วิจารณ์ผลการทดลอง

ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในกากสบู่ดำ

กากสบู่ดำ (ดิบ) มีสารฟอร์บอลเอสเทอร์สูง ๑.๗๑๔ มก./ก. ซึ่งให้ค่าใกล้เคียงกับ Aregheore *et al.* (๒๐๐๓) ที่รายงานว่ากากสบู่ดำจากทวีปแอฟริกามีสารนี้ ๑.๗๘ มก./ก. การลดสารฟอร์บอลเอสเทอร์ด้วยการใช้ ๙๐% เอทธานอล, ๐.๐๗% $NaHCO_๓$ และ ๔% NaOH เพียงอย่างเดียว ทั้งที่ไม่มีและมี ๙๒% เมทธานอลเป็นตัวชะล้าง หรือใช้ร่วมกับ ๑๐% NaOCl สามารถลดสารฟอร์บอลเอสเทอร์ได้โดยเหลือเพียง ๐.๒๒๔, ๐.๘๗๔, ๐.๓๔๐ ๐.๕๒๕ และ ๐.๗๓๕ สอดคล้องกับ Martinez-Herrera *et al.* (๒๐๐๖) ที่รายงานว่าเมื่อใช้สารเคมีดังกล่าวสามารถลดสารฟอร์บอลเอสเทอร์ลงได้ ๐.๑๖๐, ๐.๙๕๐, ND, ND และ ๐.๑๓ มก./ก. ตามลำดับ และสอดคล้องกับรายงานของ Aregheore *et al.* (๒๐๐๓) ที่อ้างว่าเมื่อใช้ ๔% NaOH เพียงอย่างเดียว ทั้งที่ไม่มีและมี ๙๒% เมทธานอลเป็นตัวชะล้าง สามารถลดสารฟอร์บอลเอสเทอร์ได้เช่นเดียวกัน ยกเว้นเมื่อใช้ ๔% NaOH ร่วมกับ ๑๐% NaOCl สามารถลดสารฟอร์บอลเอสเทอร์ได้น้อยกว่า (คือเหลือ ๐.๘๙ มก./ก.) อย่างไรก็ดีการให้ความร้อนแบบต้มหรือนึ่ง ร่วมกับ ๙๒% เมทธานอลเป็นตัวชะล้าง สามารถลดสารฟอร์บอลเอสเทอร์ได้เช่นเดียวกัน ทั้งนี้เพราะสารฟอร์บอลเอสเทอร์ส่วนมากจะอยู่ในส่วนของไขมัน เมื่อชะด้วยเมทธานอลจึงส่งผลให้ลดสารนี้ในกากสบู่ดำลงได้ อย่างไรก็ดี เมื่อพิจารณาจากข้อมูลในตาราง ๒๐ แล้ว จะเห็นได้ว่า การลดสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ที่น่าสนใจมี ๔ วิธี คือ ๑) การต้มเป็นเวลา ๔๐ นาที นับจากน้ำเดือดแล้วล้างด้วยเมทธานอลและน้ำ (ลดได้ ๙๘.๕๔%) ๒) การแช่กากสบู่ดำในน้ำ แล้วนำไป autoclave เป็นเวลา ๒๐ นาที และล้างด้วยน้ำ (ลดได้ ๙๘.๔๘%) ๓) การแช่กากสบู่ดำใน ๙๐% เอทธานอล เป็นเวลา ๒ ชม. โดยไม่ผ่านความร้อน (ลดได้ ๘๖.๙๓%) และ ๔) การนึ่งเป็นเวลา ๔๐ นาที นับจากน้ำเดือดแล้วล้างด้วยเมทธานอลและน้ำ (ลดได้ ๘๒.๗๓%) เพราะสามารถทำให้สารฟอร์บอลเอสเทอร์เหลือในระดับต่ำกว่า ๐.๑๓ มก./ก. ซึ่งเป็นระดับสูงสุดที่ Aregheore *et al.* (๒๐๐๓) รายงานว่าหนูทดลองสามารถรับได้ อีกทั้งยังเป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยากด้วย จึงอาจแนะนำให้นำไปใช้ในทางปฏิบัติได้

ปริมาณสารยับยั้งทริซินในกากสบู่ดำ

จากการนำกากสบู่ดำทั้ง ๒ แหล่ง ไปผ่านกระบวนการต่างๆ ตามที่ระบุไว้ในตารางที่ ๕ จะเห็นได้ว่าการ autoclave จะช่วยทำลายสารยับยั้งทริปซินได้มากกว่าการให้ความร้อนด้วย

วิธีการต้มหรือนึ่ง รวมทั้งการไม่ผ่านความร้อน ยกเว้นวิธีการ autoclave ร่วมกับการนำกากสบู่ดำไปแช่ ๙๐% เอทธานอลร่วมกับ ๐.๐๗% $NaHCO_๓$ ที่ลดได้เพียง ผลได้ใกล้เคียงกับวิธี การนึ่งและการไม่นำไปผ่านความร้อน (๔๗.๔๐ vs. ๔๗.๑ และ ๔๐.๖%)ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ การให้ความร้อนอาจมีผลต่อการลดปริมาณสารยับยั้งทริปซิน สอดคล้องกับรายงานของ Martinez-Herrera *et al.* (๒๐๐๖) ที่รายงานว่า การนำกากสบู่ดำไปผ่านความร้อนด้วยไอน้ำที่ ๑๒๑ °ซ เป็นเวลา ๒๐ นาที (การ autoclave) จะช่วยลดสารยับยั้งทริปซินลงได้ทำนองเดียวกับ Ehsan (๒๐๑๑) ที่รายงานใช้ความร้อนแบบ autoclave ร่วมกับการใช้สารเคมีทั้ง ๙ วิธีสามารถลดปริมาณสารยับยั้งทริปซินจาก ๓๔.๒ มก./ก. เหลือ๐.๑-๐.๖ มก./ก. ซึ่งเท่ากับลดลงได้ ๙๘.๒๕-๙๙.๗๑% ซึ่งให้ผลเชนเดียวกับศึกษาในครั้งนี้ที่พบว่าการนำไป autoclave ร่วมกับการใช้ ๔%NaoH ช่วยลดลงได้ถึง ๙๙.๒% (จากปริมาณ ๓๙.๘๒ มก./ก. เหลือ ๒.๗๖ มก./ก.)

องค์ประกอบทางเคมีของกากสบู่ดำ

กากสบู่ดำที่นำมาจากโครงการวิจัยสบู่ดำฯ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการทำไบโอดีเซลและกากสบู่ดำจากโรงงานผลิตไบโอดีเซล จ.ชลบุรี โดยการบีบน้ำมันออกจากเมล็ดด้วยวิธีกลเหมือนกัน จะมีปริมาณไขมันเหลืออยู่ในกากค่อนข้างสูง โดยกากสบู่ดำจาก จ.ชลบุรี มีปริมาณไขมันน้อยกว่า จึงทำให้มีปริมาณโปรตีนสูงกว่า อย่างไรก็ดี กากสบู่ดำจาก ๒ แห่งข้างต้น ยังคงมีสัดส่วนโปรตีนค่อนข้างต่ำ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับกากถั่วเหลือง จะเห็นได้ว่ากากสบู่ดำทั้งที่ไม่ผ่าน และผ่านการลดสารพิษที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีปริมาณโปรตีนต่ำกว่ากากถั่วเหลืองครึ่งหนึ่ง (๒๖.๘๖-๓๑.๙๑ vs. ๔๙.๔% DM) แต่มีไขมันสูงกว่ากากถั่วเหลืองมาก (๕.๑๕-๒๖.๓๘ vs. ๐.๙% DM) จึงทำให้ได้ค่าพลังงานรวมค่อนข้างสูง นอกจากนี้ยังพบว่า กากสบู่ดำมีเยื่อใยสูงมาก (๒๑.๐-๒๗.๑%) จึงไม่เหมาะในการนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์กระเพาะเดี่ยว ดังนั้นถ้าหากต้องการปรับปรุงให้กากสบู่ดำที่ได้จากการบีบน้ำมันออกนี้ให้มีคุณค่าทางอาหารเพิ่มขึ้น เช่นมีปริมาณโปรตีนสูงขึ้น และมีเยื่อใยลดลง ควรใช้วิธีการสกัดน้ำมันที่มีประสิทธิภาพดีกว่านี้ เช่นสกัดด้วยสารละลาย (solvent extract) รวมทั้งควรมีการกระเทาะเปลือกเมล็ดออกด้วย เพื่อทำให้ค่าเยื่อใยลดลง

การย่อยได้ของกากสบู่ดำ

- **สัตว์ปีก**

การที่ค่าการย่อยได้ของโภชนะในกากสบู่ดำชนิดที่ผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีการต้มและนึ่ง โดยศึกษาด้วยวิธีการกรอกปาก มีค่าใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มว่าต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่ลดสารพิษ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของวัตถุแห้ง และโปรตีนซึ่งต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญนั้น อาจเนื่องมาจากการกรอกกากสบู่ดำทางปากใช้ระยะเวลาสั้น ให้เพียงครั้งเดียวประมาณ ๓๐ ก./ตัว ไก่ทดลองจึงไม่ได้รับผลกระทบจากสารพิษของกากสบู่ดำ แต่อาจได้รับผลกระทบจากปริมาณเยื่อใยที่กลุ่มลดสารพิษมีค่าสูงกว่ากลุ่มไม่ลดสารพิษ โดยเยื่อใยขัดขวางการย่อยได้ของโภชนะ เมื่อนำค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง โปรตีน และไขมัน ในกากสบู่ดำทั้ง ๓ ชนิดดังกล่าวข้างต้นไปเปรียบเทียบกับกากถั่วเหลือง และกาก เรปซีด ในการศึกษาของวีระศักดิ์ (๒๕๔๓) รวมทั้งกากเรปซีด จากการศึกษาของไพฑูรย์ (๒๕๓๙) โดยใช้วิธีการกรอกอาหารทดลองทางปากเหมือนกัน ปรากฏว่า การย่อยได้ของวัตถุแห้ง และโปรตีนของกากสบู่ดำทั้ง ๓ ชนิดมีค่าสูงกว่ากากถั่วเหลือง และกากเรปซีด คือ มีการย่อยได้ของวัตถุแห้งเท่ากับ ๖๒-๗๒ vs. ๕๗ และ ๔๐-๓๖% ของโปรตีนเท่ากับ ๗๓-๘๑ vs. ๖๗ และ ๕๑-๓๙% ในขณะที่การย่อยได้ของไขมันมีค่าต่ำกว่ากากถั่วเหลือง แต่สูงกว่ากากเรปซีด กล่าวคือมีค่าเท่ากับ ๕๘-๗๒ vs. ๙๗% และ ๔๖-๔๕% ตามลำดับ

สำหรับการย่อยได้ของโภชนะในกากสบู่ดำชนิดที่ไม่ผ่าน และผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีการนึ่ง เมื่อศึกษาด้วยวิธีนำไปแทนที่ในอาหารฐานระดับต่างๆ แล้วคำนวณด้วยวิธี Different method และ Regression method ปรากฏว่า ค่าการย่อยได้จากทั้งสองวิธีมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าการย่อยได้ของโปรตีนต่ำ ในกากสบู่ดำชนิดที่ไม่ผ่าน และผ่านการลดสารพิษ ทำให้ไก่สามารถที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อย ส่วนการย่อยได้ของโภชนะอื่นก็มีค่าเช่นเดียวกัน ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากเยื่อใยซึ่งมีปริมาณสูงไปขัดขวางการย่อยได้ของโภชนะอื่นตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ดังจะสังเกตุเห็นได้ว่า ค่าการย่อยได้ของโภชนะต่างๆ ในสูตรอาหารลดลงตามลำดับ เมื่อมีปริมาณกากสบู่ดำแทนที่อาหารฐานมากขึ้น ประกอบกับกากสบู่ดำมีสารพิษหลายชนิด แม้ว่าในการศึกษาครั้งนี้จะสามารถลดสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ลงได้ในระดับที่น่าพอใจ แต่ก็ยังอาจมีสารพิษชนิดอื่น เช่น สารยับยั้งทริปซิน และสารซาโปนิน เหลืออยู่ในปริมาณที่สามารถขัดขวางการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ จึงทำให้มีค่าการย่อยได้ต่ำ ด้วยเหตุนี้การนำกากสบู่ดำไปใช้เป็นส่วนผสมในอาหารไก่อาจมีปัญหา เพราะไก่ไม่สามารถนำสารอาหารไปใช้ประโยชน์ได้ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของกากสบู่ดำ

จากการหาค่า AME ของกากสบู่ดำทั้งที่ไม่ผ่าน และผ่านการลดสารพิษในไก่โดยวิธีกรอกทางปาก พบว่า มีค่าสูงกว่าวิธีใช้สมการทำนาย (๒.๑๔ vs. ๑.๗๘ และ ๒.๑๕ vs. ๑.๙๗ kcal/g DM) และเมื่อคำนวณเป็นค่า TME ของกากสบู่ดำทั้ง ๒ ชนิด ได้เท่ากับ ๒.๔๔ kcal/g DM ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้จากการแทนที่อาหารฐานที่ระดับ ๑๐% และเมื่อใช้กากสบู่ดำทั้ง ๒ ชนิดแทนที่อาหารฐานในระดับสูงขึ้นเป็น ๒๐ และ ๓๐% ค่า AME ของสูตรอาหารลดลงเหลือ ๒.๘๘ vs. ๒.๘๖ และ ๓.๐๗ vs. ๒.๙๖ kcal/g DM ตามลำดับ แสดงว่ากากสบู่ดำมี AME ต่ำกว่าอาหารฐานซึ่งอาจเนื่องมาจากมีเยื่อใยสูงจึงทำให้ย่อยได้ยาก ประกอบกับกากสบู่ดำมีสารพิษอยู่หลายชนิด ดังนั้นแม้ว่ากากสบู่ดำจะมีค่า GE ค่อนข้างสูง (๕.๐๓ vs. ๔.๘๖ kcal/g DM ตามลำดับ) แต่ไก่ก็สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อย

และเมื่อใช้สมการคาดคะเนเส้นตรง ทำนายค่า AME ของกากสบู่ดำทั้ง ๒ ชนิด พบว่าได้ค่าสูงถึง ๒.๒๖ และ ๒.๓๓ kcal/g DM แสดงว่ายิ่งใช้กากสบู่ดำที่ระดับสูงไก่ยิ่งนำโภชนะในกากสบู่ดำไปใช้ได้น้อยลง ดังนั้น การนำกากสบู่ดำไปใช้ผสมในสูตรอาหารไก่จึงไม่ควรใช้ในระดับสูงนัก อย่างไรก็ดี พบว่า ค่า AME ของกากสบู่ดำที่ผ่านการลดสารพิษที่คำนวณได้จากการคาดคะเนด้วยสมการเส้นตรงในการศึกษาครั้งนี้ มีค่าใกล้เคียงกับกากทานตะวัน (๑.๙๔ kcal/g DM; วีระศักดิ์, ๒๕๔๓) แต่มีค่าต่ำกว่ารำละเอียด (๒.๙๑ kcal/g DM; NRC, ๑๙๙๔)

จากการศึกษาหาค่า ME ของเมล็ดทานตะวัน (บุญลือ และคณะ, ๒๕๓๔) และกากงา (สุชน และบุญล้อม, ๒๕๓๗) พบว่า ค่า ME ที่ได้จากการทำนายโดยใช้สมการคาดคะเนเส้นตรงจะสอดคล้องกับค่าที่ได้โดยการแทนที่อาหารฐานที่ระดับใดระดับหนึ่ง แต่จะเป็นระดับใดนั้นย่อมแล้วแต่ชนิดของวัตถุดิบที่นำมาศึกษา ซึ่งในกรณีที่ยังไม่ทราบระดับการแทนที่ที่เหมาะสมนี้ การใช้วัตถุดิบนั้นอาจทำให้คลาดเคลื่อนเมื่อนำไปคำนวณในสูตรอาหารสัตว์ อาจให้ผลผลิตที่ด้อยลงได้

สำหรับการทดลองนี้ เมื่อพิจารณาข้อมูลที่ได้ในตาราง ๒๙ พอจะสรุปในเบื้องต้นได้ว่า การใช้กากสบู่ดำในอาหารไก่ ควรใช้ต่ำกว่า ๑๐% ดังจะเห็นได้จากการแทนที่อาหารฐานที่ระดับ ๑๐% ทำให้ค่า AME ของอาหารทั้งสูตรลดลง ไม่ว่ากากสบู่ดำนั้นจะไม่ผ่านหรือผ่านการลดสารพิษก็ตาม

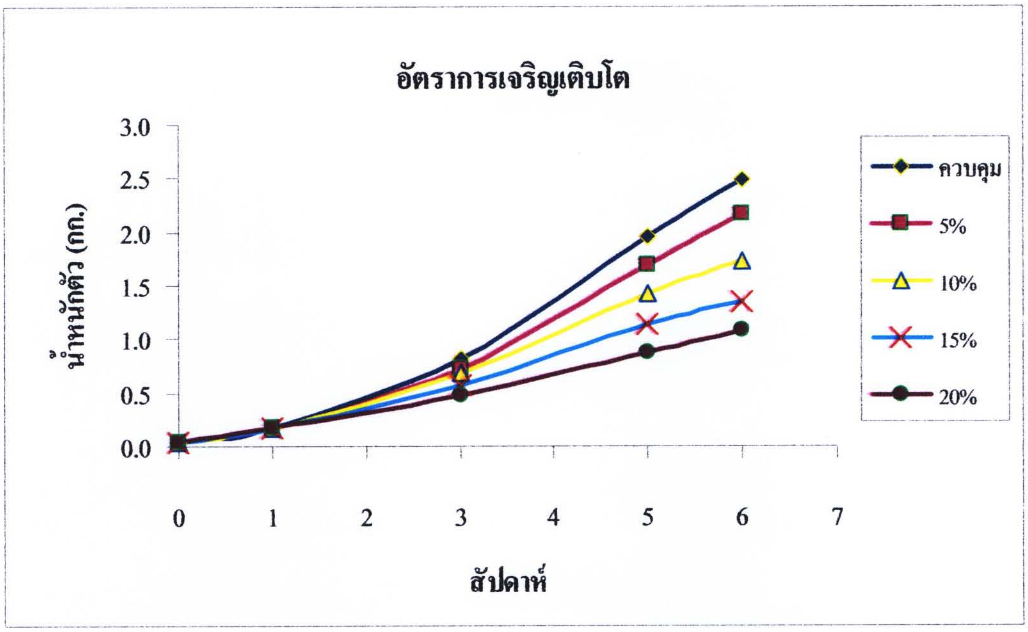
เมื่อพิจารณาค่า TME ของกากสบู่ดำที่ผ่านการลดสารพิษโดยวิธีการนึ่ง โดยศึกษาด้วยวิธีกรอกปากเปรียบเทียบกับค่าของวัตถุดิบที่เป็นแหล่งโปรตีนชนิดอื่นที่นิยมใช้ในประเทศไทย พบว่า มีค่าต่ำกว่ากากถั่วเหลือง กากมัสตาร์ด และกากงา แต่สูงกว่ากากทานตะวัน (๒.๑๑ vs. ๒.๒๔, ๒.๓๓-๒.๗๒, ๓.๑๙ และ ๑.๘๑ kcal/g AD; NRC, ๑๙๙๔, พิเชษฐ, ๒๕๔๔, สุชน และบุญล้อม, ๒๕๓๗, วีระศักดิ์, ๒๕๔๓) ดังนั้นกากสบู่ดำที่ผ่านการลดสารพิษจึงเป็นวัตถุดิบชนิด

หนึ่งที่น่าสนใจ ในแง่ที่มีราคาถูก แต่มีโปรตีนและไขมันสูง รวมทั้งมีค่า TME ใกล้เคียงกับวัตถุดิบที่ใช้เป็นแหล่งพลังงานหลักในอาหารสัตว์ปัจจุบัน ดังนั้นหากนำกากสบู่ดำที่ผ่านการลดสารพิษมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนและพลังงานระดับต่ำในอาหารสัตว์ปีก อาจช่วยลดต้นทุนค่าอาหารได้ ซึ่งต้องพิจารณาจากข้อมูลที่จะกล่าวถึงในส่วนถัดไป

การใช้กากสบู่ดำเป็นอาหารไก่เนื้อ

การใช้กากสบู่ดำที่ผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีการนึ่ง เป็นแหล่งโปรตีนและพลังงานในอาหารไก่เนื้อระดับ ๐, ๕, ๑๐, ๑๕ และ ๒๐% ในช่วงไก่อายุ ๒-๖ สัปดาห์ ปรากฏว่าสมรรถภาพการผลิตด้อยลงตามการเพิ่มขึ้นของระดับกากสบู่ดำในอาหาร ทั้งนี้เนื่องจากไก่กินอาหารได้น้อยลง (ตาราง ๓๒) จึงทำให้ได้รับโภชนะต่างๆ เช่น โปรตีน เมทไธโอนีน ไลซีน และ ME น้อยลง และเมื่อมีการนำกากสบู่ดำไปผ่านความร้อนอาจทำให้การใช้ประโยชน์ได้ของกรดอะมิโนเสียไป

การที่ไก่กินอาหารได้น้อยลงตามการเพิ่มขึ้นของระดับกากสบู่ดำในอาหารนั้น อาจเนื่องจากกากสบู่ดำมีเยื่อใยสูง จึงทำให้อาหารย่อยได้ยากขึ้นประกอบกับมีความฟ่าม สัตว์จึงกินได้น้อยลง นอกจากนี้ยังอาจเนื่องมาจากกากสบู่ดำมีกลิ่นที่ไม่ชวนกิน หรือมีปัจจัยอื่นที่ทำให้อาหารมีความน่ากินลดลง นอกจากนี้ยังพบอาการข้อขาบวมเกิดขึ้นกับตัวไก่ เนื่องมาจากสารฟอร์บอลเอสเทอร์ไปกระตุ้นการทำงานของ Cyclooxygenase ๒ และ Nuclear factor-kappa B ทำให้ไก่ไม่สามารถยืนและเดินไปกินอาหารและน้ำได้ ปริมาณอาหารที่ไก่กินได้จึงลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจนเมื่อใช้กากสบู่ดำระดับสูง ส่งผลให้สมรรถภาพการผลิต และอัตราการตายเลวลงดังได้กล่าวแล้ว โดยผลเสียดังกล่าวนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านปริมาณอาหารที่กิน และน้ำหนักตัวเพิ่มสามารถเห็นได้ชัดเจนตั้งแต่ไก่อายุ ๒-๓ สัปดาห์ คือตั้งแต่ไก่ได้รับอาหารผสมกากสบู่ดำในสัปดาห์แรก ดังจะเห็นได้จากภาพ ๑๓ แม้ว่าอัตราแลกน้ำหนัก และอัตราการตายเมื่อใช้กากสบู่ดำระดับต่ำ (๕-๑๕%) จะเห็นผลช้ากว่านี้ก็ตาม



ภาพ ๑๔ อัตราการเจริญเติบโตของไก่เนื้อช่วงอายุ ๐–๖ สัปดาห์

ตาราง ๓๘ ปริมาณโภชนะที่ไก่เนื้อได้รับเมื่อเลี้ยงด้วยอาหารที่มีกากสบู่ดำที่ผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีการนึ่งระดับต่างๆ ในช่วงอายุ ๒–๖ สัปดาห์

ระดับกากสบู่ดำในอาหาร (%)	โปรตีน	เมทไธโอนีน	ไลซีน	เยื่อใย	ME
	←	(ก.)		→	(Mcal)
๐	๓๙๐.๔	๑๗.๘๙	๔๔.๖๔	๑๖๑.๘๒	๑๓.๓๑
๕	๓๑๖.๓	๑๖.๒๑	๔๐.๔๕	๑๗๗.๙๔	๑๒.๐๖
๑๐	๕๖๘.๑	๑๒.๘๖	๓๒.๐๘	๑๖๖.๒๔	๙.๕๗
๑๕	๔๕๔.๑	๑๐.๒๘	๒๕.๖๔	๑๕๒.๗๒	๗.๖๕
๒๐	๓๗๖.๒	๘.๕๑	๒๑.๒๕	๑๔๒.๙๖	๖.๓๔

สำหรับกรณีที่เมื่อใช้กากสบู่ดำในระดับสูงนั้น มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์ซากลดลง แต่สัดส่วนของเครื่องในรวมทั้งหมดเพิ่มขึ้นตามระดับการเสริมกากสบู่ดำ อาจเนื่องมาจากไก่กลุ่มที่ได้รับกากสบู่ดำมีการกินอาหารได้น้อย โดยเฉพาะการใช้ที่ระดับ ๒๐% ดังนั้น น้ำหนักซาก เนื้ออก และเปอร์เซ็นต์ไขมันจึงน้อยตามไปด้วย สอดคล้องกับ Senkoylu andDale. (๑๙๙๙) ที่รายงานว่าไขมันที่สะสมในช่องท้องมีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้กากทานตะวันที่มีเยื่อใยระดับสูง สำหรับปริมาณ

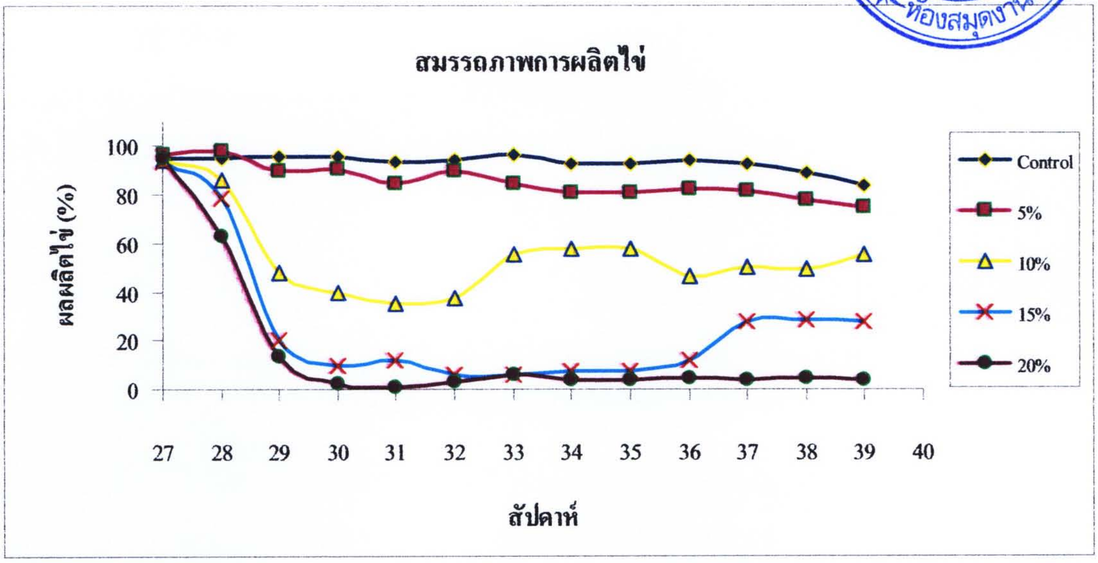
สารฟอร์บอลเอสเทอร์ที่ตกค้างในเนื้อไก่ ปรากฏว่า มีระดับเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มกากสบู่ดำในอาหารให้สูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากไก่ได้รับสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ดีระดับฟอร์บอลเอสเทอร์ที่ตกค้างในเนื้อไก่ที่ได้รับกากสบู่ดำในอาหารระดับต่ำกว่า ๒๐% นั้น นับว่าต่ำมาก (๐.๐๐๑-๐.๐๔๙ มก./ก.) ซึ่งอาจไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค เพราะมีความเข้มข้นต่ำกว่า ๐.๑๓ มก./ก. ที่ Aregheore *et al.* (๒๐๐๓) รายงานว่าเป็นระดับที่หนูทดลองยอมรับได้ นอกจากนี้ในการนำเนื้อไก่ไปประกอบอาหารโดยทั่วไปมักจะใช้วิธีปรุงสุก จึงอาจทำให้ปริมาณสารพิษชนิดนี้ลดลงได้อีก

การใช้กากสบู่ดำเป็นอาหารไก่ไข่

จากการที่ใช้กากสบู่ดำที่ผ่านการลดสารพิษผสมอาหารที่ระดับ ๕-๒๐% ปรากฏว่า ผลผลิตไข่ ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และน้ำหนักตัวเพิ่มลดลงตามระดับการใช้กากสบู่ดำในอาหาร ดังจะเห็นได้จากภาพ ๑๔ เนื่องจากปริมาณอาหารที่กินลดลง จึงทำให้ไก่ได้รับโภชนะในแต่ละวันโดยเฉพาะโปรตีน กรดอะมิโนที่จำเป็น เช่นเมทไธโอนีน และไลซีน รวมทั้ง ME ลดลงอย่างชัดเจน (ตาราง ๔๙) ซึ่งการที่ไก่กินอาหารได้น้อยลงนี้อาจเป็นผลมาจากปริมาณเยื่อใยที่เพิ่มขึ้นตามระดับการเพิ่มของกากสบู่ดำในอาหาร เนื่องจากเยื่อใยมีความสามารถในการอุ้มน้ำดีมาก จึงมีปริมาณมากในลำไส้และดูดจับกับสารอาหารอื่น เป็นผลให้สารอาหารที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้ลดน้อยลง (Schneeman, ๒๐๐๑)

นอกจากนี้ยังพบอาการข้อขาบวมเกิดขึ้นกับตัวแม่ไก่ เนื่องมาจากสารฟอร์บอลเอสเทอร์ไปกระตุ้นการทำงานของ Cyclooxygenase ๒ และ Nuclear factor-kappa B จึงทำให้แม่ไก่ยืนกินอาหารไม่ได้ เป็นสาเหตุให้มีอัตราการตายเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับไก่เนื้อ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย



ภาพ ๑๕ สมรรถภาพการผลิตไข่ของไก่ไข่ช่วงอายุ ๒๗-๓๙ สัปดาห์

ตาราง ๓๙ ปริมาณโภชนะที่ไก่ไข่ได้รับเมื่อเลี้ยงด้วยอาหารที่มีกากสบู่ดำที่ผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีการนึ่งระดับต่างๆ ในช่วงอายุ ๒๘-๓๙ สัปดาห์

ระดับกากสบู่ดำในอาหาร (%)	โปรตีน	เมทไธโอนีน	ไลซีน	เยื่อใย	ME
	←	(ก.)		→	(kcal)
๐	๑๗.๓๙	๐.๔๒	๐.๙๖	๓.๗๕	๓๐๔.๓๓
๕	๑๕.๖๓	๐.๓๘	๐.๘๖	๔.๑๙	๒๗๓.๕๙
๑๐	๑๑.๓๒	๐.๒๘	๐.๖๒	๓.๖๓	๑๙๘.๐๔
๑๕	๗.๗๓	๐.๑๙	๐.๔๓	๒.๘๘	๑๓๕.๒๔
๒๐	๕.๔๗	๐.๑๓	๐.๓๐	๒.๓๒	๙๕.๗๙

ส่วนกรณีคะแนนของสีไข่แดง พบว่า กากสบู่ดำทำให้สีไข่แดงมีความเข้มข้นตามระดับการใช้กากสบู่ดำในอาหาร ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกากสบู่ดำมีสารสีหรือสารกระตุ้นการเพิ่มความเข้มของสีไข่แดงได้ สำหรับความหนาเปลือกไข่ที่มีค่าลดลงในกลุ่มที่เสริมกากสบู่ดำระดับ ๑๐-๒๐% อาจเนื่องมาจากกากสบู่ดำมีไฟเตทสูงซึ่งสามารถจับกับไอออนบวก เช่น $Ca^{๒+}$ ได้ (Peter, ๑๙๙๒) อีกทั้งปริมาณอาหารที่กินก็น้อยกว่ากลุ่มอื่นๆ จึงทำให้ได้รับแร่ธาตุไม่เพียงพอ นอกจากนี้สารฟอร์บอลเอสเทอร์ในกากสบู่ดำยังออกฤทธิ์กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์โปรตีน

ไคเนส ซี ซึ่งมีผลยับยั้งการทำงานของฮอร์โมน เอวีพี ส่งผลให้ระดับแคลเซียมลดลง จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้เปลือกไข่บางลง

สำหรับปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ที่ตกค้างในไข่ไก่ ทั้งในส่วนของไข่แดงและไข่ขาว ปรากฏว่า มีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับของกากสบู่ดำที่ใช้ในอาหาร อย่างไรก็ดีระดับดังกล่าวนับว่าต่ำมากคือ ๐.๐๐๔-๐.๐๓๕ มก./ก. ไข่แดง และ ๐.๐๐๐๒-๐.๐๒๓๐ มก./ก. ของไข่ขาว ในกลุ่มที่ได้รับกากสบู่ดำ ๕-๒๐% ซึ่งค่าดังกล่าวนี้ไม่น่าจะเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในกรณีสารตกค้างในเนื้อไก่ในการทดลองไก่เนื้อ

ส่วนต้นทุนการผลิตที่พบว่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มระดับกากสบู่ดำในอาหาร ทั้งในกรณีของไก่เนื้อและไก่ไข่ แม้ว่ากากสบู่ดำจะมีราคาถูกกว่าวัตถุดิบแหล่งโปรตีนและพลังงานอื่น เช่นกากถั่วเหลือง (๕.๐๐ vs. ๑๔.๒๐ บาท/กก.) ก็ตาม ทำให้ความน่าสนใจในการนำกากสบู่ดำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ลดลงมาก

การใช้กากสบู่ดำในอาหารสุกร

(เนื่องจากผลการทดลองยังไม่สิ้นสุด)

ปริมาณสารพิษตกค้าง

ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในเนื้อไก่

เมื่อนำเนื้ออกที่ได้จากการชำแหละไก่เนื้อเพศผู้ที่อายุ ๖ สัปดาห์ ไปวิเคราะห์หาปริมาณฟอร์บอลเอสเทอร์ ผลแสดงไว้ในตาราง ๒๒ ปรากฏว่า เมื่อเพิ่มระดับกากสบู่ดำในอาหารสูงขึ้นจะส่งผลให้ไก่ทดลองได้รับสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย และเริ่มลดลงในกลุ่มที่ใช้กากสบู่ดำระดับสูงสุด ตลอดระยะการทดลองไก่จะได้รับสารฟอร์บอลเอสเทอร์ เท่ากับ ๐.๐๕๗, ๐.๐๙๒, ๐.๑๕๕ และ ๐.๑๑๖ มก. (๕, ๑๐, ๑๕ และ ๒๐% ตามลำดับ) จึงทำให้สารฟอร์บอลเอสเทอร์ที่ตกค้างในเนื้อหน้าอกมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามระดับการใช้กากสบู่ดำในอาหาร โดยตรวจพบ ๐.๐๐๑, ๐.๐๐๔, ๐.๐๔๙ และ ๐.๑๘๙ มก./ก. เนื้ออก เมื่อใช้กากสบู่ดำในอาหารที่ระดับ ๕, ๑๐, ๑๕ และ ๒๐% ตามลำดับ เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวไปเข้าสมการคาดคะเนแบบเส้นตรง จะได้สมการดังนี้

ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในเนื้อหน้าอก (มก./ก. เนื้ออก)

Y = -๐.๐๒๙ + ๐.๐๐๙X (r = ๐.๗๕๓ ; n =๒๐)

เมื่อ Y = ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ที่ตรวจพบในเนื้อหน้าอก (มก./ก. เนื้ออก)

X = ระดับกากสบู่ดำในอาหาร (%) r = ค่าสหสัมพันธ์

n = จำนวนข้อมูลที่ใช้คำนวณ

ตาราง ๔๐ ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ที่ตรวจพบในเนื้อหน้าอกของไก่เนื้อ เมื่อได้รับอาหารที่มีกากสบู่ดำที่ผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีการนึ่ง ร่วมกับใช้ ๙๒% เมทธานอลและน้ำเป็นตัวชะล้างในระดับต่างๆ

ระดับกากสบู่ดำในอาหาร (%)	ปริมาณฟอร์บอลเอสเทอร์			
	ไก่กิน (มก./ตัว) ช่วงอายุ			เนื้อหน้าอก (มก./ก.)
	อายุ ๒-๓	อายุ ๔-๕	อายุ ๖ สัปดาห์	
๐	๐	๐	๐	๐
๕	๐.๐๑๑	๐.๐๒๗	๐.๐๑๙	๐.๐๐๑
๑๐	๐.๐๒๐	๐.๐๔๑	๐.๐๒๗	๐.๐๐๔
๑๕	๐.๐๒๔	๐.๐๔๙	๐.๐๓๓	๐.๐๔๙
๒๐	๐.๐๒๗	๐.๐๔๙	๐.๐๔๐	๐.๑๔๙
S.E.M.	๐.๐๘๖	๐.๑๑๓	๐.๑๐๐	๐.๓๖๘

S.E.M. = Standard error of mean