บทที่ 5

วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

วิจารณ์ผลการทดลอง

ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในกากสบู่ดำ

กากสบู่ดำ(ดิบ) มีสารฟอร์บอลเอสเทอร์สูง 1.714 มก./ก. ซึ่งให้ค่าใกล้เคียงกับที่ Aregheore *et al*. (2003) รายงานว่ากากสบู่ดำจากทวีปแอฟริกามีสารนี้ 1.78 มก./ก. การลดสารฟอร์บอลเอสเทอร์ด้วยการใช้ 90% เอทธานอล, 0.07% $NaHCO_3$ และ 4% NaOH เพียงอย่างเดียว ทั้งที่ไม่มีและมี 92% เมทธานอลเป็นตัวชะล้าง หรือใช้ร่วมกับ 10% NaOCl สามารถลดสารฟอร์บอลเอสเทอร์ได้โดยเหลือเพียง 0.224, 0.874, 0.340 0.525 และ 0.735 สอดคล้องกับ Martinez-Herrera *et al*. (2006) ที่รายงานว่าเมื่อใช้สารเคมีดังกล่าวสามารถลดสารฟอร์บอลเอสเทอร์ลงได้ 0.160, 0.950, ND, ND และ 0.13 มก./ก. ตามลำดับ และสอดคล้องกับรายงานของ Aregheore *et al*. (2003) ที่อ้างว่าเมื่อใช้ 4% NaOH เพียงอย่างเดียว ทั้งที่ไม่มีและมี 92% เมทธานอลเป็นตัวชะล้าง สามารถลดสารฟอร์บอลเอสเทอร์ได้เช่นเดียวกัน ยกเว้นเมื่อใช้ 4% NaOH ร่วมกับ 10% NaOCl สามารถลดสารฟอร์บอลเอสเทอร์ได้น้อยกว่า (คือเหลือ 0.89 มก./ก.) อย่างไรก็ดีการให้ความร้อนแบบต้มหรือนึ่ง ร่วมกับ 92% เมทธานอลเป็นตัวชะล้าง สามารถลดสารฟอร์บอลเอสเทอร์ได้เช่นเดียวกัน ทั้งนี้เพราะสารฟอร์บอลเอสเทอร์ส่วนมากจะอยู่ในส่วนของไขมัน เมื่อชะด้วยเมทธานอลจึงส่งผลให้ลดสารนี้ในกากสบู่ดำได้ลง อย่างไรก็ดี เมื่อพิจารณาจากข้อมูลในตาราง 12 แล้ว จะเห็นได้ว่า การลดสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ที่น่าสนใจมี 4 วิธี คือ 1) การต้มเป็นเวลา 40 นาที นับจากน้ำเดือดแล้วล้างด้วยเมทธานอลและน้ำ (ลดได้ 98.54%) 2) การแช่กากสบู่ดำในน้ำ แล้วนำไป autoclave เป็นเวลา 20 นาที และล้างด้วยน้ำ (ลดได้ 98.48%) 3) การแช่กากสบู่ดำใน 90% เอทธานอล เป็นเวลา 2 ชม. โดยไม่ผ่านความร้อน (ลดได้ 86.93%) และ 4) การนึ่งเป็นเวลา 40 นาที นับจากน้ำเดือดแล้วล้างด้วยเมทธานอลและน้ำ (ลดได้ 82.73%) เพราะสามารถทำให้สารฟอร์บอลเอสเทอร์เหลือในระดับต่ำกว่า 0.13 มก./ก. ซึ่งเป็นระดับสูงสุดที่ Aregheore *et al*. (2003) รายงานว่าหนูทดลองสามารถรับได้ อีกทั้งยังเป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยากด้วย จึงอาจแนะนำให้นำไปใช้ในทางปฏิบัติได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

องค์ประกอบทางเคมีของกากสบู่ดำ

กากสบู่ดำที่นำมาจากภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการทำไบโอดีเซล โดยการบีบน้ำมันออกจากเมล็ดด้วยวิธีกล จึงมีปริมาณไขมันเหลืออยู่ในกากสูงมาก ทำให้สัดส่วนโปรตีนลดลง เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับกากถั่วเหลือง จะเห็นได้ว่ากากสบู่ดำทั้งที่ไม่ผ่าน และผ่านการลดสารพิษที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีปริมาณโปรตีนต่ำกว่ากากถั่วเหลืองครึ่งหนึ่ง (26.86-27.08 vs. 49.4% DM) แต่มีไขมันสูงกว่ากากถั่วเหลืองมาก (26.78-16.55 v. 0.9% DM) จึงทำให้ได้ค่าพลังงานรวมสูงกว่ากากถั่วเหลืองมากเช่นกัน (4.86 vs. 2.23 kcal/g.) นอกจากนี้ยังพบว่า กากสบู่ดำมีเยื่อใยสูงมาก (22.73%) จึงไม่เหมาะในการนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์กระเพาะเดี่ยว ดังนั้นถ้าหากต้องการปรับปรุงให้กากสบู่ดำที่ได้จากการบีบน้ำมันออกนี้ให้มีคุณค่าทางอาหารเพิ่มขึ้น เช่นมีปริมาณโปรตีนสูงขึ้น และมีเยื่อใยลดลง ควรใช้วิธีการสกัดน้ำมันที่มีประสิทธิภาพดีกว่านี้ เช่นสกัดด้วยสารละลาย (solvent extract) รวมทั้งควรมีการกระเทาะเปลือกเมล็ดออกด้วย เพื่อทำให้ค่าเยื่อใยลดลง

การย่อยได้ของกากสบู่ดำ

การที่ค่าการย่อยได้ของโภชนะในกากสบู่ดำชนิดที่ผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีการต้มและนึ่ง โดยศึกษาด้วยวิธีการกรอกปาก มีค่าใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มว่าต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่ลดสารพิษ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของวัตถุแห้ง และโปรตีนซึ่งต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญนั้น อาจเนื่องมาจากการกรอกกากสบู่ดำทางปากใช้ระยะเวลาสั้น ให้เพียงครั้งเดียวประมาณ 30 ก./ตัว ไก่ทดลองจึงไม่ได้รับผลกระทบจากสารพิษของกากสบู่ดำ แต่อาจได้รับผลกระทบจากปริมาณเยื่อใยที่กลุ่มลดสารพิษมีค่าสูงกว่ากลุ่มไม่ลดสารพิษ โดยเยื่อใยขัดขวางการย่อยได้ของโภชนะ เมื่อนำค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง โปรตีน และไขมัน ในกากสบู่ดำทั้ง 3 ชนิดดังกล่าวข้างต้นไปเปรียบเทียบกับกากถั่วเหลือง และกากเรปซีด ในการศึกษาของวีระศักดิ์ (2543) รวมทั้งกากเรปซีด จากการศึกษาของไพฑูรย์ (2539) โดยใช้วิธีการกรอกอาหารทดลองทางปากเหมือนกัน ปรากฏว่า การย่อยได้ของวัตถุแห้ง และโปรตีนของกากสบู่ดำทั้ง 3 ชนิดมีค่าสูงกว่ากากถั่วเหลือง และกากเรปซีด คือ มีการย่อยได้ของวัตถุแห้งเท่ากับ 62-72 vs. 57 และ 40-36% ของโปรตีนเท่ากับ 73-81 vs. 67 และ 51-39% ในขณะที่การย่อยได้ของไขมันมีค่าต่ำกว่ากากถั่วเหลือง แต่สูงกว่ากากเรปซีด กล่าวคือมีค่าเท่ากับ 58-72 vs. 97% และ 46-45% ตามลำดับ

สำหรับการย่อยได้ของโภชนะในกากสบู่ดำชนิดที่ไม่ผ่าน และผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีการนึ่ง เมื่อศึกษาด้วยวิธีนำไปแทนที่ในอาหารฐานระดับต่างๆ แล้วคำนวณด้วยวิธี Different method และ Regression method ปรากฏว่า ค่าการย่อยได้จากทั้งสองวิธีมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าการย่อยได้ของโปรตีนต่ำ ในกากสบู่ดำชนิดที่ไม่ผ่าน และผ่านการลดสารพิษ ทำให้ไก่สามารถที่จะนำไปใช้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ประโยชน์ได้น้อย ส่วนการย่อยได้ของโภชนะอื่นก็มีค่าเช่นเดียวกัน ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากเยื่อใยซึ่งมีปริมาณสูงไปขัดขวางการย่อยได้ของโภชนะอื่นตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ดังจะสังเกตุเห็นได้ว่า ค่าการย่อยได้ของโภชนะต่างๆ ในสูตรอาหารลดลงตามลำดับ เมื่อมีปริมาณกากสบู่ดำแทนที่อาหารฐานมากขึ้น ประกอบกับกากสบู่ดำมีสารพิษหลายชนิด แม้ว่าในการศึกษาครั้งนี้จะสามารถลดสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ลงได้ในระดับที่น่าพอใจ แต่ก็ยังอาจมีสารพิษชนิดอื่นเหลืออยู่ในปริมาณที่สามารถขัดขวางการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ จึงทำให้มีค่าการย่อยได้ต่ำ ด้วยเหตุนี้การนำกากสบู่ดำไปใช้เป็นส่วนผสมในอาหารไก่อาจมีปัญหา เพราะไก่ไม่สามารถนำสารอาหารไปใช้ประโยชน์ได้ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของกากสบู่ดำ

จากการหาค่า AME ของกากสบู่ดำทั้งที่ไม่ผ่าน และผ่านการลดสารพิษในไก่โดยวิธีกรอกทางปาก พบว่า มีค่าสูงกว่าวิธีใช้สมการทำนาย (2.14 vs. 1.78 และ 2.15 vs. 1.97 kcal/g DM) และเมื่อคำนวณเป็นค่า TME ของกากสบู่ดำทั้ง 2 ชนิด ได้เท่ากับ 2.44 kcal/g DM ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้จากการแทนที่อาหารฐานที่ระดับ 10% และเมื่อใช้กากสบู่ดำทั้ง 2 ชนิดแทนที่อาหารฐานในระดับสูงขึ้นเป็น 20 และ 30% ค่า AME ของสูตรอาหารลดลงเหลือ 2.88 vs. 2.86 และ 3.07 vs. 2.96 kcal/g DM ตามลำดับ แสดงว่ากากสบู่ดำมี AME ต่ำกว่าอาหารฐานซึ่งอาจเนื่องมาจากมีเยื่อใยสูงจึงทำให้ย่อยได้ยาก ประกอบกับกากสบู่ดำมีสารพิษอยู่หลายชนิด ดังนั้นแม้ว่ากากสบู่ดำจะมีค่า GE ค่อนข้างสูง (5.03 vs. 4.86 kcal/g DM ตามลำดับ) แต่ไก่ก็สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อย

และเมื่อใช้สมการคาดคะเนเส้นตรง ทำนายค่า AME ของกากสบู่ดำทั้ง 2 ชนิด พบว่าได้ค่าสูงถึง 2.26 และ 2.33 kcal/g DM แสดงว่ายิ่งใช้กากสบู่ดำที่ระดับสูงไก่ยิ่งนำโภชนะในกากสบู่ดำไปใช้ได้น้อยลง ดังนั้น การนำกากสบู่ดำไปใช้ผสมในสูตรอาหารไก่จึงไม่ควรใช้ในระดับสูงนัก อย่างไรก็ดี พบว่า ค่า AME ของกากสบู่ดำที่ผ่านการลดสารพิษที่คำนวณได้จากการคาดคะเนด้วยสมการเส้นตรงในการศึกษาครั้งนี้ มีค่าใกล้เคียงกับกากทานตะวัน (1.94 kcal/g DM; วีระศักดิ์, 2543) แต่มีค่าต่ำกว่ารำละเอียด (3.28 kcal/g DM; NRC, 1994)

จากการศึกษาหาค่า ME ของเมล็ดทานตะวัน (บุญลือ และคณะ, 2534) และกากงา (สุชน และบุญล้อม, 2537) พบว่า ค่า ME ที่ได้จากการทำนายโดยใช้สมการคาดคะเนเส้นตรงจะสอดคล้องกับค่าที่ได้โดยการแทนที่อาหารฐานที่ระดับใดระดับหนึ่ง แต่จะเป็นระดับใดนั้นย่อมแล้วแต่ชนิดของวัตถุดิบที่นำมาศึกษา ซึ่งในกรณีที่ยังไม่ทราบระดับการแทนที่ที่เหมาะสมนี้ การใช้วัตถุดิบนั้นอาจทำให้คลาดเคลื่อนเมื่อนำไปคำนวณในสูตรอาหารสัตว์ อาจให้ผลผลิตที่ด้อยลงได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สำหรับการทดลองนี้ เมื่อพิจารณาข้อมูลที่ได้ในตาราง 18 พอจะสรุปในเบื้องต้นได้ว่า การใช้กากสบู่ดำในอาหารไก่ ควรใช้ต่ำกว่า 10% ดังจะเห็นได้จากการแทนที่อาหารฐานที่ระดับ 10% ทำให้ค่า AME ของอาหารทั้งสูตรลดลง ไม่ว่ากากสบู่ดำนั้นจะไม่ผ่านหรือผ่านการลดสารพิษก็ตาม

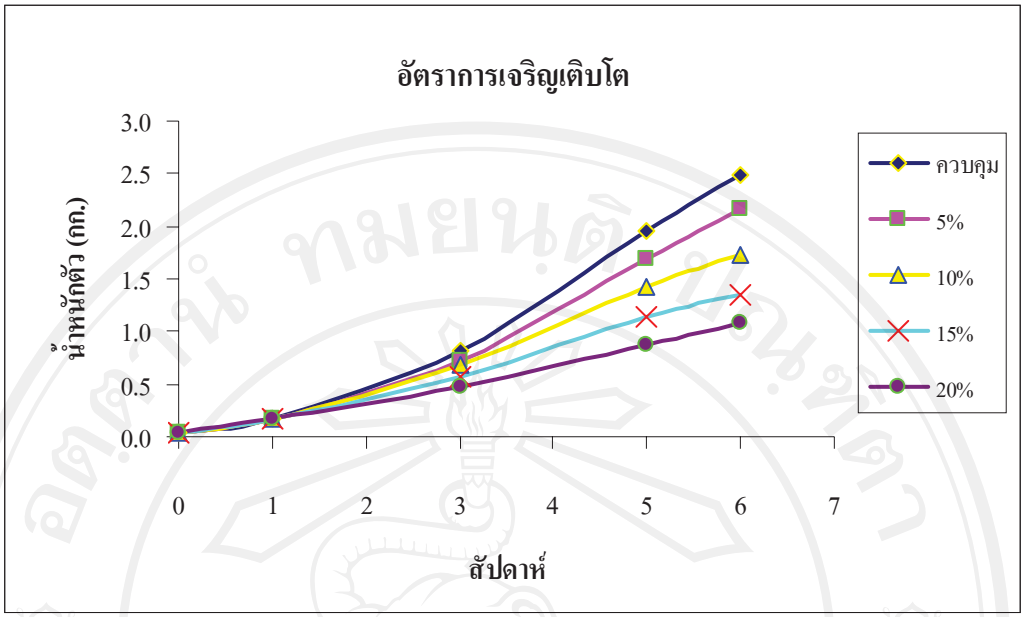
เมื่อพิจารณาค่า TME ของกากสบู่ดำที่ผ่านการลดสารพิษโดยวิธีการนึ่ง โดยศึกษาด้วยวิธีกรอกปากเปรียบเทียบกับค่าของวัตถุดิบที่เป็นแหล่งโปรตีนชนิดอื่นที่นิยมใช้ในประเทศไทย พบว่า มีค่าต่ำกว่ากากถั่วเหลือง กากมัสตาร์ด และกากงา แต่สูงกว่ากากทานตะวัน (2.11 vs. 2.24, 2.33-2.72, 3.19 และ 1.81 kcal/g AD; NRC, 1994, พิเชษฐ, 2544, สุชน และบุญล้อม, 2537, วีระศักดิ์, 2543) ดังนั้นกากสบู่ดำที่ผ่านการลดสารพิษจึงเป็นวัตถุดิบชนิดหนึ่งที่น่าสนใจ ในแง่ที่มีราคาถูก แต่มีโปรตีนและไขมันสูง รวมทั้งมีค่า TME ใกล้เคียงกับวัตถุดิบที่ใช้เป็นแหล่งพลังงานหลักในอาหารสัตว์ปัจจุบัน ดังนั้นหากนำกากสบู่ดำที่ผ่านการลดสารพิษมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนและพลังงานระดับต่ำในอาหารสัตว์ปีก อาจช่วยลดต้นทุนค่าอาหารได้ ซึ่งต้องพิจารณาจากข้อมูลที่จะกล่าวถึงในส่วนถัดไป

การใช้กากสบู่ดำเป็นอาหารไก่เนื้อ

การใช้กากสบู่ดำที่ผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีการนึ่ง เป็นแหล่งโปรตีนและพลังงานในอาหารไก่เนื้อระดับ 0, 5, 10, 15 และ 20% ในช่วงไก่อายุ 2-6 สัปดาห์ ปรากฏว่า สมรรถภาพการผลิตด้อยลงตามการเพิ่มขึ้นของระดับกากสบู่ดำในอาหาร ทั้งนี้เนื่องจากไก่กินอาหารได้น้อยลง (ตาราง 19) จึงทำให้ได้รับโภชนะต่างๆ เช่น โปรตีน เมทไธโอนีน ไลซีน และ ME น้อยลง (ตาราง 26) และเมื่อมีการนำกากสบู่ดำไปผ่านความร้อนอาจทำให้การใช้ประโยชน์ได้ของกรดอะมิโนเสียไป

การที่ไก่กินอาหารได้น้อยลงตามการเพิ่มขึ้นของระดับกากสบู่ดำในอาหารนั้น อาจเนื่องจากกากสบู่ดำมีเยื่อใยสูง จึงทำให้อาหารย่อยได้ยากขึ้นประกอบกับมีความฟ่าม สัตว์จึงกินได้น้อยลง นอกจากนี้ยังอาจเนื่องมาจากกากสบู่ดำมีกลิ่นที่ไม่ชวนกิน หรือมีปัจจัยอื่นที่ทำให้อาหารมีความน่ากินลดลง นอกจากนี้ยังพบอาการข้อขาบวมเกิดขึ้นกับตัวไก่ เนื่องมาจากสารฟอร์บอลเอสเทอร์ไปกระตุ้นการทำงานของ Cyclooxygenase 2 และ Nuclear factor-kappa B ทำให้ไก่ไม่สามารถยืนและเดินไปกินอาหารและน้ำได้ ปริมาณอาหารที่ไก่กินได้จึงลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจนเมื่อใช้กากสบู่ดำระดับสูง ส่งผลให้สมรรถภาพการผลิต และอัตราการตายเลวลงดังได้กล่าวแล้ว โดยผลเสียดังกล่าวนี้โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านปริมาณอาหารที่กิน และน้ำหนักตัวเพิ่มสามารถเห็นได้ชัดเจนตั้งแต่ไก่อายุ 2-3 สัปดาห์ คือตั้งแต่ไก่ได้รับอาหารผสมกากสบู่ดำในสัปดาห์แรก ดังจะเห็นได้จากภาพ 13 แม้ว่าอัตราแลกน้ำหนัก และอัตราการตายเมื่อใช้กากสบู่ดำระดับต่ำ (5-15%) จะเห็นผลช้ากว่านี้ก็ตาม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 13 อัตราการเจริญเติบโตของไก่เนื้อช่วงอายุ 0-6 สัปดาห์

ตาราง 26 ปริมาณโภชนะที่ไก่เนื้อได้รับเมื่อเลี้ยงด้วยอาหารที่มีกากสบู่ดำที่ผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีการนึ่งระดับต่างๆ ในช่วงอายุ 2-6 สัปดาห์

ระดับกากสบู่ดำในอาหาร (%)	โปรตีน	เมทไธโอนีน	ไลซีน	เยื่อใย	ME
	(ก.)				(Mcal)
0	790.4	17.89	44.64	161.82	13.31
5	716.3	16.21	40.45	177.94	12.06
10	568.1	12.86	32.08	166.24	9.57
15	454.1	10.28	25.64	152.72	7.65
20	376.2	8.51	21.25	142.96	6.34

สำหรับกรณีที่เมื่อใช้กากสบู่ดำในระดับสูงนั้น มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์ซากลดลง แต่สัดส่วนของเครื่องในรวมทั้งหมดเพิ่มขึ้นตามระดับการเสริมกากสบู่ดำ อาจเนื่องมาจากไก่กลุ่มที่ได้รับกากสบู่ดำมีการกินอาหารได้น้อย โดยเฉพาะการใช้ที่ระดับ 20% ดังนั้น น้ำหนักซาก เนื้ออก และเปอร์เซ็นต์ไขมันจึงน้อยตามไปด้วย สอดคล้องกับ Senkoylu andDale. (1999) ที่รายงานว่า ไขมันที่สะสมในช่องท้องมีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้กากทานตะวันที่มีเยื่อใยระดับสูง สำหรับปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ที่ตกค้างในเนื้อไก่ ปรากฏว่า มีระดับเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มกากสบู่ดำในอาหารให้สูงขึ้น ทั้งนี้

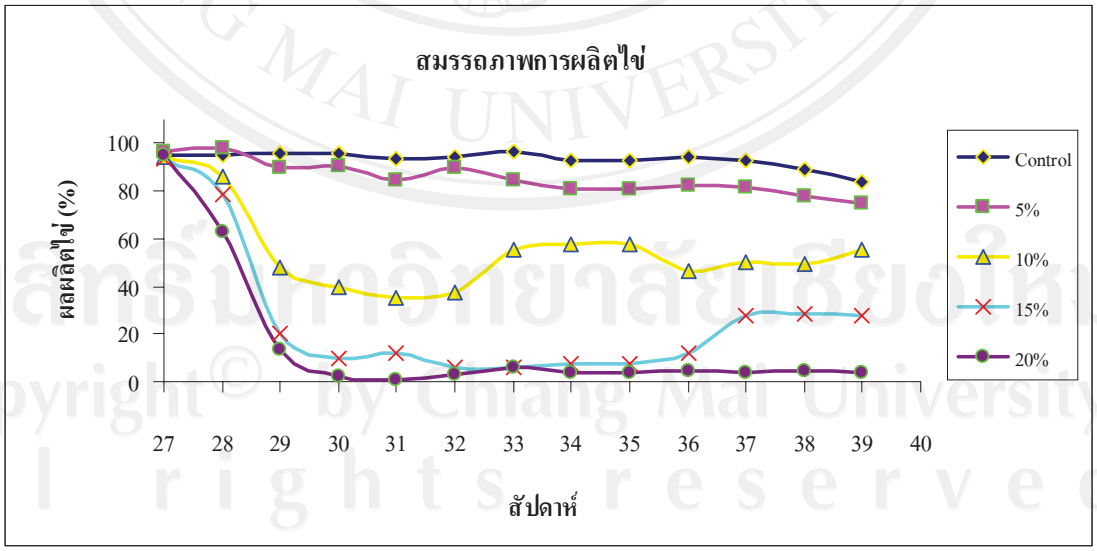
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เนื่องจากไก่ได้รับสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ดีระดับฟอร์บอลเอสเทอร์ ที่ตกค้างในเนื้อไก่ที่ได้รับกากสบู่ดำในอาหารระดับต่ำกว่า 20% นั้น นับว่าต่ำมาก (0.001-0.049 มก./ก.) ซึ่งอาจไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค เพราะมีความเข้มข้นต่ำกว่า 0.13 มก./ก. ที่ Aregheore *et al.* (2003) รายงานว่าเป็นระดับที่หนูทดลองยอมรับได้ นอกจากนี้ในการนำเนื้อไก่ไปประกอบอาหารโดยทั่วไปมักจะใช้วิธีปรุงสุก จึงอาจทำให้ปริมาณสารพิษชนิดนี้ลดลงได้อีก

การใช้กากสบู่ดำเป็นอาหารไก่ไข่

จากการที่ใช้กากสบู่ดำที่ผ่านการลดสารพิษผสมอาหารที่ระดับ 5-20% ปรากฏว่า ผลผลิตไข่ ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และน้ำหนักตัวเพิ่มลดลงตามระดับการใช้กากสบู่ดำในอาหาร ดังจะเห็นได้จากภาพ 14 เนื่องจากปริมาณอาหารที่กินลดลง จึงทำให้ไก่ได้รับโภชนะในแต่ละวันโดยเฉพาะโปรตีน กรดอะมิโนที่จำเป็น เช่นเมทไธโอนีน และไลซีน รวมทั้ง ME ลดลงอย่างชัดเจน (ตาราง 27) ซึ่งการที่ไก่กินอาหารได้น้อยลงนี้อาจเป็นผลมาจากปริมาณเยื่อใยที่เพิ่มขึ้นตามระดับการเพิ่มของกากสบู่ดำในอาหาร เนื่องจากเยื่อใยมีความสามารถในการอุ้มน้ำดีมาก จึงมีปริมาณมากในลำไส้และดูดจับกับสารอาหารอื่น เป็นผลให้สารอาหารที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้ลดน้อยลง (Schneeman, 2001)

นอกจากนี้ยังพบอาการข้อขาบวมเกิดขึ้นกับตัวแม่ไก่ เนื่องมาจากสารฟอร์บอลเอสเทอร์ไปกระตุ้นการทำงานของ Cyclooxygenase 2 และ Nuclear factor-kappa B จึงทำให้แม่ไก่ยืนกินอาหารไม่ได้ เป็นสาเหตุให้มีอัตราการตายเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับไก่เนื้อ



ภาพ 14 สมรรถภาพการผลิตไข่ของไก่ไข่ช่วงอายุ 27-39 สัปดาห์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 27 ปริมาณโภชนะที่ไก่ไข่ได้รับเมื่อเลี้ยงด้วยอาหารที่มีกากสบู่ดำที่ผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีการนึ่งระดับต่างๆ ในช่วงอายุ 28-39 สัปดาห์

ระดับกากสบู่ดำในอาหาร (%)	โปรตีน	เมทไธโอนีน	ไลซีน	เยื่อใย	ME
	(ก.)				(kcal)
0	17.39	0.42	0.96	3.75	304.33
5	15.63	0.38	0.86	4.19	273.59
10	11.32	0.28	0.62	3.63	198.04
15	7.73	0.19	0.43	2.88	135.24
20	5.47	0.13	0.30	2.32	95.79

ส่วนกรณีคะแนนของสีไข่แดง พบว่า กากสบู่ดำทำให้สีไข่แดงมีความเข้มข้นตามระดับการใช้กากสบู่ดำในอาหาร ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกากสบู่ดำมีสารสีหรือสารกระตุ้นการเพิ่มความเข้มของสีไข่แดงได้ สำหรับความหนาเปลือกไข่ที่มีค่าลดลงในกลุ่มที่เสริมกากสบู่ดำระดับ 10-20% อาจเนื่องมาจากกากสบู่ดำมีไฟเตทสูงซึ่งสามารถจับกับไอออนบวก เช่น Ca^{2+} ได้ (Peter, 1992) อีกทั้งปริมาณอาหารที่กินก็น้อยกว่ากลุ่มอื่นๆ จึงทำให้ได้รับแร่ธาตุไม่เพียงพอ นอกจากนี้สารฟอร์บอลเอสเทอร์ในกากสบู่ดำยังออกฤทธิ์กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์โปรตีนไคเนส ซี ซึ่งมีผลยับยั้งการทำงานของฮอร์โมน เอวีพี ส่งผลให้ระดับแคลเซียมลดลง จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้เปลือกไข่บางลง

สำหรับปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ที่ตกค้างในไข่ไก่ ทั้งในส่วนของไข่แดงและไข่ขาว ปรากฏว่า มีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับของกากสบู่ดำที่ใช้ในอาหาร อย่างไรก็ดีระดับดังกล่าวนับว่าต่ำมาก คือ 0.004-0.035 มก./ก. ไข่แดง และ 0.0002-0.0230 มก./ก. ของไข่ขาว ในกลุ่มที่ได้รับกากสบู่ดำ 5-20% ซึ่งค่าดังกล่าวนี้ไม่น่าจะเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในกรณีสารตกค้างในเนื้อไก่ในการทดลองไก่เนื้อ

ส่วนต้นทุนการผลิตที่พบว่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มระดับกากสบู่ดำในอาหาร ทั้งในกรณีของไก่เนื้อและไก่ไข่ แม้ว่ากากสบู่ดำจะมีราคาถูกกว่าวัตถุดิบแหล่งโปรตีนและพลังงานอื่น เช่นกากถั่วเหลือง (5.00 vs. 14.20 บาท/กก.) ก็ตาม ทำให้ความน่าสนใจในการนำกากสบู่ดำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ลดลงมาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สรุปผลการทดลอง

กากสบู่ดำ (Physic nut meal; *Jatropha curcas* meal) ซึ่งเป็นวัสดุเศษเหลือทางการเกษตรจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล เมื่อนำไปผ่านกระบวนการลดสารพิษด้วยวิธีต่างๆ ทั้ง 10 วิธีแล้วนั้น พบว่าวิธีที่สามารถลดสารฟอร์บอลเอสเทอร์ได้ถึง 82.7% คือการนึ่ง เป็นเวลา 40 นาที แล้วล้างด้วยเมทธานอลและน้ำ เป็นวิธีที่น่าสนใจ และสามารถนำไปใช้ในทางปฏิบัติได้เพราะเกษตรกรก็มักจะมีรังถึงสำหรับนึ่งอาหารในครัวเรือนอยู่แล้วอย่างไรก็ดีพบว่ายังมีอีก 3 วิธีที่สามารถลดได้มากกว่านี้คือ 1) การต้มเป็นเวลา 40 นาที นับจากน้ำเดือดแล้วล้างด้วยเมทธานอลและน้ำ (ลดได้ 98.54%) 2) การแช่กากสบู่ดำในน้ำ แล้วนำไป autoclave เป็นเวลา 20 นาที และล้างด้วยน้ำ (ลดได้ 98.48%) 3) การแช่กากสบู่ดำใน 90% เอทธานอล เป็นเวลา 2 ชม. โดยไม่ผ่านความร้อน (ลดได้ 86.93%) สำหรับองค์ประกอบทางเคมี (คิดเป็นร้อยละของวัตถุแห้ง) ของกากสบู่ดำที่ผ่านการลดสารพิษทั้ง 10 วิธี มีปริมาณแตกต่างกันไม่มากนัก กล่าวคือ มีโปรตีน 17-29% ไขมัน 13-22% เยื่อใย 21-24% และ เถ้า 5-6%

การย่อยได้* ที่แท้จริงของโภชนะส่วนใหญ่ในกากสบู่ดำที่ผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีการนึ่งมีค่าประมาณ 62-73% ยกเว้นไขมันที่ย่อยได้ต่ำเพียง 58% ส่วนพลังงานใช้ประโยชน์แบบปรากฏ และแบบแท้จริงที่ศึกษาโดยวิธีกรอกปาก มีค่าเท่ากับ 2.15 และ 2.45 kcal/g DM ตามลำดับ ในขณะที่การศึกษาโดยการแทนที่อาหารแล้วใช้สมการถดถอยทำนายมีค่าเพียง 2.26 และ 2.33 kcal/g DM ตามลำดับ

การใช้กากสบู่ดำในอาหารไก่เนื้อทุกระดับ (5-20% ของสูตรอาหาร) ทำให้สมรรถภาพการผลิต (น้ำหนักตัวเพิ่ม ปริมาณอาหารที่กิน และอัตราแลกน้ำหนัก) ด้อยกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) นอกจากนี้ยังทำให้ไก่มีอาการข้อขาบวม ไม่สามารถเดินไปกินน้ำและอาหารได้ เป็นเหตุให้อัตราการตายเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในทุกระดับของการใช้กากสบู่ดำด้วย ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากสารพิษที่มีอยู่หลายชนิด รวมทั้งความไม่น่ากินของกากสบู่ดำ ดังจะเห็นได้จากปริมาณอาหารที่กินลดลง สำหรับคุณภาพซาก พบว่ามีผลทำให้เปอร์เซ็นต์ซาก เนื้ออก และเปอร์เซ็นต์ไขมันลดลง แต่สัดส่วนของเครื่องในเพิ่มขึ้นตามระดับการเสริมกากสบู่ดำ

ในกรณีของไก่ไข่ การใช้กากสบู่ดำในอาหารทุกระดับ ส่งผลให้สมรรถภาพการผลิตไข่ (ผลผลิตไข่ ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และน้ำหนักตัว) รวมถึงผลด้านคุณภาพไข่ (น้ำหนักไข่ และความหนาเปลือกไข่) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ในทุกระดับของการใช้กากสบู่ดำ (5-20% ของสูตรอาหาร) โดยผลนี้สามารถเห็นได้ชัดตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 เมื่อไก่ได้รับอาหารผสมกากสบู่ดำ แต่สีไข่แดงมีความเข้มเพิ่มขึ้นตามระดับการเสริมกากสบู่ดำ

---

* การย่อยได้นี้เป็นแบบอนุโลม เพราะในการศึกษาไม่ได้แยกปัสสาวะออกจากมูล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ที่ตกค้างในเนื้อไก่มีจำนวน 0.001-0.189 มก./ก. ส่วนในไข่แดงและไข่ขาวมีจำนวน 0.004-0.035 และ 0.0002-0.023 มก./ก. ตามลำดับ โดยมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มระดับกากสบู่ดำในอาหาร ซึ่งปริมาณนี้อาจไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค เพราะมีค่าต่ำกว่าระดับที่มีรายงานว่าหนูทดลองสามารถทนได้ อีกทั้งการผ่านความร้อนก่อนบริโภค (ปรุงสุก) อาจช่วยทำลายสารพิษลงได้อีกระดับหนึ่ง

อย่างไรก็ดีเมื่อพิจารณาถึงต้นทุนการผลิตทั้งในกรณีของไก่เนื้อ และไก่ไข่แล้ว พบว่าการใช้กากสบู่ดำไม่ได้ช่วยลดต้นทุนค่าอาหาร แต่กลับทำให้ต้นทุนต่อหน่วยน้ำหนักของผลผลิตสูงขึ้น

จากข้อมูลทั้งหมดนี้จึงพอสรุปได้ว่า กากสบู่ดำที่เป็นผลพลอยได้จากการผลิตไบโอดีเซลขนาดเล็ก เมื่อนำมาใช้ลดสารพิษโดยการนึ่ง ร่วมกับการใช้ 92% เมทธานอลและน้ำเป็นตัวชะล้าง ยังไม่เหมาะในการนำมาใช้ในอาหารไก่เนื้อและไก่ไข่ เพราะแม้ว่าการศึกษาครั้งนี้จะสามารถลดสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ลงได้ในระดับที่น่าพอใจ แต่ยังอาจมีสารพิษชนิดอื่นเหลืออยู่ในปริมาณที่เป็นอุปสรรค รวมทั้งมีเยื่อใยสูงจึงขัดขวางการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ ด้วยเหตุนี้จึงควรมีการศึกษาวิธีลดสารฟอร์บอลเอสเทอร์ และสารพิษชนิดอื่นในกากสบู่ดำให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น รวมทั้งควรมีการเสริมกรดอะมิโน แร่ธาตุ และวิตามินชนิดต่างๆ ให้เพียงพอกับความต้องการของสัตว์ด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved