Santz *et al.*, 2000) สอดคล้องกับ Lopez-Ferrer *et al.* (2001) ที่รายงานว่าการใช้น้ำมันลินซีด (4%) ร่วมกับไขวัว (4%) ในอาหารไก่เนื้อเป็นเวลา 38 วัน มีผลให้ปริมาณคอเลสเตอรอลในเนื้อสะโพกลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ใช้น้ำมันลินซีด (2%) ร่วมกับไขวัว (6%) และกลุ่มที่ใช้ไขวัวล้วนๆ (8%)

กรดไขมันในเนื้อและตับ

จากผลการทดลองพบว่าองค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อหน้าอก น่อง และตับของไก่เนื้อจะเปลี่ยนแปลงไปตามองค์ประกอบของกรดไขมันของไขมันที่เสริมในอาหาร สอดคล้องกับ Wood and Enser (1997) ที่รายงานว่าการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อเยื่อสะสมไขมัน (adipose tissue) และไขมันในร่างกาย (body fat) มีความสัมพันธ์กับชนิดของไขมันที่บริโภค รวมถึงการสังเคราะห์ไขมันในร่างกายโดยตับ จากการศึกษาของ Ajuyah *et al.* (1991) พบว่าองค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อเยื่อถูกควบคุมโดยปริมาณและชนิดของไขมันในอาหาร ซึ่งจะเห็นผลอย่างชัดเจนในกลุ่มที่ใช้น้ำมันถั่วเหลือง หรือลินซีดในสูตรอาหาร (มีกรดลิโนเลอิก และกรดลิโนเลนิกสูง ตามลำดับ) มีผลทำให้ปริมาณกรดลิโนเลอิกในเนื้อเยื่อทั้ง 2 ชนิด และในตับเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก ในขณะที่กลุ่มที่ใช้น้ำมันลินซีดจะมีปริมาณกรดลิโนเลนิกที่เนื้อเยื่อดังกล่าวมากที่สุดเช่นกัน เนื่องจากกรดลิโนเลอิก และกรดลิโนเลนิก เป็นกรดไขมันชนิดจำเป็นที่ร่างกายไม่สามารถ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สังเคราะห์ขึ้นเองได้ ดังนั้นปริมาณกรดไขมันทั้ง 2 ชนิด ที่พบในเนื้ออก น่อง และตับ จึงเป็นผลมาจากไขมันที่ไก่กินเข้าไป

การที่ไก่เนื้อกินอาหารที่ใช้น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันลินซีด ซึ่งมี PUFA มากมีผลทำให้เนื้อเยื่อมีปริมาณ PUFA เพิ่มขึ้น ขณะที่ปริมาณของกรดไขมันโอเลอิกจะลดลง สอดคล้องกับ Pinchasov and Nir (1992) ที่รายงานว่าการบริโภคอาหารที่มีปริมาณ PUFA สูงจะมีผลไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Δ9-desaturase ซึ่งเป็นเอนไซม์ในการสังเคราะห์กรดไขมันโอเลอิก ดังนั้นร่างกายจึงสังเคราะห์กรดโอเลอิกลดลง แต่จะถูกแทนที่ด้วย PUFA ที่ได้รับโดยตรงจากอาหาร

การที่ไก่ในกลุ่มที่ใช้น้ำมันถั่วเหลืองมีปริมาณของกรดไขมันอะราชิโดนิก (C20:4, ω-6) ในเนื้อหน้าอก น่อง และตับสูงกว่ากลุ่มที่ใช้น้ำมันชนิดอื่น ขณะที่ในกลุ่มที่ใช้น้ำมันลินซีดมีปริมาณกรดไขมัน EPA และ DHA (C20:5 และ C22:6) สูงกว่ากลุ่มอื่น ทั้งๆที่ในอาหารไม่พบกรดไขมันดังกล่าวเลย แสดงให้เห็นถึงความสามารถของไก่ในการสังเคราะห์กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนสายยาว (long chain polyunsaturated fatty acid; LC-PUFA) ขึ้นในร่างกาย โดยอาศัยกรดไขมันที่ได้รับจากอาหารเป็นสารตั้งต้น (C18:2, ω-6 ในน้ำมันถั่วเหลือง และC18:3, ω-3 ในน้ำมันลินซีด) ในการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มความไม่อิ่มตัว (desaturation) และการเพิ่มจำนวนคาร์บอน (elongation) เพื่อให้ได้อนุพันธ์ของกรดไขมันแต่ละตระกูล (Murray *et al.*, 2003)

ทองแดงในอวัยวะภายใน มูลของไก่เนื้อ และวัสดุรองพื้นคอก

เมื่อไก่ได้รับอาหารเสริมด้วยแร่ธาตุชนิดทองแดง แล้วมีผลทำให้ปริมาณทองแดงมีการสะสมเพิ่มขึ้นทั้งในทางเดินอาหาร กึ๋น และตับ เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยส่วนใหญ่ตรวจพบได้ที่ตับนั้น อาจมีสาเหตุเนื่องจากตับเป็นอวัยวะที่มีระดับทองแดงสูงเมื่อเทียบกับอวัยวะอื่นๆ (Georgievskii, 1982) และการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบการใช้ประโยชน์ได้ของทองแดงชนิดต่างๆ มักใช้ปริมาณทองแดงที่ตรวจพบในตับเป็นตัวบ่งชี้ว่ามีการดูดซึมได้ดีหรือไม่ เช่นการศึกษาในไก่เนื้อของ Ledoux *et al.* (1987), Ewing *et al.* (1998) และ Clark *et al.* (1993) ในโคนม สำหรับความเข้มข้นของทองแดงในวัสดุรองพื้นคอกและมูลที่มีสูงนั้น แสดงว่ามีทองแดงถูกขับถ่ายออกมามากขึ้นในกลุ่มที่เสริมด้วยทองแดงทั้ง 2 ระดับ สอดคล้องกับ Pesti and Bakalli (1996) ที่รายงานว่าการเสริมทองแดงในอาหารไก่เนื้อระดับ 250 มก.Cu/กก. ทำให้วัสดุรองพื้นคอกมีปริมาณทองแดงสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริม อย่างไรก็ดีอาจมีความกังวลเกี่ยวกับการนำวัสดุรองพื้นคอกไปทำเป็นปุ๋ยสำหรับพืชอาหารสัตว์ แล้วอาจเป็นอันตรายต่อสัตว์เคี้ยวเอื้องนั้น Smith *et al.* (1992) รายงานว่า การนำมูลไก่ที่มีทองแดงสูงไปใช้เป็นปุ๋ยคอก ทำให้ปริมาณทองแดงในพืชอาหารสัตว์เพิ่มขึ้นจาก 6 มก. Cu/กก.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วัตถุแห้ง เป็น 8 มก. Cu/กก. วัตถุแห้งเท่านั้น ซึ่งนับว่าน้อยมาก อาจเป็นไปได้ว่าพืชมีกลไกในการป้องกันตัวเอง อีกทั้งระดับทองแดงที่มีในพืชนี้ก็ยังไม่เป็นพิษต่อสัตว์ เพราะความต้องการทองแดงของโคนมเท่ากับ 10 มก.ทองแดง/กก. วัตถุแห้ง ส่วนโคเนื้อต้องการ 8 มก.ทองแดง/กก. วัตถุแห้ง (NRC, 2001)

จากการทดสอบการขับออกของทองแดงจากตัวไก่เนื้อ พบว่า จะใช้เวลาประมาณ 5 วัน เมื่อให้ไก่ได้รับทองแดงที่ระดับ 125 มก./กก. อาหาร แต่ถ้าให้ที่ระดับ 250 มก./กก. อาหาร จะใช้เวลา10 วัน ไก่จึงขับทองแดงออกมากับมูลในปริมาณที่ไม่ต่างจากกลุ่มควบคุม สอดคล้องกับ Chiou *et al.* (1997) ที่เสริมทองแดงรูปซัลเฟตในอาหารไก่ไข่ที่ระดับ 0, 200, 400, 600 และ800 มก.Cu/กก. อาหาร เป็นเวลา 4 สัปดาห์ แล้ววัดปริมาณทองแดงในตับ มูลไก่ และไข่ พบว่าเพิ่มขึ้นตามระดับทองแดงที่เสริม อย่างไรก็ดี เมื่อเปลี่ยนให้ไก่ทุกกลุ่มได้รับอาหารควบคุม (ไม่เสริมทองแดง) เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ปรากฏว่าปริมาณทองแดงในตับ มูลไก่ และไข่ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับสัปดาห์ที่ 4

- **การศึกษาในไก่ไข่ และนกกระทาไข่** (การทดลองที่ 2-4)

สมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่

ไก่ไข่ *(การทดลองที่ 2 และ 3)*

จากการให้ไก่ไข่กินอาหารที่มีธาตุทองแดงหรือโครเมียมรูปอนินทรีย์ เสริมในอาหารระดับ 250 มก./กก. และ200 มก./ตันอาหาร ตามลำดับ ปรากฏว่าการเสริมแร่ธาตุทั้งสองชนิดไม่มีผลทำให้สมรรถภาพการผลิต (ผลผลิตไข่ ปริมาณอาหารที่กิน อาหารที่ใช้ผลิตไข่ 1โหล) คุณภาพไข่ (น้ำหนักไข่ Haugh unit ความถ่วงจำเพาะ และความหนาเปลือกไข่) ของไก่ทั้ง 2 กลุ่มแตกต่างจากกลุ่มควบคุม ทั้งการทดลองในไก่สาวและไก่แก่ ในส่วนของการเสริมด้วยทองแดงนั้น สอดคล้องกับการศึกษาในไก่เนื้อของ Konjufca *et al.* (1997) ที่ใช้ทองแดงอย่างเดียว และ/หรือใช้ร่วมกับกระเทียมที่ระดับ 63-180 มก./กก. อาหาร ไม่พบว่ามีผลต่อการเจริญเติบโต แต่ช่วยให้อัตราแลกน้ำหนักดีขึ้นเมื่อเสริมที่ระดับ 180 มก./กก. อาหาร อย่างไรก็ดี Chiou *et al.* (1997) รายงานว่าการเสริมทองแดงซัลเฟต (รูปอนินทรีย์) ในอาหารไก่ไข่ ระดับ 200 มก./กก. ทำให้ไก่กินอาหารมากที่สุด และมีผลผลิตไข่ดีกว่ากลุ่มอื่น การเสริมในระดับสูงเกิน 400 มก./กก. ทำให้ไก่เริ่มกินอาหารได้ลดลง และที่ระดับ 600 และ 800 มก./กก. ทำให้ปริมาณอาหารที่กิน และผลผลิตไข่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม

สำหรับผลจากการเสริมด้วยโครเมียมระดับ 200 มก./ตันอาหาร พบว่าไม่มีผลช่วยให้สมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่ของไก่ไข่ทั้ง 2 การทดลองดีขึ้นนั้น สอดคล้องกับ Nakue and

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Hu (1997) ที่ใช้โครเมียมพิโคลิเนตเสริมในอาหารระดับ 200 และ 800 มก./ตันอาหาร ไม่ทำให้ผลผลิตไข่ ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และน้ำหนักตัวเพิ่มต่างจากกลุ่มควบคุม สุชน และคณะ (2547) บ่งว่า การให้ไก่ไข่กินอาหารเสริมธาตุทองแดงหรือโครเมียมในรูปอินทรีย์ระดับ 250 มก./กก. และ 200 มก./ตันอาหาร ตามลำดับ ปรากฏว่า มีผลทำให้ Haugh unit สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่มีผลทำให้สมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่ด้านอื่นๆ แตกต่างจากกลุ่มควบคุม

นกกระทาไข่ *(การทดลองที่ 4)*

การเสริมแร่ธาตุทั้ง 2 ชนิด ทำให้น้ำหนักไข่มีขนาดฟองโตขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม สอดคล้องกับรายงานของ Sahin *et al.*(2001) ที่เสริมโครเมียมพิโคลิเนต ในอาหารนกกระทาไข่ ทำให้น้ำหนักไข่เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงตามระดับโครเมียมในอาหาร นอกจากนี้ การเสริมโครเมียมยังทำให้ผลผลิตไข่ ปริมาณอาหารที่กิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ความถ่วงจำเพาะ และความหนาเปลือกไข่ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งขัดแย้งกับผลการทดลองครั้งนี้ที่พบว่าการเสริมแร่ธาตุทั้ง 2 ชนิด ไม่มีผลทำให้ค่าดังกล่าวแตกต่างจากกลุ่มควบคุม

คอเลสเตอรอลในเลือดและไข่แดง *(การทดลองที่ 2, 3 และ4)*

การที่ปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือด และในไข่แดงลดลงได้ ทั้งการทดลองในไก่ไข่และนกกระทาไข่ เมื่อเสริมด้วยแร่ธาตุทั้ง 2 ชนิดนั้น เหตุผลน่าจะเป็นไปในทำนองเดียวกับการทดลองที่ 1 คือ ทองแดงมีบทบาทในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ HMG-COA reductase และโครเมียมเกี่ยวข้องกับการกระตุ้นให้อินซูลินทำงานได้ดีขึ้น โดยเปอร์เซ็นต์ของคอเลสเตอรอลในไข่แดงที่ลดลงในไข่ไก่และไข่นกกระทาอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน (2-7 % และ5-8% ตามลำดับ) ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับการศึกษาก่อนหน้านี้โดยสุชน และคณะ (2547) อย่างไรก็ดี เมื่อเทียบกับการศึกษาในไก่เนื้อ (การทดลองที่ 1) พบว่าการใช้แร่ธาตุทั้ง 2 ชนิด สามารถช่วยลดปริมาณคอเลสเตอรอลในเนื้อไก่ได้มากกว่า ซึ่งเหตุผลน่าจะมีด้วยกันหลายประการ ประการแรกคือ รูปแบบแร่ธาตุที่ใช้เสริมในการทดลองที่ 1 เป็นรูปอินทรีย์ ซึ่งสัตว์สามารถดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้ดีกว่ารูปอนินทรีย์ (ใช้ในการทดลองที่ 2-4) ดังได้กล่าวแล้วข้างต้น ประการที่สอง อาจเกิดเนื่องจากสัตว์ปีกแต่ละชนิดมีความสามารถในการนำแร่ธาตุไปใช้ประโยชน์ได้แตกต่างกัน ดังรายงานของ Kim *et al.* (1997) ที่พบว่า การเสริมโครเมียมพิโคลิเนตระดับ 200, 400 และ 800 มก./ตันอาหาร ในไก่ไข่ ทำให้คอเลสเตอรอลในเลือดลดลงได้ 5.3, 22.3 และ 12.8% ตามลำดับ ส่วน Sahin *et al.* (2001) เสริมโครเมียมพิโคลิเนตในอาหารนกกระทาไข่ ระดับเดียวกับในไก่ไข่ พบว่าทำให้คอเลสเตอรอลลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เพียง 2.7, 5.1 และ 6.9% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการเสริมโครเมียมจะทำให้คอเลสเตอรอลในเลือดไก่ไข่ลดลงได้มากกว่าในเลือดนกกระทา

ส่วนเหตุผลประการสุดท้าย ก็มีความเกี่ยวข้องกับชนิดของสัตว์เช่นกัน กล่าวคือ ความพยายามที่จะลดปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงนั้นถูกจำกัดด้วยการควบคุมของระบบสรีระวิทยา ซึ่งมีผลต่อการให้ผลผลิตไข่และความอยู่รอดของตัวอ่อน ถ้าคอเลสเตอรอลในไข่ลดลงมากเกินไป จะทำให้ผลผลิตไข่และการฟักออกลดต่ำลง (Mark and Washburn, 1977) โดยปกติแล้วการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลในร่างกายไก่จะสูงขึ้นเมื่อถึงวัยเจริญพันธุ์ เนื่องจากการให้ผลผลิตสูงขึ้น ดังจะเห็นได้จากรายงานของ Vorlova *et al.* (2001) ที่พบว่าไข่ที่เก็บจากแม่ไก่อายุน้อยจะมีปริมาณคอเลสเตอรอลต่อไข่ 1 ฟอง ต่ำกว่าไข่จากแม่ไก่ที่มีอายุมากขึ้น ดังนั้นความพยามยามที่จะลดปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงน่าจะสามารถทำได้เพียงระดับหนึ่งเท่านั้น เนื่องจากถูกจำกัดโดยการควบคุมของระบบสรีระวิทยาที่พยายามจะรักษาสภาพการให้ผลผลิตและการพัฒนาของตัวอ่อนที่ดีไว้

ทองแดงในมูล *(การทดลองที่ 2, 3 และ4)*

สำหรับปริมาณทองแดงในมูลของของไก่ไข่ และนกกระทาไข่ เมื่อเสริมทองแดง ระดับ 250 มก./กก.อาหาร แล้วมีผลทำให้ปริมาณทองแดงในมูลเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เสริมโครเมียม ทั้งนี้อาจมีสาเหตุเนื่องจากทองแดงจะถูกขับออกจากร่างกายผ่านทางน้ำดี เข้ามาในระบบย่อยอาหาร และถูกขับออกทางอุจจาระ (Chiou *et al.*, 1997) อย่างไรก็ดีพบว่าปริมาณทองแดงที่สะสมในร่างกายเมื่อคิดเป็นร้อยละของปริมาณที่กินเข้าไป ในกลุ่มที่เสริมในรูปอินทรีย์ (การทดลองที่ 1) จะมีค่าที่สูงกว่ากลุ่มที่เสริมในรูปอนินทรีย์เล็กน้อย เนื่องจากในรูปอินทรีย์มีการดูดซึมได้ดีกว่า ตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

อย่างไรก็ดีในที่นี้ไม่ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณทองแดงในเนื้อไก่และในไข่แดง แต่จากรายงานที่ผ่านมาบ่งว่ามีการสะสมน้อยมาก ดังเช่น Pesti and Bakalli (1996) ที่ทดลองเสริมทองแดงในระดับ 250 มก./กก. ไม่ทำให้ทองแดงในเนื้ออกและน่องต่างจากกลุ่มควบคุม เมื่อเสริมเป็นเวลา 35 วัน แต่การเสริม 42 วัน ทำให้ทองแดงในเนื้อน่องสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ แต่ปริมาณที่เพิ่มขึ้นเพียง 0.12 มก./กก. เท่านั้น Chiou (1996) รายงานว่าการเสริมทองแดงรูปซัลเฟต ระดับ 200 มก./กก.อาหารในไก่ไข่ พบว่า มีการสะสมของทองแดงในไข่เพิ่มขึ้นเพียง 1.2 มก./กก. และมีการขับออกทางมูลเพิ่มขึ้น 623 มก./กก. จะเห็นได้ว่าปริมาณทองแดงที่เพิ่มขึ้นนี้นับว่าน้อยมาก เมื่อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เทียบกับทองแดงที่มนุษย์บริโภคเพื่อเป็นแร่ธาตุเสริม ซึ่งระดับที่แนะนำให้บริโภคต่อวันนั้นมีปริมาณทองแดงอยู่ 2 มก./capsule

สรุปผลการทดลอง

การลดปริมาณคอเลสเตอรอลในเนื้อไก่ สามารถทำได้โดยการเสริมทองแดงอินทรีย์ (125 และ 250 มก./กก.อาหาร) และโครเมียมอินทรีย์ (200 และ 400 มก./ตันอาหาร) หรือเสริมด้วยไคโตซาน (0.6%) หรือใช้กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนสูง (น้ำมันถั่วเหลืองและลินซีด) ในสูตรอาหาร 6% ซึ่งการเสริมสารแต่ละชนิดดังกล่าวนี้มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือด เนื้ออกและน่องลงได้ (13-27%, 11-31% และ 8-27% ตามลำดับ) รวมทั้งช่วยให้ไขมันในช่องท้องลดลง โดยไม่มีผลเสียต่อสมรรถภาพการผลิต นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้น้ำมันถั่วเหลืองช่วยให้น้ำหนักตัวเพิ่มดีขึ้น ส่วนการใช้น้ำมันลินซีดทำให้อัตราแลกน้ำหนักดีขึ้น อีกทั้งยังช่วยเพิ่มปริมาณกรดไขมัน ω-3 ในเนื้ออกและน่องให้สูงขึ้น ไม่ว่าจะเสริมเป็นเวลา 6 สัปดาห์ (ช่วงอายุไก่ 2-7 สัปดาห์) หรือเสริมในช่วงท้ายเป็นเวลา 1 สัปดาห์ (ช่วงอายุไก่ 7-8 สัปดาห์) นอกจากนี้การใช้กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนทั้ง 2 ชนิด สามารถลดต้นทุนการผลิตเนื้อไก่ได้ แต่การใช้แร่ธาตุอินทรีย์ทั้ง 2 ชนิด และไคโตซานทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นเล็กน้อย

สำหรับการลดปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่ไก่และไข่นกกระทาในฟาร์มเชิงการค้า ทำได้โดยการเสริมทองแดงอนินทรีย์ (ในรูปจุนสี) 250 มก./กก.อาหาร หรือเสริมด้วยโครเมียมอนินทรีย์ (โครเมียมพิโคลิเนต) 200 มก./ตันอาหาร ซึ่งพบว่า สามารถลดปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงของไก่และนกกระทาลงได้ 2-7% และ 5-7% ตามลำดับ โดยการเสริมด้วยทองแดงจะมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณคอเลสเตอรอลดีกว่าการเสริมโครเมียม การเสริมแร่ธาตุ 2 ชนิดดังกล่าวไม่มีผลทำให้สมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่ด้อยลง แต่การเสริมทองแดงทำให้ต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตไข่ไก่ 1 กก. ลดลง และในกรณีของนกกระทา พบว่า การเสริมแร่ธาตุทั้ง 2 ชนิดทำให้น้ำหนักไข่เพิ่มขึ้นด้วย

โดยสรุป การใช้แร่ธาตุทั้งสองชนิด หรือไคโตซาน หรือน้ำมันไม่อิ่มตัว ช่วยให้มีต้นทุนการผลิตไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุมมากนัก และยังสามารถใช้ลดระดับคอเลสเตอรอลในเนื้อและไข่สัตว์ปีกได้ โดยไม่ส่งผลเสียต่อสมรรถภาพการผลิต ในทางปฏิบัติจึงน่าจะนำทองแดง หรือโครเมียมในรูปอินทรีย์ หรืออนินทรีย์ก็ได้มาเสริมในอาหารระดับ 250 มก./กก.อาหาร และ 200

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มก./ตันอาหาร ตามลำดับ รวมทั้งไคโตซานระดับ 0.6% หรือนำน้ำมันถั่วเหลือง หรือลินซีดซึ่งอุดมไปด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนมาผสมในอาหารสัตว์ปีกในระดับ 6% ของสูตรอาหาร เพื่อลดคอเลสเตอรอล และลดต้นทุนการผลิต

ข้อเสนอแนะ

ตามที่ International Life Sciences Institute (1995) อ้างโดย Lopez Ferrer (1999) แนะนำให้มนุษย์บริโภคกรดไขมัน ω-3 ต่อวันเท่ากับ 300-400 มก./วัน และจากผลการศึกษาครั้งนี้พบว่าการใช้น้ำมันลินซีดทดแทนน้ำมันปาล์มในสูตรอาหารไก่เนื้อ (การทดลองที่ 1) มีผลทำให้ปริมาณ ω-3 ในเนื้อหน้าอกและน่องมีค่าเท่ากับ 272 และ 307 มก./100 ก. ตามลำดับ ดังนั้นจึงเท่ากับว่าถ้าผู้บริโภครับประทานเนื้ออกหรือเนื้อน่องจากการทดลองนี้วันละ 100-150 ก. (1-1.5 ขีด) ก็จะได้รับ ω-3 เพียงพอตามที่แนะนำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved