ผลการทดลอง

ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในกากสบู่ดำ

- **กากสบู่ดำจากหน่วยวิจัยสบู่ดำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่**

ได้ทำการเปรียบเทียบกระบวนการลดสารพิษในกากสบู่ดำที่มีแหล่งมาจากศูนย์เรียนรู้ฯ คณะเกษตรศาสตร์ ได้ทำการศึกษา ๒ แบบ คือ ๑) แบบไม่ผ่านความร้อนซึ่งทำโดยใส่ ๙๐% เอทธานอล ลงไปในกากสบู่ดำในอัตราส่วน ๑๐:๑ (v/w) ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา ๒ ชม. แล้วล้างด้วยน้ำจนหมดกลิ่น และ ๒) แบบผ่านความร้อนทั้งชนิด autoclave นึ่ง และต้ม พร้อมทั้งใส่สารแช่ชนิดต่างๆ รวม ๑๐ วิธี ตามที่แสดงไว้ในตาราง ๕ ผลแสดงไว้ในตาราง ๑๓ปรากฏว่า การแช่กากสบู่ดำด้วย ๙๐% เอทธานอล เป็นเวลา ๒ ชม. โดยไม่ผ่านความร้อน ทำให้ปริมาณฟอร์บอลเอสเทอร์ลดลงจาก ๑.๓๑๔ มก./ก. เหลือ ๐.๒๒๔ มก./ก. เท่ากับลดลงได้ ๘๖.๙% แต่เมื่อนำไปผ่านกระบวนการต่ออีกโดยใส่ ๐.๐๓% $NaHCO_3$ และนำไป autoclave เป็นเวลา ๒๐ นาที ชะล้างด้วยน้ำ กลับทำให้สารฟอร์บอลเอสเทอร์ลดลงได้น้อยกว่าใช้ ๙๐% เอทธานอลเพียงอย่างเดียว (ลดได้ ๖๕.๒%) แต่ก็ลดลงได้มากกว่าใช้สารแช่ชนิด ๐.๐๓% $NaHCO_3$ อย่างเดียวพร้อมกับนำไป autoclave (๐.๕๙๖ vs. ๐.๘๓๔ มก./ก. หรือเท่ากับลดสารพิษได้ ๖๕.๒ vs. ๔๙.๐% ตามลำดับ) การใช้ ๔% NaOH เพียงอย่างเดียว หรือใช้ร่วมกับ ๑๐% NaOCl แช่กากสบู่ดำก่อนนำไป autoclave เป็นเวลา ๒๐ นาที ทั้งที่ไม่มีหรือมี ๙๒% เมทธานอลเป็นตัวชะล้างก่อนใช้น้ำล้างจนหมดกลิ่น ช่วยลดสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ได้ ๕๗.๑–๘๐.๒% ทั้งนี้การใช้ ๙๒% เมทธานอล เป็นตัวชะล้างร่วมกับน้ำ กลับทำให้ปริมาณสารพิษลดลงได้น้อยกว่าใช้น้ำเป็นตัวชะล้างเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ดี การไม่ใช้สารเคมี (๙๐% เอทธานอล, ๐.๐๓% $NaHCO_3$, ๔% NaOH หรือ ๑๐% NaOCl) เป็นตัวแช่กากสบู่ดำก่อนนำไปผ่านความร้อน ด้วยการต้ม หรือนึ่งเป็นเวลา ๔๐ นาที ช่วยลดสารพิษได้ ๙๘.๕ และ ๘๒.๗% ตามลำดับ ในขณะที่การใช้วิธี autoclave แบบแช่น้ำก่อนสามารถลดสารพิษได้ ๙๘.๕% แต่ถ้าไม่ได้แช่น้ำกลับลดลงได้เพียง ๖๐.๘% ทั้งๆ ที่ใช้ ๙๒% เมทธานอล และน้ำเป็นตัวชะล้างเหมือนกัน

ตาราง ๒๐ ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ที่เหลือในกากสบู่ดำชนิดไม่ผ่าน และผ่านกระบวนการลดสารพิษ

ชนิด/สารที่ใช้แช่กากสบู่ดำ	วิธีการลดสารพิษ		ฟอร์บอลเอสเทอร์	
	วิธีให้ความร้อน	การชะล้าง	(มก./ก.)	(% ที่ลดได้)
กากสบู่ดำจาก คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่				
๑) ควบคุม (ไม่ผ่านการลดสารพิษ)			๑.๗๑๔	-
ผ่านการลดสารพิษ				
๒) ๙๐% เอทธานอล	-[๑/]	น้ำ	๐.๒๒๔	๘๖.๙๓
๓) -	autoclave[๒/]	เมทธานอล + น้ำ	๐.๖๗๒	๖๐.๗๙
๔) น้ำ	autoclave[๒/]	เมทธานอล + น้ำ	๐.๐๒๖	๙๘.๔๘
๕) ๐.๐๗% $NaHCO_3$	autoclave[๒/]	น้ำ	๐.๘๗๔	๔๙.๐๑
๖) ๙๐% เอทธานอล + ๐.๐๗% $NaHCO_3$	-[๑/] + autoclave[๒/]	น้ำ	๐.๕๙๖	๖๕.๒๓
๗) ๔% NaOH	autoclave[๒/]	เมทธานอล + น้ำ	๐.๕๒๕	๖๙.๓๗
๘) ๔% NaOH	autoclave[๒/]	น้ำ	๐.๓๔๐	๘๐.๑๖
๙) ๔% NaOH + ๑๐%NaOCl	autoclave[๒/]	น้ำ	๐.๗๓๕	๕๗.๑๒
๑๐) -	ต้ม[๗/]	เมทธานอล + น้ำ	๐.๐๒๕	๙๘.๕๔
๑๑) -	นึ่ง[๗/]	เมทธานอล + น้ำ	๐.๒๙๖	๘๒.๗๓
กากสบู่ดำจาก จ.ชลบุรี				
๑. ควบคุม (ไม่ผ่านการลดสารพิษ)			๑.๔๔๔	-
ผ่านการลดสารพิษ				
๒. -	ต้ม[๑/]	-	๐.๑๓๔	๙๐.๗๒
๓. -	ต้ม[๑/]	เมทธานอล + น้ำ	๐.๑๑๘	๙๑.๘๓
๔. -	ต้ม[๑/]	น้ำปูนใส + น้ำ	๐.๐๔๙	๙๖.๖๑
๕. -	นึ่ง[๑/]	-	๐.๑๘๗	๘๗.๐๕
๖. -	นึ่ง[๑/]	เมทธานอล + น้ำ	๐.๑๔๖	๘๙.๘๙
๗. -	นึ่ง[๑/]	น้ำปูนใส + น้ำ	๐.๐๙๔	๙๓.๔๙

[๑/] ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา ๒ ชั่วโมง

[๒/] อุณหภูมิ ๑๒๑ °ซ , แรงดัน ๑๕ psi. เป็นเวลา ๒๐ นาที

[๗/] อุณหภูมิ ๑๐๐ °ซ เป็นเวลา ๔๐ นาที (นับจากน้ำเดือด)

■ กากสบู่ดำจากบริษัทที่ผลิตไบโอดีเซลในจังหวัดชลบุรี

นำมาทำการศึกษาเปรียบเทียบขบวนการลดสารพิษ ด้วยการใช้ความร้อน โดยการต้มและนึ่ง เป็นเวลา ๔๐ นาที (หลังน้ำเดือด) ปรากฏว่า ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ ลดลงจาก ๑.๔๔๔ มก./ก. ลงเหลือ ๐.๑๓๔ และ ๐.๑๘๗ มก./ก. หรือเท่ากับลดสารพิษได้ ๙๐.๗๒ และ ๘๗.๐๕% ตามลำดับ เมื่อนำเอากากสบู่ดำที่ผ่านการต้มและนึ่งมาชะล้างด้วยเมทธานอลก่อน จากนั้นล้างด้วยน้ำสะอาดจนหมดกลิ่น พบว่า ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในกากที่ผ่าน

ขบวนการดังกล่าว ลดลงเหลือ ๐.๑๑๘ และ ๐.๑๔๖ มก./ก. หรือเท่ากับลดสารพิษได้ ๙๑.๘๓ และ ๘๙.๘๙% ตามลำดับ แต่เมื่อนำกากสบู่ดำที่ผ่านการต้มและนึ่ง มาชะล้างด้วยน้ำปูนใสความเข้มข้น ๔๐ ก. ของ $Ca(OH)_2$/กก. แล้วล้างด้วยน้ำสะอาดจนหมดกลิ่น พบว่า ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ลดลงเหลือเพียง ๐.๐๔๙ และ ๐.๐๙๔ มก./ก. หรือลดลงได้เท่ากับ ๙๖.๖๑ และ ๙๓.๔๙% ตามลำดับ (ตาราง ๒๐)

ปริมาณสารยับยั้งทริปซินในกากสบู่ดำ

จากการเปรียบเทียบการลดสารพิษในกากสบู่ดำที่มาจากคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พบว่า กากสบู่ดำที่ยังไม่ผ่านการลดสารพิษ มีปริมาณสารยับยั้งทริปซินเท่ากับ ๓๙.๘๒ มก./ก. แต่เมื่อนำไปลดสารพิษด้วยกระบวนการต่างๆ ดังตารางที่ ๕ ผลแสดงไว้ในตารางที่ ๑๘ ปรากฏว่า การแช่กากสบู่ดำด้วย ๙๐% เอทานอล เป็นเวลา ๒ ชั่วโมง โดยไม่ผ่านความร้อน ทำให้ปริมาณสารยับยั้งทริปซินลดลงเหลือ ๒๓.๖๖ มก./ก. เท่ากับลดลงได้ ๔๐.๕๘% แต่เมื่อนำไปผ่านกระบวนการต่ออีกโดยใส่ ๐.๐๗% $NaHCO_3$ และนำไป autoclave เป็นเวลา ๒๐ นาที ร่วมกับการชะล้างด้วยน้ำ ทำให้สารยับยั้งทริปซินลดลงใกล้เคียงกับการใช้ ๙๐% เอทาธนอลเพียงอย่างเดียว ส่วนการนำไป autoclave ด้วยวิธีอื่นๆ ที่ไม่ใช่นำไปแช่ในสารละลายเอทธานอลทุกวิธี (แช่ในน้ำ แช่ด้วย ๔%NaOH หรือ ๐.๐๗% $NaHCO_3$ หรือไม่ต้องผ่านการแช่เลย) รวมทั้งไม่ว่าจะนำไปชะล้างด้วยสารอะไรก็ตาม ทำให้ปริมาณสารยับยั้งทริปซินลดลงเหลือ ๒.๗๖–๗.๔๙ มก./ก. หรือเท่ากับลดลงได้ ๘๑.๑๙–๙๓.๐๗% อย่างไรก็ดีการนำกากสู่ดำไปต้มหรือนึ่ง เป็นระยะเวลา ๔๐ นาที จากนั้นชะล้างด้วยเมทธานอลและน้ำ โดยไม่ผ่านการแช่ในสารละลายหรือน้ำมาก่อน จะลดสารยับยั้งทริปซินได้เพียง ๔๗.๑๐–๖๔.๕๓%

สำหรับกากสบู่ดำที่นำมาจากบริษัทที่ผลิตไบโอดีเซลแถวจังหวัดชลบุรีนั้น เมื่อนำไปผ่านกระบวนการให้ความร้อน ด้วยการต้ม เป็นเวลา ๔๐ นาที (นับจากน้ำเดือด) ไม่ว่าจะไม่มีหรือมีการชะล้างด้วยเมทธานอลกับน้ำ หรือน้ำปูนใสที่มีความเข้มข้น ๔๐ ก.ของ $Ca(OH)_2$/กก.กับน้ำก็ตาม ปรากฏว่า จะช่วยลดปริมาณสารยับยั้งทริปซินจาก ๓๙.๘๒ มก./ก. ให้ลงเหลือ ๗.๘๙–๑๓.๓๗ มก./ก. หรือเท่ากับลดลงได้ ๕๘.๓๕–๗๕.๔๓% แต่ถ้านำกากสบู่ดำชนิดนี้ไปผ่านกระบวนการนึ่งเป็นเวลา ๔๐ นาที เช่นกัน รวมทั้งไม่ว่าจะนำไปผ่านการชะล้างหรือไม่ผ่านด้วยวิธีเดียวกับการต้มจะช่วยลดสารยับยั้งทริปซินได้มากกว่าวิธีการต้มประมาณ ๑๐–๓๐% (ลดลง ๔๕.๒๒–๔๙.๒๕ vs. ๕๘.๓๕–๗๕.๔๓%, ตามลำดับ, ตาราง ๒๑)

ตาราง ๒๑ ปริมาณสารยับยั้งทริปซินที่เหลือในกากสบู่ดำชนิดไม่ผ่าน และผ่านขบวนการลดสารพิษด้วยวิธีต่างๆ

ชนิด/สารที่ใช้แช่กากสบู่ดำ	วิธีการลดสารพิษ		สารยับยั้งทริปซิน	
	วิธีให้ความร้อน	การชะล้าง	(มก./ก.)	(% ที่ลดได้)
กากสบู่ดำจาก คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่				
๑) ควบคุม (ไม่ผ่านการลดสารพิษ)			๓๙.๘๒ ± ๐.๐๗	
ผ่านการลดสารพิษ				
๒) ๙๐% เอทธานอล	-[๑/]	น้ำ	๒๓.๖๖ ± ๐.๑๗	๔๐.๕๘
๓) -	autoclave[๒/]	เมทธานอล + น้ำ	๗.๔๙ ± ๐.๑๘	๘๑.๑๙
๔) น้ำ	autoclave[๒/]	เมทธานอล + น้ำ	๔.๑๙ ± ๐.๓๗	๘๙.๔๘
๕) ๐.๐๗% $NaHCO_3$	autoclave[๒/]	น้ำ	๔.๐๗ ± ๐.๑๘	๘๙.๗๘
๖) ๙๐% เอทธานอล + ๐.๐๗% $NaHCO_3$	+ autoclave[๒/]	น้ำ	๒๐.๙๕ ± ๐.๑๑	๔๗.๔
๗) ๔% NaOH	autoclave[๒/]	เมทธานอล + น้ำ	๒.๗๖ ± ๐.๑๘	๙๓.๐๗
๘) ๔% NaOH	autoclave[๒/]	น้ำ	๕.๑๒ ± ๐.๑๘	๘๗.๑๔
๑๐) -	ต้ม[๗/]	เมทธานอล + น้ำ	๑๔.๑๓ ± ๐.๒๕	๖๔.๕๓
๑๑) -	นึ่ง[๗/]	เมทธานอล + น้ำ	๒๑.๐๗ ± ๐.๐๕	๔๗.๑๐
กากสบู่ดำจาก จ.ชลบุรี				
๑) ควบคุม (ไม่ผ่านการลดสารพิษ)			๓๒.๐๙ ± ๐.๓๐	
ผ่านการลดสารพิษ				
๒) -	ต้ม[๑/]	-	๑๓.๓๗ ± ๐.๒๒	๕๘.๓๕
๓) -	ต้ม[๑/]	เมทธานอล + น้ำ	๑๐.๖๕ ± ๐.๑๐	๖๖.๘๑
๔) -	ต้ม[๑/]	น้ำปูนใส + น้ำ	๗.๘๙ ± ๐.๓๗	๗๕.๔๓
๕) -	นึ่ง[๑/]	-	๑๗.๕๘ ± ๐.๑๐	๔๕.๒๒
๖) -	นึ่ง[๑/]	เมทธานอล + น้ำ	๑๖.๙๗ ± ๐.๑๓	๔๗.๑๓
๗) -	นึ่ง[๑/]	น้ำปูนใส + น้ำ	๑๖.๒๙ ± ๐.๐๙	๔๙.๒๕

[๑/] ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา ๒ ชั่วโมง

[๒/] อุณหภูมิ ๑๒๑ °ซ , แรงดัน ๑๕ psi. เป็นเวลา ๒๐ นาที

[๗/] อุณหภูมิ ๑๐๐ °ซ เป็นเวลา ๔๐ นาที (นับจากน้ำเดือด)

องค์ประกอบทางเคมีของกากสบู่ดำ

จากการนำกากสบู่ดำที่ไม่ผ่านและผ่านกระบวนการลดสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ทั้ง ๑๐ วิธี ตามที่แสดงไว้ในตาราง ๕ ไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี ได้ผลดังแสดงไว้ในตาราง ๒๔ ปรากฏว่า มีปริมาณวัตถุแห้ง เท่ากับ ๙๒.๓๕ และ ๙๒.๕๗% ตามลำดับ ส่วนโภชนะอื่นๆ มีค่าใกล้เคียงกัน ยกเว้นไขมัน ซึ่งพบว่า เมื่อนำกากสบู่ดำไปผ่านขบวนการลดสารพิษจะทำให้มีปริมาณไขมันลดลงเกือบครึ่ง (๑๖.๕๕ vs. ๒๖.๗๘% DM) ค่าพลังงานรวมก็ลดลงตามไปด้วย ทั้งนี้อาจเนื่องจากในกระบวนการลดสารพิษมีการใช้ความร้อน และ/หรือสารเคมีที่ละลายไขมันได้ เมื่อนำค่าดังกล่าวไปเปรียบเทียบกับกากถั่วเหลือง พบว่า มีปริมาณโปรตีนต่ำกว่ากากถั่วเหลืองครึ่งหนึ่ง (๒๖.๘๖–๒๗.๐๘ vs. ๔๙.๔% DM) ในขณะที่มีปริมาณไขมันและเยื่อใยสูงกว่าหลายเท่า (๑๖.๕๕–๒๖.๗๘ vs. ๐.๙๐% DM และ ๒๑.๐๐–๒๒.๗๓ vs. ๗.๙๐% DM, ตามลำดับ)

สำหรับกากสบู่ดำที่มาจากชลบุรี (บริษัทผลิตไบโอดีเซล) ทั้งชนิดที่ไม่ผ่านและผ่านกระบวนการลดสารพิษ นำมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี ปรากฏว่า มีปริมาณวัตถุแห้งเท่ากับ ๘๙.๔ และ ๘๗.๔% ตามลำดับ ปริมาณโปรตีนของกากสบู่ดำที่ผ่านกระบวนการลดสารพิษมีค่าลดลงเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ดี กากสบู่ดำที่มาจากชลบุรี จะมีปริมาณโปรตีนสูงกว่ากากสบู่ดำจากคณะเกษตรศาสตร์เล็กน้อยประมาณ ๕% ในขณะที่มีไขมันต่ำกว่าค่อนข้างมาก (๒–๓ เท่า) ปริมาณไขมันและเยื่อใยของกากสบู่ดำทั้ง ๒ ชนิดดังกล่าว มีค่าสูงกว่ากากถั่วเหลืองอย่างมาก กล่าวคือ มีค่าเยื่อใยเท่ากับ ๒๒.๒, ๒๗.๑๑ vs. ๗.๙๐ %DM, ไขมันเท่ากับ ๙.๕๑ ,๕.๑๕ vs. ๐.๙๐ %DM ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบค่าองค์ประกอบทางเคมีที่ศึกษาในครั้งแรก ปรากฏว่า กากสบู่ดำที่ทำการลดสารพิษโดยวิธีการต้ม แล้วชะล้างด้วยน้ำปูนใสซึ่งศึกษาใน ๒๕๕๔ นี้ มีปริมาณโปรตีนและเยื่อใยต่ำกว่าการลดสารพิษทั้ง ๑๐ วิธี (ศึกษาในปี ๒๕๕๓) กล่าวคือ มีค่าเท่ากับ ๒๖.๓๔ vs. ๒๙.๖๑% DM และ ๒๒.๒๕ vs. ๒๗.๑๑% DM ด้านปริมาณไขมันการลดสารพิษในปีที่ ๒ มีปริมาณไขมันต่ำกว่าในการลดสารพิษในปีที่ ๒๕๕๓ ค่อนข้างมาก (๕.๑๕ vs. ๑๘.๒% DM) ส่วนปริมาณเถ้าและพลังงานรวมมีค่าใกล้เคียงกัน (ตาราง ๒๒)

ตาราง ๒๒ องค์ประกอบทางโภชนะ(% DM)ของกากสบู่ดำที่ไม่ผ่าน และผ่านกระบวนการลดสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ เทียบกับกากถั่วเหลือง

	ชนิดกากสบู่ดำ[๑/]				กากถั่วเหลือง (NRC, ๑๙๙๔)
	แหล่งที่มา : ศูนย์วิจัยฯ[๔/]		แหล่งที่มา : จังหวัดชลบุรี		
	ไม่ผ่านการลดสารพิษ	ผ่านการลดสารพิษ[๒/]	ไม่ผ่านการลดสารพิษ	ผ่านการลดสารพิษ[๓/]	
วัตถุแห้ง (%)	๙๒.๓๕	๙๒.๕๗±๐.๑๓๓	๘๙.๔๐	๘๗.๔๐	๘๙.๐๐
โปรตีน	๒๖.๘๖	๒๖.๓๔±๐.๖๖๔	๓๑.๙๑	๒๙.๖๑	๔๙.๔๐
ไขมัน	๒๖.๗๘	๑๘.๒๐±๐.๙๖๒	๙.๕๑	๕.๑๕	๐.๙๐
เยื่อใย	๒๑.๐๐	๒๒.๒๕±๐.๒๔๑	๒๒.๒๐	๒๗.๑๑	๗.๙๐
เถ้า	๖.๑๕	๕.๑๗±๐.๒๑๐	๗.๗๐	๕.๑๕	–
NFE	๑๙.๒๑	๒๘.๐๔±๐.๙๕๑	๒๘.๖๘	๓๑.๓๘	–
อินทรียวัตถุ	๙๓.๘๕	๙๔.๘๓±๐.๐๔๙	๙๒.๓๐	๙๓.๒๕	–
พลังงานรวม (kcal/g.)	๕.๐๓	๔.๙๐±๐.๐๙๐	๔.๔๕	๔.๓๔	–

[๑/] วิเคราะห์โดยห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวศาสตร์และสัตว์น้ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[๒/] ข้อมูลเฉลี่ยจาก ๑๐ วิธี ส่วนผลข้อมูลในแต่ละวิธีดูรายละเอียด ได้ในตารางภาคผนวก ข.๑

[๓/] ต้มที่อุณหภูมิ ๑๐๐ °ซ เป็นเวลา ๔๐ นาที (นับจากน้ำเดือด) ชะด้วยน้ำปูนใส และล้างด้วยน้ำสะอาด

[๔/] ศูนย์วิจัยกากสบู่ดำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

การย่อยได้ของกากสบู่ดำ แบ่งเป็น ๒ การทดลองดังนี้

๑. การศึกษาในสัตว์ปีก

๑.๑ วิธีกรอกกากสบู่ดำทางปาก

การย่อยได้ของโภชนะต่างๆ ของกากสบู่ดำที่ไม่ผ่าน และผ่านการลดสารพิษโดยเลือกวิธีการต้มและวิธีการนึ่ง แล้วล้างด้วย ๙๒% เมทธานอลและน้ำ เมื่อนำมากรอกเข้าทางปากไก่ไข่เพศผู้ตัวละ ๓๐ ก./เพียงครั้งเดียว ผลปรากฏว่า การย่อยได้ที่แท้จริงของโปรตีน และอินทรียวัตถุของกลุ่มที่ผ่านการลดสารพิษทั้งสองวิธี มีค่าใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่ผ่านการลดสารพิษ กล่าวคือ มีค่าเท่ากับ ๗๙.๙๓ และ ๗๓.๔๒ vs. ๘๐.๗๖% และ ๖๘.๖๙ และ ๖๕.๙๙ vs. ๗๒.๑๕% ตามลำดับ ในขณะที่การย่อยได้ของวัตถุแห้ง และไขมันในกลุ่มที่ลดสารพิษ มีค่าต่ำกว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่ลดสารพิษอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) กล่าวคือ มีค่าเท่ากับ ๖๕.๓๗ และ ๖๒.๓๖ vs. ๗๑.๘๖% และ ๖๐.๗๕ และ ๕๗.๖๕ vs. ๗๑.๕๔% ตามลำดับ (ตาราง ๒๓)

ตาราง ๒๓ การย่อยได้* ของกากสบู่ดำที่ไม่ผ่าน และผ่านการลดสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ ด้วยวิธีการต้ม หรือนึ่งร่วมกับการใช้ ๙๒% เมทธานอลและน้ำเป็นตัวชะล้าง เมื่อศึกษาด้วยวิธีกรอกทางปาก (ค่าเฉลี่ย ± S.D.)

การย่อยได้ที่แท้จริง (%)	ชนิดของกากสบู่ดำ		
	ควบคุม (ดิบ)	ต้ม[จ]	นึ่ง[จ]
วัตถุแห้ง	๗๑.๘๖ ± ๔.๗๒[ก]	๖๕.๓๗ ± ๕.๗๖	๖๒.๗๖ ± ๕.๒๗[ข]
โปรตีน	๘๐.๗๖ ± ๗.๕๓	๗๙.๙๓ ± ๙.๙๙	๗๓.๔๒ ± ๙.๑๖
ไขมัน	๗๑.๕๔ ± ๗.๘๑[ก]	๖๐.๗๕ ± ๗.๘๐	๕๗.๖๕ ± ๘.๐๙[ข]
อินทรียวัตถุ	๗๒.๑๕ ± ๕.๐๖	๖๘.๖๙ ± ๔.๕๖	๖๕.๙๙ ± ๕.๐๘

* การย่อยได้นี้เป็นแบบอนุโลม เพราะในการศึกษาไม่ได้แยกปัสสาวะออกจากมูล

[ก ข] ค่าเฉลี่ยในแต่ละแถวที่มีอักษรกำกับไม่เหมือนกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<๐.๐๕)

[จ] อุณหภูมิ ๑๐๐ ºซ นับจากน้ำเดือด เป็นเวลา ๔๐ นาที

S.D. = Standard deviation

๑.๒ วิธีใช้กากสบู่ดำแทนที่อาหารฐาน

จากการใช้กากสบู่ดำทั้งที่ไม่ผ่าน และผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีการนึ่ง แล้วชะล้างด้วย ๙๒% เมทธานอลและน้ำ เมื่อนำไปแทนที่ในอาหารฐานระดับต่างๆ (๐, ๑๐, ๒๐ และ ๓๐%) เพื่อศึกษาการย่อยได้ของโภชนะต่างๆ ผลแสดงไว้ในตาราง ๒๔ ปรากฏว่า การย่อยได้ของโภชนะในกากสบู่ดำทั้ง ๒ ชนิด ลดลงตามการเพิ่มระดับกากสบู่ดำในอาหาร ในขณะที่การย่อยได้ของไขมันเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกากสบู่ดำมีเยื่อใยสูง จึงทำให้อาหารทดลองมีเยื่อใยสูงขึ้นตามระดับกากสบู่ดำในอาหาร ดังจะเห็นได้จากการย่อยได้ของเยื่อใยในสูตรอาหารฐาน (๔.๘๕% CF, ตาราง ๖) ที่ย่อยได้เพียง ๕๖.๔๗% ในขณะที่สูตรอาหารที่มีกากสบู่ดำทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการลดสารพิษแทนที่อาหารฐานระดับ ๓๐% (๙.๔๐% CF) ย่อยได้เพียง ๒๑.๓๕ และ ๒๓.๕๙% ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบชนิดของกากสบู่ดำจากการให้กากสบู่ดำแทนที่อาหารฐานทุกระดับ พบว่า พบว่า กากสบู่ดำที่ไม่ผ่านการลดสารพิษมีค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง และอินทรียวัตถุดีกว่า ในขณะที่การย่อยได้ของไขมัน และ NFE ต่ำกว่ากากสบู่ดำที่ผ่านการลดสารพิษโดยการนึ่งอย่างมีนัยสำคัญ (P<๐.๐๕; ๗๐.๖๖ vs. ๖๖.๗๑, ๖๘.๑๙ vs. ๖๓.๖๘, ๘๑.๓๗ vs. ๘๖.๕๔ และ ๖๓.๐๔ vs. ๖๖.๗๙ ตามลำดับ) ส่วนการย่อยได้ของโปรตีนและเยื่อใยในกากสบู่

ดำทั้ง ๒ ชนิดไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบสหสัมพันธ์ (interaction) ระหว่างชนิดกับระดับของกากสบู่ดำในกรณีการย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ ไขมัน และ NFE ด้วย

ตาราง ๒๔ การย่อยได้* ของโภชนะในสูตรอาหารทดลองที่ใช้กากสบู่ดำแทนที่อาหารฐานระดับต่างๆ

% กากสบู่ดำที่ใช้แทนที่อาหารฐาน	วัตถุแห้ง	อินทรียวัตถุ	โปรตีน	ไขมัน	เยื่อใย	NFE
ไม่ผ่านการลดสารพิษ						
๐	๗๕.๑๓^{ก}	๗๓.๕๑^{ก}	๘๑.๔๕^{ก}	๗๙.๖๘^{ค}	๕๖.๗๗^{ก}	๗๕.๕๑^{ก}
๑๐	๗๓.๑๒^{ก}	๗๐.๖๒^{ก}	๘๑.๕๔^{ก}	๘๓.๘๐^{กข}	๔๐.๙๑^{ขค}	๖๐.๒๕^{ขค}
๒๐	๖๙.๘๓^{ข}	๖๗.๒๐^{ข}	๖๕.๕๘^{ข}	๘๐.๘๘^{ขค}	๓๘.๗๔^{ขค}	๕๔.๑๔^{ค}
๓๐	๖๔.๕๔^{ค}	๖๑.๔๒^{ค}	๔๒.๖๔^{ง}	๘๑.๑๐^{ขค}	๓๕.๗๑^{ค}	๖๒.๒๔^{ขค}
เฉลี่ย	**๗๐.๖๖^{a}**	**๖๘.๑๙^{a}**	**๖๗.๘๐**	**๘๑.๓๗^{b}**	**๔๓.๐๓**	**๖๓.๐๔^{b}**
ผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีการนึ่ง						
๐	๗๕.๑๓^{ก}	๗๓.๕๑^{ก}	๘๑.๔๕^{ก}	๗๙.๖๘^{ค}	๕๖.๗๗^{ก}	๗๕.๕๑^{ก}
๑๐	๖๙.๖๑^{ข}	๖๖.๗๐^{ข}	๗๖.๕๗^{ก}	๗๒.๕๗^{ก}	๕๐.๘๖^{กข}	๖๘.๕๕^{กข}
๒๐	๖๔.๒๖^{ค}	๖๐.๘๕^{ค}	๖๓.๔๐^{ข}	๘๘.๙๑^{ข}	๔๖.๙๔^{ข}	๖๓.๙๓^{ขค}
๓๐	๕๗.๘๔^{ง}	๕๓.๖๖^{ง}	๔๘.๑๒^{ค}	๘๕.๐๑^{ข}	๓๖.๓๕^{ค}	๕๙.๑๗^{ค}
เฉลี่ย	**๖๖.๗๑^{b}**	**๖๓.๖๘^{b}**	**๖๗.๓๙**	**๘๖.๕๔^{a}**	**๔๗.๗๓**	**๖๖.๗๙^{a}**
Probability						
ระดับกากสบู่ดำ		**	**	*	**	*	*
ชนิดกากสบู่ดำ		**	**	NS	**	NS	**
ชนิดกากสบู่ดำ×ระดับกากสบู่ดำ		*	*	NS	**	NS	*

* เช่นเดียวกับตาราง ๑๙

๑/ ชนิดของกากสบู่ดำมีผลต่อระดับกากสบู่ดำที่ใช้แทนที่อาหารฐาน

^{กง,ab} ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์ที่มีอักษรกำกับไม่เหมือนกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<๐.๐๕)

การย่อยได้ของโภชนะต่างๆ ในกากสบู่ดำที่ผ่าน และไม่ผ่านการลดสารพิษ เมื่อคำนวณด้วยวิธี Different method และ Regression method ได้ผลดังแสดงไว้ในตาราง ๒๕ ปรากฏว่า ค่าการย่อยได้ของโภชนะส่วนใหญ่ที่ศึกษาจากวิธีการทั้งสองไม่แตกต่างกันมากนัก เมื่อเฉลี่ยจากทั้งสองวิธี พบว่า โปรตีนในกากสบู่ดำทั้ง ๒ ชนิด ใช้ประโยชน์ได้น้อย (๙.๙๖ vs. ๑๑.๐๓%) ในขณะที่ไขมันสามารถใช้ประโยชน์ได้ค่อนข้างมากในกากสบู่ดำที่ผ่านและไม่ผ่านการลดสารพิษ (๖๗.๗๗ vs. ๗๖.๐๔%) สำหรับอินทรียวัตถุใช้ประโยชน์ได้พอควรในกากสบู่

ดำทั้ง ๒ ชนิด (๒๖.๕๐ vs. ๒๕.๐๘% ตามลำดับ) แต่กากสบู่ดำดังกล่าวนี้ใช้ประโยชน์ได้น้อยจากวัตถุแห้ง เยื่อใย และ NFE (๑๙.๕ vs. ๑๖.๗๖% ; ๒๒.๙๒ vs. ๑๖.๙๒% และ ๑๘.๔๐ vs. ๒๑.๑๒%, ตามลำดับ)

ตาราง ๒๕ ค่าการย่อยได้[๑/] (%) ของกากสบู่ดำเมื่อคำนวณโดยวิธี Different method และ Regression method

	ไม่ผ่านการลดสารพิษ			ผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีการนึ่ง		
	Different Method[๒/]	Regression Method[๓/]	เฉลี่ย	Different method[๑/]	Regression method[๒/]	เฉลี่ย
วัตถุแห้ง	๑๖.๒๙	๒๒.๘๒	๑๙.๕๕	๑๕.๔๒	๑๘.๑๐	๑๖.๗๖
อินทรียวัตถุ	๑๘.๕๕	๓๔.๔๔	๒๖.๕๐	๓๑.๐๗	๑๙.๐๙	๒๕.๐๘
โปรตีน	๔.๖๗	๑๕.๒๕	๙.๙๖	๑๐.๙๐	๑๑.๑๖	๑๑.๐๓
ไขมัน	๖๕.๖๓	๖๙.๘๓	๖๗.๓๗	๓๙.๖๘	๓๒.๔๐	๓๖.๐๔
เยื่อใย	๑๘.๓๙	๒๗.๔๔	๒๒.๙๒	๒๑.๕๔	๑๒.๓๑	๑๖.๙๒
NFE	๑๔.๙๖	๒๑.๘๕	๑๘.๔๐	๒๑.๐๑	๒๑.๒๓	๒๑.๑๒

[๑/] เช่นเดียวกับตาราง ๑๙

[๒/] การย่อยได้ของโภชนะในกากสบู่ดำ = [ปริมาณโภชนะที่ย่อยได้ในสูตรอาหารที่ระดับทดสอบ] − [โภชนะนั้นที่ได้รับจากอาหารฐาน × %การย่อยได้ของโภชนะในอาหารฐาน] / ปริมาณโภชนะที่ได้รับจากกากสบู่ดำ

[๓/] สมการคาดคะเนสำหรับทำนายค่าการย่อยได้ของโภชนะแต่ละชนิด ดังนี้

	กากสบู่ดำชนิดไม่ผ่านการลดสารพิษ	กากสบู่ดำชนิดผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีการนึ่ง
วัตถุแห้ง	; $Y = ๗๕.๒๑๙ - ๐.๕๓๑X_๑$ ($r = ๐.๘๘๘$ $n = ๑๖$)	$Y = ๗๕.๒๙๕ - ๐.๕๗๒X_๒$ ($r = ๐.๙๖๖$ $n = ๑๖$)
อินทรียวัตถุ	; $Y = ๗๔.๑๓๙ - ๐.๓๙๗X_๑$ ($r = ๐.๘๙๗$ $n = ๑๖$)	$Y = ๗๓.๔๘๗ - ๐.๕๔๔X_๒$ ($r = ๐.๙๖๘$ $n = ๑๖$)
โปรตีน	; $Y = ๘๗.๖๖๓ - ๐.๗๒๔X_๑$ ($r = ๐.๙๒๑$ $n = ๑๖$)	$Y = ๘๔.๓๖๓ - ๐.๗๓๒X_๒$ ($r = ๐.๙๔๙$ $n = ๑๖$)
ไขมัน	; $Y = ๘๑.๑๖๖ - ๐.๑๑๓X_๑$ ($r = ๐.๙๕๐$ $n = ๑๖$)	$Y = ๘๔.๖๙๘ - ๐.๑๒๓X_๒$ ($r = ๐.๗๒๙$ $n = ๑๖$)
เยื่อใย	; $Y = ๕๒.๘๓๖ - ๐.๒๕๔X_๑$ ($r = ๐.๗๔๕$ $n = ๑๖$)	$Y = ๕๗.๕๐๙ - ๐.๔๕๒X_๒$ ($r = ๐.๘๙๒$ $n = ๑๖$)
NFE	; $Y = ๖๗.๙๕๑ - ๐.๔๖๑X_๑$ ($r = ๐.๘๘๑$ $n = ๑๖$)	$Y = ๗๔.๘๓๒ - ๐.๕๗๖X_๒$ ($r = ๐.๘๔๘$ $n = ๑๖$)

๒. การศึกษาในสุกร

วิธีใช้กากสบู่ดำแทนที่อาหารฐาน

จากการใช้กากสบู่ดำที่ผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีการต้ม แล้วนำไปแทนที่ในอาหารฐานที่ระดับ ๕% เพื่อศึกษาการย่อยได้ของโภชนะต่างๆ ผลแสดงไว้ในตาราง ๒๖ ปรากฏว่า การย่อยได้เมื่อทดแทนกากสบู่ดำในอาหารฐาน มีค่าลดต่ำกว่าอาหารฐาน ไม่ว่าจะเป็นค่า วัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ โปรตีน ไขมัน และ NFE (๘๕.๕๖ ± ๔.๔๔ vs. ๘๒.๘๖ ± ๓.๙๒, ๘๘.๐๙ ± ๔.๑๑ vs. ๘๕.๗๘ ± ๔.๒๕, ๘๗.๖๘ ± ๓.๒๔ vs. ๘๔.๙๔ ± ๓.๙๗, ๘๓.๕๕ ± ๔.๙๕vs.๘๑.๖๔ ± ๖.๑๖ และ ๙๔.๒๒ ± ๓.๖๕ vs. ๙๓.๓๑ ± ๒.๐๔) ส่วนค่า การย่อยได้ของเยื่อใย มีค่าการย่อยได้สูงกว่าอาหารฐาน (๓๘.๘๕ ± ๑๕.๘๕ vs. ๕๘.๒๑ ± ๑๑.๐๒) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณเยื่อใยในสูตรอาหารมีเพิ่มมากขึ้นเมื่อใช้กากสบู่ดำ

เมื่อนำตัวที่อดอาหารมาคำนวณค่าการย่อยได้จริง พบว่า การย่อยได้จริงมีค่าสูงกว่าค่าการย่อยได้ปรากฏ

ตาราง ๒๖ การย่อยได้ของโภชนะในสูตรอาหารทดลองที่ใช้กากสบู่ดำแทนที่อาหารฐานระดับต่างๆ

	% กากสบู่ดำที่ใช้แทนที่อาหารฐาน			
	๐		๕	
	การย่อยได้ปรากฏ	การย่อยได้จริง[๗]	การย่อยได้ปรากฏ	การย่อยได้จริง[๗]
วัตถุแห้ง	๘๕.๕๖ ± ๔.๔๔	๘๗.๒๔ ± ๔.๓๒	๘๒.๘๖ ± ๓.๙๒	๘๖.๐๘ ± ๔.๖๒
อินทรียวัตถุ	๘๘.๐๙ ± ๔.๑๑	๘๙.๕๓ ± ๓.๙๙	๘๕.๗๘ ± ๔.๒๕	๘๘.๔๗ ± ๔.๘๖
โปรตีน	๘๗.๖๘ ± ๓.๒๔	๘๘.๘๒ ± ๓.๑๗	๘๔.๙๔ ± ๓.๙๗	๘๗.๐๕ ± ๔.๗๐
ไขมัน	๘๓.๕๕ ± ๔.๙๕	๘๔.๙๖ ± ๔.๙๐	๘๑.๖๔ ± ๖.๑๖	๘๔.๕๑ ± ๖.๔๗
เยื่อใย	๓๘.๘๕ ± ๑๕.๘๕	๔๔.๕๒ ± ๑๕.๕๕	๕๘.๒๑ ± ๑๑.๐๒	๖๔.๐๕ ± ๑๓.๐๔
NFE	๙๔.๒๒ ± ๓.๖๕	๙๕.๐๕ ± ๓.๕๗	๙๓.๓๑ ± ๒.๐๔	๙๔.๘๕ ± ๑.๙๗

[๗] **การย่อยได้จริง (%)** = (ปริมาณโภชนะที่กิน-(โภชนะที่ขับออกในมูล-โภชนะที่ขับออกในมูลของสุกรด้วยอดอาหาร))×๑๐๐ / ปริมาณโภชนะที่กิน

ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของกากสบู่ดำ แบ่งเป็น ๒ การทดลอง ดังนี้

๑. การศึกษาในสัตว์ปีก

๑.๑ วิธีกรอกกากสบู่ดำทางปาก

จากการให้ไก่ไข่เพศผู้ได้รับกากสบู่ดำล้วนๆ (๓๐ ก./เพียงครั้งเดียว) ด้วยวิธีกรอกปาก เพื่อหาค่า ME ผลแสดงไว้ในตาราง ๑๗ ปรากฏว่า ME แบบปรากฏ (AME) มีค่าต่ำกว่าค่า ME แบบแท้จริง (TME) ทั้งในกากสบู่ดำชนิดที่ไม่ผ่านและผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีการต้ม หรือนึ่งแล้วใช้ ๙๒% เมทธานอลและน้ำเป็นตัวชะล้าง (๒.๑๔๑ vs. ๒.๔๔๒, ๒.๑๓๓ vs. ๒.๔๓๔ และ ๒.๑๔๙ vs. ๒.๔๔๕ kcal/g DM, ตามลำดับ) ทั้งนี้เนื่องจากค่า TME มีการนำค่า endogenous loss มาลบออกจากสิ่งขับถ่ายด้วย แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดของกากสบู่ดำ พบว่า กากสบู่ดำทั้งชนิดที่ไม่ผ่าน และผ่านการลดสารพิษมีค่าพลังงานใช้ประโยชน์ใกล้เคียงกัน กล่าวคือ มีค่า AME อยู่ระหว่าง ๒.๑๔๑ vs. ๒.๑๓๓–๒.๑๔๙ และ TME ๒.๔๔๒ vs. ๒.๔๓๔–๒.๔๔๕ kcal/g DM, ตามลำดับซึ่งให้ผลไม่แตกต่างทางสถิติ (P>๐.๐๕)

ตาราง ๒๗ ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้แบบปรากฏและแท้จริง (AME และ TME) ของกากสบู่ดำที่ไม่ผ่าน (กลุ่มควบคุม) และผ่านการลดสารฟอร์บอลเอสเทอร์ ด้วยวิธีการต้มหรือนึ่งร่วมกับการใช้ ๙๒% เมทธานอลและน้ำเป็นตัวชะล้าง (kcal/g. DM)

เบอร์ไก่	AME			TME		
ทดลอง	ควบคุม	ต้ม[๑/]	นึ่ง[๑/]	ควบคุม	ต้ม[๑/]	นึ่ง[๑/]
๑	๒.๑๑๘	๒.๓๙๖	๒.๑๓๙	๒.๔๒๐	๒.๖๙๘	๒.๔๓๖
๒	๒.๐๑๙	๒.๐๔๘	๒.๒๖๑	๒.๓๒๐	๒.๓๔๙	๒.๕๕๓
๓	๒.๐๓๘	๑.๙๖๕	๒.๐๙๐	๒.๓๓๙	๒.๒๖๖	๒.๓๘๓
๔	๒.๑๐๖	๒.๐๓๔	๒.๑๔๘	๒.๔๐๓	๒.๓๓๖	๒.๔๔๕
๕	๒.๒๒๘	๒.๒๕๓	๒.๒๔๑	๒.๕๒๙	๒.๕๕๘	๒.๕๓๘
๖	๒.๓๓๓	๒.๐๕๖	๒.๐๑๓	๒.๖๓๘	๒.๓๕๓	๒.๓๐๙
เฉลี่ย	**๒.๑๔๑**	**๒.๑๓๓**	**๒.๑๔๙**	**๒.๔๔๒**	**๒.๔๓๔**	**๒.๔๔๕**
S.D.	๐.๑๒๑	๐.๑๖๑	๐.๐๙๓	๐.๑๒๑	๐.๑๖๑	๐.๐๙๓
S.E.M.	๐.๐๘	๐.๑๑	๐.๐๖	๐.๐๘	๐.๑๐	๐.๐๖

[๑/] อุณหภูมิ ๑๐๐ °ซ นับจากน้ำเดือด เป็นเวลา ๔๐ นาที

S.E.M. = Standard error of mean

S.D. = Standard deviation

ทุกกลุ่มให้ผลไม่แตกต่างทางสถิติ (P>๐.๐๕)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

๑.๒ วิธีใช้กากสบู่ดำแทนที่อาหารฐาน

การใช้กากสบู่ดำที่ไม่ผ่านและผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีการนึ่ง แล้วใช้ ๙๒% เมทธานอลและน้ำเป็นตัวชะล้าง แทนที่อาหารฐานที่ระดับ ๐, ๑๐, ๒๐ และ ๓๐% พบว่า เมื่อเพิ่มสัดส่วนการแทนที่ของกากสบู่ดำให้สูงขึ้น ค่า AME ของสูตรอาหารทดลองจากการใช้กากสบู่ดำทั้ง ๒ ชนิด มีค่าลดลง กล่าวคือ ลดลงจาก ๓.๑๑๓ เป็น ๒.๙๑๐, ๒.๘๘๑ และ ๒.๘๖๓ kcal/g DM และ ๓.๑๑๓ เป็น ๓.๐๘๕, ๓.๐๓๙ และ ๒.๙๖๐ kcal/g DM ตามลำดับ

เมื่อนำค่า AME ของอาหารทดลองแต่ละสูตรนี้ไปเข้าสมการคาดคะเนเส้นตรง เพื่อคำนวณค่า AME ของกากสบู่ดำ (ที่ระดับ ๑๐๐%) ผลปรากฏว่า กากสบู่ชนิดที่ไม่ผ่านและผ่านการลดสารพิษ มีค่า AME เท่ากับ ๒.๒๕๘ และ ๒.๓๒๙ kcal/g DM ตามลำดับ (ตาราง ๑๘) โดยสมการคาดคะเนเส้นตรงมีดังนี้

แบบใช้กากสบู่ดำที่ไม่ผ่านการลดสารพิษ

$$Y = ๓.๐๕๘ - ๐.๐๐๘X \quad (r = ๐.๘๖๓ ; n = ๑๖)$$

แบบใช้กากสบู่ดำที่ผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีการนึ่ง

$$Y = ๓.๑๒๙ - ๐.๐๐๘X \quad (r = ๐.๘๐๕ ; n = ๑๖)$$

เมื่อ Y = ค่า AME ของกากสบู่ดำ (kcal/g. DM)

X = ระดับการใช้กากสบู่ดำแทนที่ในอาหารฐาน (%)

r = ค่าสหสัมพันธ์

n = จำนวนข้อมูลที่ใช้คำนวณ

ตาราง ๒๘ ค่า AME ของสูตรอาหารและกากสบู่ดำชนิดไม่ผ่านและผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีการนึ่ง ที่ศึกษาในไก่ไข่เพศผู้โดยวิธีการแทนที่ในอาหารฐานระดับต่างๆ เปรียบเทียบกับวิธีกรอกกากสบู่ดำทางปาก

ระดับกากสบู่ดำที่ใช้แทนที่อาหารฐาน (%)	ไม่ผ่านการลดสารพิษ		ผ่านการลดสารพิษ	
	$AME_{สูตรอาหาร}$	$AME^{๑/}_{กากสบู่ดำ}$	$AME_{สูตรอาหาร}$	$AME^{๑/}_{กากสบู่ดำ}$
	← (kcal/g. DM) →			
๐ (อาหารฐาน)	๓.๑๑๓	–	๓.๑๑๓	–
๑๐	๒.๙๑๐	๑.๐๘๓	๓.๐๘๕	๒.๘๔๑
๒๐	๒.๘๘๑	๑.๙๕๔	๓.๐๗/๔	๒.๙๒๒
๓๐	๒.๘๖๓	๒.๒๘๐	๒.๙๖๐	๒.๖๐๓
เฉลี่ย	–	๑.๗/๗๒ ± ๐.๖๒	–	๒.๗/๘๘ ± ๐.๑๗
๑๐๐ (Regression)	–	๒.๒๕๘	–	๒.๓๒๙
๑๐๐ (Force feeding)[๒/]	–	๒.๑๔๑ ± ๐.๑๒๑	–	๒.๑๔๙ ± ๐.๐๙

[๑/] คำนวณด้วยสูตร $AME_{กากสบู่ดำ} = \frac{AME_{อาหารผสมที่ระดับทดสอบ} - (\%\ อาหารฐานที่ระดับทดสอบ \times AME_{อาหารฐาน})}{\%กากสบู่ดำที่ระดับนั้นๆ}$

[๒/] ดูตาราง ๑๗

๒. การศึกษาในสุกร

ค่าพลังงานย่อยได้แบบปรากฏ(Apparent digestibility energy:ADE) และแบบแท้จริง (True digestibility energy:TDE) ของกากสบู่ดำที่ผ่านกระบวนการลดสารพิษ พบว่า ค่า TDE มีค่าสูงกว่าค่า ADE (๓.๑๙๐ vs. ๒.๙๐๐ kcal/g) แสดงผลไว้ในตาราง ๒๙

ตาราง ๒๙ ค่าพลังงานย่อยได้แบบปรากฏและแท้จริง (ADE และ TDE ; kcal/g) ของกากสบู่ดำที่ผ่านการลดสารฟอร์บอลเอสเทอร์ และสารยับยั้งทริปซิน

ซ้ำที่	ระดับกากสบู่ดำที่ใช้ ๕%	
	AME	TME
๑	๓.๒๒๐	๓.๕๖๐
๒	๒.๕๘๐	๒.๘๒๐
เฉลี่ย	๒.๙๐๐	๓.๑๙๐
S.D.	๐.๔๕	๐.๕๒

การใช้กากสบู่ดำเป็นอาหารไก่เนื้อ

สมรรถภาพการผลิต

เมื่อใช้กากสบู่ดำที่ผ่านการนึ่ง เป็นเวลา ๔๐ นาที แล้วใช้ ๙๒% เมทธานอลและน้ำเป็นตัวชะล้าง เพื่อลดสารฟอร์บอลเอสเทอร์ ผสมในอาหารไก่เนื้อเพศผู้ที่ระดับ ๐, ๕, ๑๐, ๑๕ และ ๒๐% ในช่วงไก่อายุ ๒-๖ สัปดาห์ ผลปรากฏว่า สมรรถภาพการผลิต (น้ำหนักตัวเพิ่ม ปริมาณอาหารที่กิน และอัตราแลกน้ำหนัก) ด้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ตามระดับการเพิ่มขึ้นของกากสบู่ดำในอาหาร ตรงข้ามกับอัตราการตายที่มีสัดส่วนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตามการเพิ่มกากสบู่ดำในอาหารเช่นกัน ยกเว้นการใช้ที่ระดับ ๕% ให้ผลไม่ต่างจากกลุ่มควบคุม นอกจากนี้ยังพบอาการข้อขาบวมเกิดขึ้นกับตัวไก่ ทำให้ไก่ไม่สามารถยืนและเดินไปกินอาหารและน้ำได้ ปริมาณอาหารที่ไก่กินได้จึงลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจนเมื่อใช้กากสบู่ดำระดับสูง ส่งผลให้สมรรถภาพการผลิตด้อยลง และอัตราการตายเพิ่มขึ้นดังได้กล่าวแล้ว (ตาราง ๓๐)

เมื่อแยกพิจารณาในแต่ละช่วงอายุการเจริญเติบโตของไก่ ซึ่งจากการศึกษาได้ลดระดับโปรตีนในสูตรอาหารลงช่วงละ ๒% ผลแสดงไว้ในตาราง ๒๐ ปรากฏว่า ในช่วงไก่อายุ ๒-๓ สัปดาห์ การใช้กากสบู่ดำในอาหารระดับ ๕-๑๕% มีอัตราแลกน้ำหนักไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม ($P>0.05$; มีค่าระหว่าง ๑.๒๖-๑.๓๗) แต่น้ำหนักตัวเพิ่มและปริมาณอาหารที่กินด้อยกว่ากลุ่มควบคุม ส่วนในช่วงไก่อายุ ๔-๕ สัปดาห์ การใช้กากสบู่ดำในสูตรอาหารระดับ ๐-๕% มีอัตราแลกน้ำหนักไม่แตกต่างกัน กล่าวคือ มีค่าระหว่าง ๑.๗๙-๑.๘๗ แต่ถ้าใช้ในระดับที่สูงกว่านี้ อัตราแลกน้ำหนักจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (๑.๙๕-๒.๐๕ vs. ๑.๗๙, ตามลำดับ) อย่างไรก็ดี การใช้กากสบู่ดำในทุกระดับ (๕-๒๐%) มีผลทำให้ไก่กินอาหาร

ได้น้อยลง และมีน้ำหนักตัวเพิ่มด้อยกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนอัตราการตายจะพบว่า มีสัดส่วนเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อใช้ตั้งแต่ระดับ ๑๐% ขึ้นไป สำหรับสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง (อายุไก่ ๖ สัปดาห์) ปรากฏว่า การใช้กากสบู่ดำที่ลดสารพิษด้วยวิธีการนึ่งในสูตรอาหารทุกระดับ มีผลทำให้สมรรถภาพการผลิตเลวกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นอัตราการตายเฉพาะการใช้ในระดับ ๕% เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมซึ่งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ (P>๐.๐๕) โดยมีค่าเท่ากับ ๑.๔๕ และ ๑.๘๒% หรือเท่ากับมีไก่ตายจำนวน ๔ และ ๕ ตัว ตามลำดับ

ตาราง ๓๐ สมรรถภาพการผลิต และอัตราการตายของไก่เนื้อเมื่อได้รับอาหารที่มีกากสบู่ดำที่ผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีการนึ่ง ร่วมกับใช้ ๙๒% เมทธานอลและน้ำเป็นตัวชะล้างระดับต่างๆ ในช่วงอายุ ๒-๖ สัปดาห์

กากสบู่ดำในอาหาร (%)	น้ำหนักตัวเพิ่ม(กก.) ๑/	ปริมาณอาหารที่กิน(กก.) ๑/	อัตราแลกน้ำหนัก	อัตราการตาย (%)
๐	๒.๓๑[ก]	๔.๑๖[ก]	๑.๘๐[ง]	๓.๒๑[ง]
๕	๑.๙๙[ข]	๓.๙๗[ข]	๑.๙๐[ค]	๒.๘๖[ง]
๑๐	๑.๕๖[ค]	๒.๙๙[ค]	๑.๙๒[ค]	๒๓.๐๘[ค]
๑๕	๑.๑๙[ง]	๒.๓๙[ง]	๒.๐๑[ข]	๖๔.๑๘[ข]
๒๐	๐.๙๑[จ]	๑.๙๘[จ]	๒.๑๙[ก]	๘๕.๓๖[ก]
S.E.M.	๐.๐๐๖	๐.๙๒	๐.๐๓	๗.๖๗

[ก-จ] ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์ที่มีอักษรกำกับไม่เหมือนกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<๐.๐๕)

๑/ น้ำหนักตัวเพิ่มและปริมาณอาหารที่กินของลูกไก่ในสัปดาห์แรก (อายุ ๑-๗ วัน) เท่ากับ ๑๓๘.๖๕ และ ๑๓๖.๐๘ ก./ตัว ตามลำดับ ซึ่งไม่ได้นำมารวมด้วย

S.E.M. = Standard error of mean

ตาราง ๓๑ สมรรถภาพการผลิต และอัตราการตายของไก่เนื้อเพศผู้ในแต่ละช่วงอายุ เมื่อได้รับอาหารที่มีกากสบู่ดำที่ผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีการนึ่ง ร่วมกับใช้ ๙๒% เมทธานอลและน้ำเป็นตัวชะล้างระดับต่างๆ

กากสบู่ดำในอาหาร(%)	น้ำหนักตัวเพิ่ม (กก.)	ปริมาณอาหารที่กิน (กก.)	อัตราแลกน้ำหนัก	อัตราการตาย (%)
สัปดาห์ที่ ๒-๓				
๐	๐.๖๔๖^{ก}	๐.๘๑๐^{ก}	๑.๒๖^{ข}	๐.๓๖^{ค}
๕	๐.๕๔๓^{ข}	๐.๗๑๔^{ข}	๑.๓๒^{ข}	๐.๓๖^{ค}
๑๐	๐.๕๐๗^{ค}	๐.๖๘๗^{ข}	๑.๓๖^{ข}	๑.๔๓^{ขค}
๑๕	๐.๓๙๙^{ง}	๐.๕๔๗^{ค}	๑.๓๗^{ข}	๒.๕๐^{ข}
๒๐	๐.๓๐๑^{จ}	๐.๔๖๓^{ง}	๑.๕๔^{ก}	๖.๐๗^{ก}
S.E.M.	๐.๑๒	๐.๑๓	๐.๒๗	๒.๓๔
สัปดาห์ที่ ๔-๕				
๐	๑.๑๓๑^{ก}	๒.๐๒๒^{ก}	๑.๗๙^{ค}	๑.๐๘^{ง}
๕	๐.๙๘๓^{ข}	๑.๘๐๘^{ข}	๑.๘๔^{ขค}	๐.๙๕^{ง}
๑๐	๐.๗๔๘^{ค}	๑.๓๙๙^{ค}	๑.๘๗^{ขค}	๘.๓๘^{ค}
๑๕	๐.๕๖๘^{ง}	๑.๑๐๗^{ง}	๑.๙๕^{กข}	๔๐.๖๙^{ข}
๒๐	๐.๔๐๗^{จ}	๐.๘๓๐^{จ}	๒.๐๕^{ก}	๖๙.๖๐^{ก}
S.E.M.	๐.๓๐	๐.๔๙	๐.๒๗	๖.๒๕
สัปดาห์ที่ ๖				
๐	๐.๕^{๔๓๓}	๑.๓๓๒^{ก}	๒.๔๙^{จ}	๑.๘๒^{ง}
๕	๐.๔๖๕^{ข}	๑.๒๕๐^{ข}	๒.๗๐^{ง}	๑.๔๕^{ง}
๑๐	๐.๓๐๒^{ค}	๐.๘๙๘^{ค}	๒.๙๘^{ค}	๑๔.๘๒^{ค}
๑๕	๐.๒๒๑^{ง}	๐.๗๓๕^{ง}	๓.๓๔^{ข}	๓๘.๐๐^{ข}
๒๐	๐.๑๙๗^{ง}	๐.๖๘๔^{ง}	๓.๔๗^{ก}	๔๙.๑๒^{ก}
S.E.M.	๐.๑๕	๐.๓๐	๐.๘๖	๔.๔๘

$^{ก-จ}$ ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์ที่มีอักษรกำกับไม่เหมือนกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<๐.๐๕)

S.E.M. = Standard error of mean

เปอร์เซ็นต์ซากและอวัยวะภายใน

เมื่อเสร็จสิ้นการทดลองที่ไก่อายุ ๖ สัปดาห์ ได้สุ่มไก่มาจำนวน ๒ ตัว/ซ้ำ (๘ ตัว/กลุ่ม) ทำการชำแหละเพื่อศึกษาคุณภาพซาก ผลแสดงในตาราง ๓๒ ปรากฏว่า เปอร์เซ็นต์ซาก มีสัดส่วนลดลงอย่างมีนัยสำคัญตามระดับการเพิ่มขึ้นของกากสบู่ดำในอาหาร แต่ทุกกลุ่มมีเปอร์เซ็นต์ซากสูงกว่า ๘๐% ส่วนอวัยวะภายใน ซึ่งศึกษาเฉพาะเครื่องในรวมและไขมันในช่องท้อง ผลปรากฏว่า สัดส่วนของเครื่องในรวมมีค่าสูงขึ้น ในขณะที่ไขมันในช่องท้องมีการสะสมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ตามระดับการเพิ่มขึ้นของกากสบู่ดำในอาหาร โดยจะลดต่ำสุดเหลือเพียง ๐.๕๐% ของน้ำหนักตัว เมื่อใช้กากสบู่ดำที่ระดับ ๒๐% จัดได้ว่าแทบจะไม่มีการสะสมไขมันในช่องท้องของตัวไก่เลย สำหรับปริมาณเนื้อ ซึ่งประกอบด้วยเนื้ออก เนื้อน่องและเนื้อสะโพก พบว่า มีสัดส่วนลดลงตามระดับการใช้กากสบู่ดำที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหารเช่นกัน โดยสัดส่วนของเนื้ออกลดลงค่อนข้างมากประมาณ ๕.๒% ในขณะที่เนื้อน่องและเนื้อสะโพกลดลงเพียง ๐.๘% และ ๑.๕% เมื่อใช้กากสบู่ดำระดับ ๒๐% เทียบกับกลุ่มควบคุม ตามลำดับ

อย่างไรก็ดี เมื่อพิจารณาที่สัดส่วนของปีก กลับพบว่า มีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อใช้กากสบู่ดำที่ระดับ ๒๐% การใช้ที่ระดับต่ำกว่านี้ให้ผลไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม (ตาราง ๓๒)

ตาราง ๓๒ เปอร์เซ็นต์ซาก น้ำหนักอวัยวะภายใน ปริมาณเนื้อและปีกของไก่เนื้อเพศผู้ที่อายุ ๖ สัปดาห์ เมื่อได้รับอาหารที่มีกากสบู่ดำที่ผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีการนึ่ง ร่วมกับใช้ ๙๒% เมทธานอลและน้ำเป็นตัวชะล้างระดับต่างๆ เป็นเวลา ๕ สัปดาห์

กากสบู่ดำในอาหาร (%)	๐	๕	๑๐	๑๕	๒๐	S.E.M.
เปอร์เซ็นต์ซาก[๑/]	๘๕.๕๒[ก]	๘๓.๔๒[ข]	๘๒.๑๖[ข]	๘๒.๐๗[ค]	๘๐.๓๒[ง]	๐.๕๐
อวัยวะภายใน (% น้ำหนักตัว)						
เครื่องในรวม	๙.๓๖[ง]	๙.๗๖[คง]	๑๐.๒๗[ค]	๑๑.๖๑[ข]	๑๒.๙๖[ก]	๑.๔๑
ไขมันช่องท้อง	๒.๗๕[ก]	๑.๗๗[ข]	๑.๐๙[ค]	๐.๙๐[ง]	๐.๕๐[จ]	๐.๑๘
ปริมาณเนื้อ (% น้ำหนักตัว)						
เนื้ออก	๑๙.๕๑[ก]	๑๘.๕๖[ข]	๑๗.๖๙[ค]	๑๔.๗๕[ง]	๑๔.๓๗[ง]	๐.๔๘
เนื้อน่อง	๑๐.๔๕[ก]	๙.๘๓[ข]	๙.๘๑[ข]	๙.๖๗[ข]	๙.๖๑[ข]	๐.๑๐
เนื้อสะโพก	๑๑.๗๒[ก]	๑๑.๓๑[กข]	๑๐.๘๒[ขค]	๑๐.๗๐[ขค]	๑๐.๒๕[ค]	๐.๑๔
ปีก (% น้ำหนักตัว)	๗.๖๙[ข]	๗.๘๐[ข]	๗.๗๕[กข]	๗.๙๔[กข]	๘.๑๐[ก]	๐.๐๖

[ก-ง] ค่าเฉลี่ยในแต่ละแถวที่มีอักษรกำกับไม่เหมือนกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

[๑/] คำนวณจากน้ำหนักตัวไก่ที่เอาเครื่องในออกทั้งหมดเทียบกับน้ำหนักไก่เมื่อมีชีวิตก่อนชำแหละ

S.E.M. = Standard error of mean

ต้นทุนการผลิตเนื้อไก่

เมื่อพิจารณาต้นทุนการผลิต โดยคำนวณเฉพาะค่าอาหารอย่างเดียว และใช้ราคาวัตถุดิบตามราคาเฉลี่ยในท้องตลาด ส่วนกากสบู่ดำที่ผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีการนึ่ง ร่วมกับใช้ ๙๒% เมทธานอลและน้ำเป็นตัวชะล้าง กำหนดให้มีราคากิโลกรัมละ ๕ บาท ผลแสดงไว้ในตาราง ๓๓ ปรากฏว่า อาหารผสมกากสบู่ดำมีราคาถูกลงตามระดับการใช้กากสบู่ดำในสูตรอาหาร แต่เนื่องจากประสิทธิภาพการใช้อาหารด้อยลงเมื่อมีการใช้กากสบู่ดำ จึงทำให้ต้นทุนการผลิตไก่เนื้อต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยกลุ่มที่ใช้กากสบู่ดำระดับ ๕% มีต้นทุนการผลิตสูงกว่าเล็กน้อย (๐.๖๕ บาท/กก.)

ตาราง ๓๓ ต้นทุนค่าอาหารในการผลิตไก่เนื้อเพศผู้ที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมกากสบู่ดำที่ผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีการนึ่ง ร่วมกับใช้ ๙๒% เมทธานอลและน้ำเป็นตัวชะล้างที่ระดับต่างๆ ในช่วงอายุ ๒–๖ สัปดาห์

กากสบู่ดำในอาหาร (%)	น้ำหนักตัวเพิ่ม (กก.)	อัตราแลกน้ำหนัก	ต้นทุนค่าอาหาร[๑/]	
			(บาทต่อตัว)	(บาท/กก.น้ำหนักตัวเพิ่ม)
๐	๒.๓๑[ก]	๑.๘๐[ง]	๕๕.๓๓	๒๔.๓๔
๕	๑.๙๙[ข]	๑.๙๐[ค]	๔๘.๓๑	๒๔.๙๙
๑๐	๑.๕๖[ค]	๑.๙๒[ค]	๓๓.๖๙	๒๕.๓๑
๑๕	๑.๑๙[ง]	๒.๐๑[ข]	๒๙.๒๙	๒๖.๓๑
๒๐	๐.๙๑[จ]	๒.๑๙[ก]	๒๓.๔๕	๒๗.๔๘
S.E.M.	๐.๐๐๖	๐.๐๓	–	–

[๑/] ดูตาราง ๘–๑๐

การใช้กากสบู่ดำเป็นอาหารไก่ไข่

สมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่

การใช้กากสบู่ดำที่ผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีนึ่ง ร่วมกับใช้ ๙๒% เมทธานอลและน้ำเป็นตัวชะล้าง ในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับ ๕, ๑๐, ๑๕ และ ๒๐% เป็นระยะเวลา ๑๒ สัปดาห์ (๘๔ วัน) ผลแสดงไว้ในตาราง ๓๔ ปรากฏว่า ผลผลิตไข่และปริมาณอาหารที่กิน มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยจะลดลงตามระดับการเพิ่มขึ้นของกากสบู่ดำในอาหาร (๘๘.๔๔, ๕๑.๕๔, ๑๗.๓๔ และ ๑๐.๐๘ vs. ๙๔.๒๙%; ๙๗.๗๑, ๗๐.๗๓, ๔๘.๓๐ และ

๓๔.๒๑ vs. ๑๐๘.๖๙ ก./วัน, ตามลำดับ) จึงทำให้ประสิทธิภาพการใช้อาหาร (ปริมาณอาหารที่ใช้ต่อการผลิตไข่ ๑ โหล หรือ ๑ กก.) ด้อยลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเพิ่มระดับการใช้กากสบู่ดำ ยกเว้นเมื่อใช้กากสบู่ดำระดับต่ำสุด (๕%) ให้ผลไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม (ใช้กากสบู่ดำ ๐%) ส่วนน้ำหนักตัวเพิ่มของแม่ไก่ตลอดระยะการทดลองมีค่าลดลง โดยมีน้ำหนักตัวน้อยกว่าช่วงเริ่มต้นทดลองในกลุ่มที่ใช้กากสบู่ดำระดับสูง (๑๕-๒๐%, -๑๖.๗ และ -๕๐.๔ ก.) สำหรับอัตราการตาย พบว่า มีการตายเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อใช้กากสบู่ดำตั้งแต่ระดับ ๑๕% ขึ้นไป

ผลด้านคุณภาพไข่ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม คะแนนสีไข่แดงมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตามระดับการใช้กากสบู่ดำเพิ่มขึ้นในอาหาร โดยเพิ่มจาก ๘.๐ แต้ม ไปเป็น ๘.๔-๘.๙ แต้ม ส่วนผลด้านความหนาเปลือกไข่ พบว่า ด้อยลงเมื่อใช้กากสบู่ดำที่ระดับ ๑๐-๒๐% ในขณะที่ค่า Haugh unit ให้ผลไม่แตกต่างกันในทุกกลุ่ม ไม่ว่าจะใช้หรือไม่ใช้กากสบู่ดำในอาหาร สำหรับกรณีน้ำหนักไข่ การใช้กากสบู่ดำในอาหารที่ระดับ ๑๐-๒๐% ทำให้น้ำหนักไข่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม จึงมีผลทำให้ได้ไข่ขนาดกลางถึงใหญ่คือ เบอร์ ๐, ๑, ๒ และ ๓ น้อยลง เมื่อมีการใช้กากสบู่ดำระดับสูง แต่ได้ไข่น้ำหนักน้อย (เบอร์ ๔, ๕ และ ๖) จำนวนมาก (ตาราง ๓๔)

ต้นทุนการผลิตไข่ไก่

เมื่อพิจารณาต้นทุนการผลิตไข่โดยคำนวณเฉพาะค่าอาหารอย่างเดียว และใช้ราคาวัตถุดิบตามราคาเฉลี่ยในท้องตลาด เช่นเดียวกับการศึกษาในไก่เนื้อ ผลแสดงไว้ในตาราง ๓๔ ปรากฏว่า อาหารทดลองมีราคาถูกลงตามระดับการใช้กากสบู่ดำในสูตรอาหาร (ดูตาราง ๑๑) แต่เนื่องจากประสิทธิภาพการใช้อาหารเพื่อการผลิตไข่ ประกอบกับผลผลิตไข่ของแม่ไก่ในกลุ่มต่างๆ ด้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ จึงทำให้ต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตไข่ ๑ โหล หรือ ๑ กก. มีราคาสูงขึ้นตามระดับการเพิ่มการใช้กากสบู่ดำในอาหาร ยกเว้นกลุ่มที่ใช้กากสบู่ดำที่ระดับต่ำสุด (๕%) มีต้นทุนการผลิตถูกกว่ากลุ่มควบคุม ๑.๒๒ บาท/ไข่ ๑ โหล หรือ ๑.๖๕ บาท/ไข่ ๑ กก. (๑๔.๔๑ vs. ๑๕.๖๓ บาท/ไข่ ๑ โหล หรือ ๒๓.๑๗ vs. ๒๔.๘๒ บาท/ไข่ ๑ กก. ตามลำดับ)

ตาราง ๓๔ สมรรถภาพการผลิตของไก่ไข่ เมื่อได้รับอาหารที่มีกากสบู่ดำที่ผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีการนึ่งระดับต่างๆ ในช่วงไก่อายุ ๒๘–๓๙ สัปดาห์

กากสบู่ดำในอาหาร (%)	๐	๕	๑๐	๑๕	๒๐	S.E.M.
สมรรถภาพการผลิต						
ผลผลิตไข่ (%)	๙๔.๒๙[ก]	๘๘.๔๔[ข]	๕๑.๕๔[ค]	๑๗.๓๔[ง]	๑๐.๐๘[จ]	๘.๐๐
ปริมาณอาหารที่กิน (ก./วัน)	๑๐๘.๖๙[ก]	๙๗.๗๑[ข]	๗๐.๗๓[ค]	๔๘.๓๐[ง]	๓๔.๒๑[จ]	๖.๔๙
อาหาร (กก.)/ ไข่ ๑ โหล	๑.๓๘[ก]	๑.๓๓[ก]	๑.๖๕[ข]	๓.๓๕[ค]	๔.๐๗[ง]	๐.๒๖
อาหาร (กก.)/ ไข่ ๑ กก.	๒.๒๐[ก]	๒.๑๓[ก]	๒.๖๗[ข]	๕.๔๔[ค]	๖.๖๗[ง]	๐.๔๓
น้ำหนักตัวเพิ่ม (ก.)	๑๑๗.๕๙[ก]	๘๕.๒๗[ข]	๓๙.๑๐[ค]	-๑๖.๗๑[ง]	-๕๐.๔๔[จ]	๖.๔๙
อัตราการตาย						
(%)	๖.๒๕[ก]	๘.๓๓[ก]	๑๔.๕๘[ก]	๓๓.๓๓[ข]	๕๘.๓๓[ข]	๔.๕๘
(ตัว)[๑/]	๓	๔	๗	๑๖	๒๘	
คุณภาพไข่						
น้ำหนักไข่ (ก.)	๕๒.๔๘[ก]	๕๑.๘๔[กข]	๕๑.๕๐[ขค]	๕๑.๒๒[ขค]	๕๐.๘๖[ค]	๐.๑๖
Haugh unit	๙๕.๕๖	๙๕.๔๑	๙๕.๐๙	๙๔.๔๑	๙๕.๑๙	๐.๑๘
ความหนาเปลือกไข่ (มม.)	๐.๓๓๑[ก]	๐.๓๒๖[ก]	๐.๓๒๑[ข]	๐.๓๑๖[ค]	๐.๓๑๕[ค]	๐.๐๑
สีไข่แดง (แต้มคะแนน)	๘.๐[ง]	๘.๔[ค]	๘.๖[ขค]	๘.๗[กข]	๘.๙[ก]	๐.๐๗
เกรดไข่ (%)						
เบอร์ ๐ (>๗๐ ก.)	๐.๐๘	๐.๑๔	๐.๒๖	๐.๐๐	๐.๐๐	๐.๐๔
เบอร์ ๑ (๖๖–๗๐ ก.)	๑.๐๔[ก]	๐.๓๒[ข]	๐.๔๖[ข]	๐.๐๙[ข]	๐.๐๐[ข]	๐.๑๑
เบอร์ ๒ (๖๑–๖๕ ก.)	๑๕.๔๐[ก]	๖.๙๐[ข]	๓.๘๑[ขค]	๒.๓๑[ขค]	๑.๑๘[ค]	๑.๓๔
เบอร์ ๓ (๕๖–๖๐ ก.)	๓๖.๒๗[ก]	๓๘.๖๑[ก]	๒๓.๔๙[กข]	๑๘.๐๕[ข]	๑๔.๓๙[ข]	๓.๑๑
เบอร์ ๔ (๕๑–๕๕ ก.)	๒๐.๘๒[ข]	๒๖.๖๔[กข]	๒๕.๙๘[กข]	๓๐.๕๔[ก]	๒๒.๑๖[กข]	๑.๓๕
เบอร์ ๕ (๔๖–๕๐ ก.)	๒๕.๑๙[ข]	๒๔.๗๐[ข]	๓๙.๘๘[กข]	๓๙.๕๙[กข]	๕๔.๙๔[ก]	๓.๓๓
เบอร์ ๖ (< ๔๕ ก.)	๑.๒๐[ข]	๒.๖๘[กข]	๖.๑๒[กข]	๙.๔๒[ก]	๗.๓๓[กข]	๑.๑๕
ต้นทุนค่าอาหาร (บาท)[๒/]						
ไข่ ๑ โหล	๑๕.๖๓	๑๔.๔๑	๑๗.๑๙	๓๓.๕๗	๓๙.๔๖	
ไข่ ๑ กก.	๒๔.๘๒	๒๓.๑๗	๒๗.๘๒	๕๔.๖๒	๖๔.๖๕	

[ก–จ] ค่าเฉลี่ยในแต่ละแถวที่มีอักษรกำกับไม่เหมือนกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<๐.๐๕)

[๑/] แต่ละกลุ่มมีไก่จำนวน ๔๘ ตัว

[๒/] ดูตาราง ๑๑

S.E.M. = Standard error of mean

การใช้กากสบู่ดำเป็นอาหารสุกร

- **สมรรถภาพการผลิต**

เมื่อใช้กากสบู่ดำที่ผ่านการลดสารพิษผสมในอาหารสุกรที่ระดับ ๕ และ ๑๐% ในช่วงระยะสุกรเล็ก (น้ำหนัก ๒๐-๓๐ กก.) พบว่า สมรรถภาพการผลิต (น้ำหนักตัวเพิ่ม ปริมาณอาหารที่กิน และอัตราแลกน้ำหนัก) ด้อยลงเมื่อใช้กากสบู่ดำในสูตรอาหารทดลองในระยะเวลาหนึ่ง จึงหยุดให้อาหารทดลองที่มีกากสบู่ดำ เนื่องจากสุกรมีอาการท้องเสียอย่างรุนแรง และสุกรไม่ยอมกินอาหารส่งผลให้น้ำหนักสุกรลดลง จึงให้อาหารปกติ (อาหารฐาน) จนสุกรฟื้นจากอาการท้องเสีย และมีสุขภาพดีขึ้นโดยใช้เวลาประมาณ ๔ สัปดาห์ จากนั้นให้อาหารทดลองอีกครั้งในระยะสุกรรุ่น ขณะนี้สุกรทั้ง ๔ กลุ่มที่ได้รับกากสบู่ดำยังอยู่ในระหว่างทำการทดลอง สำหรับสุกรที่ได้รับอาหารฐานที่มีกากสบู่ดำระดับ ๐% พบว่า สุกรกลุ่มนี้ใช้เวลาเลี้ยงเพียง ๙ วัน (น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย ๒๕ กก.) ซึ่งมีน้ำหนักตัวเพิ่มเฉลี่ยต่อวัน (ADG) เท่ากับ ๗๐๐ ก. ส่วนอัตราแลกน้ำหนัก เท่ากับ ๒.๑๗ โดยมีต้นทุนค่าอาหาร เท่ากับ ๓๐.๕๕ บาทต่อการเพิ่มน้ำหนักตัว ๑ กก. (ตาราง ๓๕)

ตารางที่ ๓๕ สมรรถภาพการผลิต ของสุกรเมื่อได้รับอาหารที่มีกากสบู่ดำที่ผ่านการลดสารพิษระดับต่างๆ ในช่วงระยะสุกรเล็ก (น้ำหนัก ๒๐-๓๐ กก.)

	ระดับกากสบู่ดำที่ใช้ในอาหาร (%)				
	๐	๕	๕	๑๐	๑๐
จำนวนสุกร(ตัว)	๘	๘	๘	๘	๘
น้ำหนักสุกร (กก.)					
– เริ่มต้น	๒๕.๐๐	๒๕.๐๐	๒๖.๐๐	๒๕.๓๘	๒๕.๐๐
– สุดท้าย	๓๑.๓๔	๒๒.๒๖	๒๒.๗๑	๒๐.๗๘	๒๑.๔๙
– เพิ่ม	๖.๓๔	na	na	na	na
–ADG (ก.)	๗๐๐	na	na	na	na
ปริมาณอาหารที่กิน (กก.)					
– ทั้งหมด	๑๑.๔๑	๔.๑๘	๔.๙๔	๓.๕๘	๓.๑๓
– เฉลี่ย/วัน	๑.๒๗	๐.๔๖	๐.๕๕	๐.๔๐	๐.๓๕
อัตราแลกน้ำหนัก	๒.๑๗	na	na	na	na
จำนวนวันที่เลี้ยง	๙	na	na	na	na
ต้นทุนค่าอาหาร(บาท/นน.เพิ่ม๑กก.)[๑/]	๓๐.๕๕	na	na	na	na

[๑/] อาหารสุกรผสมเอง โปรตีน ๑๘% ราคา ๑๔.๐๘, ๑๔.๔๙ และ ๑๔.๘๙ บาท/กก. (ดูรายละเอียดในตารางที่ ๑๗)

ADG = Average daily gain (น้ำหนักตัวเพิ่มเฉลี่ยต่อวัน

na = อยู่ในระหว่างการทดลอง

ปริมาณสารพิษตกค้าง

ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในเนื้อไก่

เมื่อนำเนื้ออกที่ได้จากการชำแหละไก่เนื้อเพศผู้ที่อายุ ๖ สัปดาห์ ไปวิเคราะห์หาปริมาณฟอร์บอลเอสเทอร์ ผลแสดงไว้ในตาราง ๓๖ ปรากฏว่า เมื่อเพิ่มระดับกากสบู่ดำในอาหารสูงขึ้น จะส่งผลให้ไก่ทดลองได้รับสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย 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)

$$Y = -0.0129 + 0.0097X \quad (r = 0.753 ; n = 20)$$

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

X = ระดับกากสบู่ดำในอาหาร (%) r = ค่าสหสัมพันธ์

n = จำนวนข้อมูลที่ใช้คำนวณ

ตาราง ๓๖ 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	๐.๑๘๙
S.E.M.	๐.๐๘๖	๐.๑๑๓	๐.๑๐๐	๐.๓๖๘

S.E.M. = Standard error of mean

ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในไข่ไก่

เมื่อนำไข่ไก่ที่เก็บในสัปดาห์ที่ ๓๙ (วันสุดท้ายของการทดลอง) ไปแยกไข่แดงและไข่ขาวออกจากกัน แล้ววิเคราะห์หาปริมาณฟอร์บอลเอสเทอร์ ผลแสดงไว้ในตาราง ๓๗ ปรากฏว่า เมื่อใช้กากสบู่ดำระดับสูงขึ้นในอาหาร ทำให้ไก่ไข่ทดลองได้รับสารฟอร์บอลเอสเทอร์เพิ่มขึ้น และเริ่มลดลงเมื่อมีการใช้กากสบู่ดำในอาหารที่ระดับ ๒๐% ทั้งนี้เมื่อถึงระดับที่ได้รับสารฟอร์บอลเอสเทอร์วันละ ๐.๐๒๐ มก. ไก่จะกินอาหารลดลง ดังนั้นแม้ว่าสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในสูตรอาหารจะเพิ่มขึ้นเป็น ๑๐, ๑๕ และ ๒๐% ก็ตามปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ที่ไก่ในกลุ่มดังกล่าวได้รับก็จะใกล้เคียงกันคือ ๐.๐๒๑๐, ๐.๐๒๑๕ และ ๐.๐๒๐๓ มก./วัน เท่านั้น แต่เมื่อนำไข่แดงและไข่ขาวไปวิเคราะห์กลับพบว่า ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นสูงมาก โดยเฉพาะเมื่อใช้ในระดับสูงกว่า ๑๕% ของสูตรอาหาร เมื่อนำข้อมูลปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์จากไข่แดงและไข่ขาวในแต่ละระดับไปเข้าสมการคาดคะเนเส้นตรง จะได้สมการดังนี้

ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในไข่แดง (มก./ก.)

$$Y = -0.004 + 0.002X \quad (r = 0.885 ; n = 20)$$

ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในไข่ขาว (มก./ก.)

$Y = -0.004 + 0.001X$ ($r = 0.742$; $n = 20$)

เมื่อ Y = ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ที่พบในไข่ไก่

X = ระดับกากสบู่ดำในอาหาร (%)

r = ค่าสหสัมพันธ์

n = จำนวนข้อมูลที่ใช้คำนวณ

จากสมการข้างต้น จะเห็นได้ว่าสหสัมพันธ์มีค่าสูง แสดงให้เห็นถึงความแม่นยำของสมการ นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าไข่แดงมีการสะสมสารฟอร์บอลเอสเทอร์ได้มากกว่าไข่ขาว ๒ เท่า และหากให้ไก่กินกากสบู่ดำล้วนๆ (๑๐๐%) จะพบปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในไข่แดงและไข่ขาวเท่ากับ ๐.๑๙๖ และ ๐.๐๙๖ มก./ก. ตามลำดับ

ตาราง ๓๗ ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ที่ตรวจพบในไข่ไก่ (ไข่แดงและไข่ขาว) เมื่อแม่ไก่ได้รับอาหารที่มีกากสบู่ดำที่ผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีการนึ่ง ร่วมกับใช้ ๙๒% เมทธานอลและน้ำชะล้างในระดับต่างๆ

ระดับกากสบู่ดำในอาหาร (%)	ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ที่ไก่กินเข้าไป (มก./วัน)	ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ตกค้าง	
		ไข่แดง (มก./ก.)	ไข่ขาว (มก./ก.)
๐	๐	๐	๐
๕	๐.๐๑๔๕	๐.๐๐๔	๐.๐๐๐๒
๑๐	๐.๐๒๑๐	๐.๐๐๖	๐.๐๐๐๓
๑๕	๐.๐๒๑๕	๐.๐๒๙	๐.๐๐๘๐
๒๐	๐.๐๒๐๓	๐.๐๓๕	๐.๐๒๓๐
S.E.M.	๐.๐๗๓	๐.๑๓๑	๐.๑๒๕

S.E.M. = Standard error of mean