

ผลการทดลอง

ปริมาณสารฟอรับอลเอสเทอร์ในกากสบูดำ

■ กากสบูดำจากหน่วยวิจัยสบูดำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ได้ทำการเปรียบเทียบกระบวนการลดสารพิษในกากสบูดำที่มีแหล่งมาจากศูนย์เรียนรู้ คณะเกษตรศาสตร์ ได้ทำการศึกษานี้ ๒ แบบ คือ ๑) แบบไม่ผ่านความร้อนซึ่งทำโดยใส่ ๙๐% เอทานอล ลงไปในกากสบูดำในอัตราส่วน ๑๐:๑ (v/w) ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา ๒ ชม. แล้วล้างด้วยน้ำจนหมดกลิ่น และ ๒) แบบผ่านความร้อนทั้งชนิด autoclave นึ่ง และต้ม พร้อมทั้งใส่สารแช่ชนิดต่างๆ รวม ๑๐ วิธี ตามที่แสดงไว้ในตาราง ๕ ผลแสดงไว้ในตาราง ๑๗ ปรากฏว่าการแช่กากสบูดำด้วย ๙๐% เอทานอล เป็นเวลา ๒ ชม. โดยไม่ผ่านความร้อน ทำให้ปริมาณฟอรับอลเอสเทอร์ลดลงจาก ๑.๗๑๔ มก./ก. เหลือ ๐.๒๒๔ มก./ก. เท่ากับลดลงได้ ๘๖.๙% แต่เมื่อนำไปผ่านกระบวนการต่ออีกโดยใส่ ๐.๐๗% NaHCO_๓ และนำไป autoclave เป็นเวลา ๒๐ นาที ชะล้างด้วยน้ำ กลับทำให้สารฟอรับอลเอสเทอร์ลดลงได้น้อยกว่าใช้ ๙๐% เอทานอลเพียงอย่างเดียว (ลดได้ ๖๕.๒%) แต่ที่ลดลงได้มากกว่าใช้สารแช่ชนิด ๐.๐๗% NaHCO_๓ เพียงอย่างเดียว พร้อมกับนำไป autoclave (๐.๕๙๖ vs. ๐.๔๗๔ มก./ก. หรือเท่ากับลดสารพิษได้ ๖๕.๒ vs. ๔๙.๐% ตามลำดับ) การใช้ ๔% NaOH เพียงอย่างเดียว หรือใช้ร่วมกับ ๑๐% NaOCl แช่กากสบูดำก่อนนำไป autoclave เป็นเวลา ๒๐ นาที ทั้งที่ไม่มีหรือมี ๙๒% เมทานอลเป็นตัวชะล้างก่อนใช้น้ำล้างจนหมดกลิ่น ช่วยลดสารพิษฟอรับอลเอสเทอร์ได้ ๕๗.๑-๘๐.๒% ทั้งนี้การใช้ ๙๒% เมทานอล เป็นตัวชะล้างร่วมกับน้ำ กลับทำให้ปริมาณสารพิษลดลงได้น้อยกว่าใช้น้ำเป็นตัวชะล้างเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตาม การไม่ใช้สารเคมี (๙๐% เอทานอล, ๐.๐๗% NaHCO_๓, ๔% NaOH หรือ ๑๐% NaOCl) เป็นตัวแช่กากสบูดำก่อนนำไปผ่านความร้อน ด้วยการต้ม หรือหนึ่งเป็นเวลา ๔๐ นาที ช่วยลดสารพิษได้ ๙๔.๕ และ ๘๒.๗% ตามลำดับ ในขณะที่การใช้วิธี autoclave แบบแช่น้ำก่อนสามารถลดสารพิษได้ ๙๔.๕% แต่ถ้าไม่ได้แช่น้ำกลับลดลงได้เพียง ๖๐.๘% ทั้งๆ ที่ใช้ ๙๒% เมทานอล และน้ำเป็นตัวชะล้างเหมือนกัน

ตาราง ๒๐ ปริมาณสารฟอรับอลเอสเทอร์ที่เหลือในกากสบู่อำชนิดไม่ผ่าน และผ่าน
กระบวนการลดสารพิษ

ชนิด/สารที่ใช้แ่กากสบู่อำ	วิธีการลดสารพิษ		ฟอรับอลเอสเทอร์	
	วิธีให้ความร้อน	การชะล้าง	(มก./ก.)	(% ที่ลดได้)
กากสบู่อำจาก คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่				
๑) ควบคุม (ไม่ผ่านการลดสารพิษ)			๑.๓/๑๔	-
ผ่านการลดสารพิษ				
๒) ๙๐% เอทานอล	- ^{๑/}	น้ำ	๐.๒๒๔	๘๖.๙๓
๓) -	autoclave ^{๒/}	เมทานอล + น้ำ	๐.๖๓๒	๖๐.๓๙
๔) น้ำ	autoclave ^{๒/}	เมทานอล + น้ำ	๐.๐๒๖	๙๘.๔๘
๕) ๐.๐๓% NaHCO _๓	autoclave ^{๒/}	น้ำ	๐.๘๓๔	๔๙.๐๑
๖) ๙๐% เอทานอล + ๐.๐๓% NaHCO _๓	- ^{๑/} + autoclave ^{๒/}	น้ำ	๐.๕๙๖	๖๕.๒๓
๗) ๔% NaOH	autoclave ^{๒/}	เมทานอล + น้ำ	๐.๕๒๕	๖๙.๓๓
๘) ๔% NaOH	autoclave ^{๒/}	น้ำ	๐.๓๔๐	๘๐.๑๖
๙) ๔% NaOH + ๑๐%NaOCl	autoclave ^{๒/}	น้ำ	๐.๓๓๕	๕๓.๑๒
๑๐) -	ต้ม ^{๑/}	เมทานอล + น้ำ	๐.๐๒๕	๙๘.๕๕
๑๑) -	นึ่ง ^{๑/}	เมทานอล + น้ำ	๐.๒๙๖	๘๒.๓/๓
กากสบู่อำจาก จ.ชลบุรี				
๑. ควบคุม (ไม่ผ่านการลดสารพิษ)			๑.๕๕๔	-
ผ่านการลดสารพิษ				
๒. -	ต้ม ^{๑/}	-	๐.๑๓๔	๙๐.๓/๒
๓. -	ต้ม ^{๑/}	เมทานอล + น้ำ	๐.๑๑๘	๙๑.๘๓
๔. -	ต้ม ^{๑/}	น้ำปูนใส + น้ำ	๐.๐๕๙	๙๖.๖๑
๕. -	นึ่ง ^{๑/}	-	๐.๑๘๓	๘๓.๐๕
๖. -	นึ่ง ^{๑/}	เมทานอล + น้ำ	๐.๑๕๖	๘๙.๘๙
๗. -	นึ่ง ^{๑/}	น้ำปูนใส + น้ำ	๐.๐๙๕	๙๓.๕๙

^{๑/} ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา ๒ ชั่วโมง

^{๒/} อุณหภูมิ ๑๒๑ °ซ , แรงดัน ๑๕ psi. เป็นเวลา ๒๐ นาที

^{๓/} อุณหภูมิ ๑๐๐ °ซ เป็นเวลา ๔๐ นาที (นับจากน้ำเดือด)



■ กากสบู่อำจากบริษัทที่ผลิตไบโอดีเซลในจังหวัดชลบุรี

นำมาทำการศึกษาเปรียบเทียบขบวนการลดสารพิษ ด้วยการใช้ความร้อน โดยการต้ม และนึ่ง เป็นเวลา ๔๐ นาที (หลังน้ำเดือด) ปรากฏว่า ปริมาณสารฟอรับอลเอสเทอร์ ลดลงจาก ๑.๕๕๔ มก./ก. ลงเหลือ ๐.๑๓๔ และ ๐.๑๘๓ มก./ก. หรือเท่ากับลดสารพิษได้ ๙๐.๓/๒ และ ๘๓.๐๕% ตามลำดับ เมื่อนำเอากากสบู่อำที่ผ่านการต้มและนึ่งมาชะล้างด้วยเมทานอลก่อน จากนั้นล้างด้วยน้ำสะอาดจนหมดกลิ่น พบว่า ปริมาณสารฟอรับอลเอสเทอร์ในกากที่ผ่าน

ขบวนการดังกล่าว ลดลงเหลือ ๐.๑๑๘ และ ๐.๑๕๖ มก./ก. หรือเท่ากับลดสารพิษได้ ๙๑.๘๓ และ ๘๙.๘๙% ตามลำดับ แต่เมื่อนำกากสบู่ดำที่ผ่านการต้มและนึ่ง มาชะล้างด้วยน้ำปูนใสความเข้มข้น ๔๐ ก. ของ $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{กก}$. แล้วล้างด้วยน้ำสะอาดจนหมดกลิ่น พบว่า ปริมาณสารฟอรั บอลเอสเทอร์ลดลงเหลือเพียง ๐.๐๔๙ และ ๐.๐๙๔ มก./ก. หรือลดลงได้เท่ากับ ๙๖.๖๑ และ ๙๓.๔๙% ตามลำดับ (ตาราง ๒๐)

ปริมาณสารยับยั้งทริปซินในกากสบู่ดำ

จากการเปรียบเทียบการลดสารพิษในกากสบู่ดำที่มาจากคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พบว่า กากสบู่ดำที่ยังไม่ผ่านการลดสารพิษ มีปริมาณสารยับยั้งทริปซิน เท่ากับ ๓๙.๘๒ มก./ก. แต่เมื่อนำไปลดสารพิษด้วยกระบวนการต่างๆ ดังตารางที่ ๕ ผลแสดงไว้ใน ตารางที่ ๑๘ ปรากฏว่า การแช่กากสบู่ดำด้วย ๙๐% เอทานอล เป็นเวลา ๒ ชั่วโมง โดยไม่ผ่าน ความร้อน ทำให้ปริมาณสารยับยั้งทริปซินลดลงเหลือ ๒๓.๖๖ มก./ก. เท่ากับลดลงได้ ๔๐.๕๘% แต่เมื่อนำไปผ่านกระบวนการต่ออีกโดยใส่ ๐.๐๓% NaHCO_3 และนำไป autoclave เป็นเวลา ๒๐ นาที ร่วมกับการชะล้างด้วยน้ำ ทำให้สารยับยั้งทริปซินลดลงใกล้เคียงกับการใช้ ๙๐% เอทานอล เพียงอย่างเดียว ส่วนการนำไป autoclave ด้วยวิธีอื่นๆ ที่ไม่ใช้น้ำไปแช่ในสารละลายเอทานอลทุก วิธี (แช่ในน้ำ แช่ด้วย ๔% NaOH หรือ ๐.๐๓% NaHCO_3 หรือไม่ต้องผ่านการแช่เลย) รวมทั้งไม่ว่าจะ นำไปชะล้างด้วยสารอะไรก็ตาม ทำให้ปริมาณสารยับยั้งทริปซินลดลงเหลือ ๒.๓๖-๓.๔๙ มก./ก. หรือเท่ากับลดลงได้ ๘๑.๑๙-๙๓.๐๓% อย่างไรก็ตามการนำกากสบู่ดำไปต้มหรือนึ่ง เป็นระยะเวลา ๔๐ นาที จากนั้นชะล้างด้วยเมทานอลและน้ำ โดยไม่ผ่านการแช่ในสารละลายหรือน้ำมาก่อน จะ ลดสารยับยั้งทริปซินได้เพียง ๔๗.๑๐-๖๔.๕๓%

สำหรับกากสบู่ดำที่นำมาจากบริษัทที่ผลิตไบโอดีเซลแถวจังหวัดชลบุรีนั้น เมื่อนำไปผ่าน กระบวนการให้ความร้อน ด้วยการต้ม เป็นเวลา ๔๐ นาที (นับจากน้ำเดือด) ไม่ว่าจะไม่มีหรือมีการ ชะล้างด้วยเมทานอลกับน้ำ หรือน้ำปูนใสที่มีความเข้มข้น ๔๐ ก.ของ $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{กก}$.กับน้ำก็ตาม ปรากฏว่า จะช่วยลดปริมาณสารยับยั้งทริปซินจาก ๓๙.๘๒ มก./ก. ให้ลงเหลือ ๗.๘๙-๑๓.๓๗ มก./ก. หรือเท่ากับลดลงได้ ๕๘.๓๕-๗๕.๔๓% แต่ถ้านำกากสบู่ดำชนิดนี้ไปผ่านกระบวนการนึ่ง เป็นเวลา ๔๐ นาที เช่นกัน รวมทั้งไม่ว่าจะนำไปผ่านการชะล้างหรือไม่ผ่านด้วยวิธีเดียวกับการต้ม จะช่วยลดสารยับยั้งทริปซินได้มากกว่าวิธีการต้มประมาณ ๑๐-๓๐% (ลดลง ๔๕.๒๒-๕๙.๒๕ vs. ๕๘.๓๕-๗๕.๔๓%, ตามลำดับ, ตาราง ๒๑)

ตาราง ๒๑ ปริมาณสารยับยั้งทริปซินที่เหลือในกากสบู่อำชนิดไม่ผ่าน และผ่านขบวนการลดสารพิษด้วยวิธีต่างๆ

ชนิด/สารที่ใช้แ่กากสบู่อำ	วิธีการลดสารพิษ		สารยับยั้งทริปซิน	
	วิธีให้ความร้อน	การชะล้าง	(มก./ก.)	(% ที่ลดได้)
กากสบู่อำจาก คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่				
๑) ควบคุม (ไม่ผ่านการลดสารพิษ)			๓๙.๘๒ ± ๐.๐๗	
ผ่านการลดสารพิษ				
๒) ๙๐% เอทานอล	- ^{๑/}	น้ำ	๒๓.๖๖ ± ๐.๑๗	๔๐.๕๘
๓) -	autoclave ^{๒/}	เมทานอล + น้ำ	๗.๕๙ ± ๐.๑๘	๘๑.๑๙
๔) น้ำ	autoclave ^{๒/}	เมทานอล + น้ำ	๕.๑๙ ± ๐.๓๗	๘๙.๕๘
๕) ๐.๐๗% NaHCO _๓	autoclave ^{๒/}	น้ำ	๕.๐๗ ± ๐.๑๘	๘๙.๗๘
๖) ๙๐% เอทานอล + ๐.๐๗% NaHCO _๓	+ autoclave ^{๒/}	น้ำ	๒๐.๙๕ ± ๐.๑๑	๕๗.๕
๗) ๕% NaOH	autoclave ^{๒/}	เมทานอล + น้ำ	๒.๗๖ ± ๐.๑๘	๙๓.๐๗
๘) ๕% NaOH	autoclave ^{๒/}	น้ำ	๕.๑๒ ± ๐.๑๘	๘๗.๑๕
๑๐) -	ต้ม ^{๓/}	เมทานอล + น้ำ	๑๕.๑๓ ± ๐.๒๕	๖๕.๕๓
๑๑) -	นึ่ง ^{๓/}	เมทานอล + น้ำ	๒๑.๐๗ ± ๐.๐๕	๕๗.๑๐
กากสบู่อำจาก จ.ชลบุรี				
๑) ควบคุม (ไม่ผ่านการลดสารพิษ)			๓๒.๐๙ ± ๐.๓๐	
ผ่านการลดสารพิษ				
๒) -	ต้ม ^{๑/}	-	๑๓.๓๗ ± ๐.๒๒	๕๘.๓๕
๓) -	ต้ม ^{๑/}	เมทานอล + น้ำ	๑๐.๖๕ ± ๐.๑๐	๖๖.๘๑
๔) -	ต้ม ^{๑/}	น้ำปูนใส + น้ำ	๗.๘๙ ± ๐.๓๗	๗๕.๕๓
๕) -	นึ่ง ^{๑/}	-	๑๗.๕๘ ± ๐.๑๐	๔๕.๒๒
๖) -	นึ่ง ^{๑/}	เมทานอล + น้ำ	๑๖.๙๗ ± ๐.๑๓	๔๗.๑๓
๗) -	นึ่ง ^{๑/}	น้ำปูนใส + น้ำ	๑๖.๒๙ ± ๐.๐๙	๕๙.๒๕

^{๑/} ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา ๒ ชั่วโมง

^{๒/} อุณหภูมิ ๑๒๑ °ซ , แรงดัน ๑๕ psi. เป็นเวลา ๒๐ นาที

^{๓/} อุณหภูมิ ๑๐๐ °ซ เป็นเวลา ๔๐ นาที (นับจากน้ำเดือด)

องค์ประกอบทางเคมีของกากสับุดำ

จากการนำกากสับุดำที่ไม่ผ่านและผ่านกระบวนการลดสารพิษฟอรับออลเอสเทอร์ทั้ง ๑๐ วิธี ตามที่แสดงไว้ในตาราง ๕ ไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี ได้ผลดังแสดงไว้ในตาราง ๒๔ ปรากฏว่า มีปริมาณวัตถุแห้ง เท่ากับ ๙๒.๓๕ และ ๙๒.๕๓% ตามลำดับ ส่วนโภชนะอื่นๆ มีค่าใกล้เคียงกัน ยกเว้นไขมัน ซึ่งพบว่า เมื่อนำกากสับุดำไปผ่านกระบวนการลดสารพิษจะทำให้มีปริมาณไขมันลดลงเกือบครึ่ง (๑๖.๕๕ vs. ๒๖.๗๘% DM) ค่าพลังงานรวมก็ลดลงตามไปด้วย ทั้งนี้อาจเนื่องจากในกระบวนการลดสารพิษมีการใช้ความร้อน และ/หรือสารเคมีที่ละลายไขมันได้ เมื่อนำค่าดังกล่าวไปเปรียบเทียบกับกากถั่วเหลือง พบว่า มีปริมาณโปรตีนต่ำกว่ากากถั่วเหลืองครึ่งหนึ่ง (๒๖.๘๖-๒๗.๐๘ vs. ๕๙.๕% DM) ในขณะที่มีปริมาณไขมันและเยื่อใยสูงกว่าหลายเท่า (๑๖.๕๕-๒๖.๗๘ vs. ๐.๙๐% DM และ ๒๑.๐๐-๒๒.๗๓ vs. ๗.๙๐% DM, ตามลำดับ)

สำหรับกากสับุดำที่มาจากชลบุรี (บริษัทผลิตไบโอดีเซล) ทั้งชนิดที่ไม่ผ่านและผ่านกระบวนการลดสารพิษ นำมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี ปรากฏว่า มีปริมาณวัตถุแห้ง เท่ากับ ๘๙.๕ และ ๘๗.๕% ตามลำดับ ปริมาณโปรตีนของกากสับุดำที่ผ่านกระบวนการลดสารพิษมีค่าลดลงเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ดี กากสับุดำที่มาจากชลบุรี จะมีปริมาณโปรตีนสูงกว่ากากสับุดำจากคณะเกษตรศาสตร์เล็กน้อยประมาณ ๕% ในขณะที่มีไขมันต่ำกว่าค่อนข้างมาก (๒-๓ เท่า) ปริมาณไขมันและเยื่อใยของกากสับุดำทั้ง 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 กากสับุดำที่ทำการลดสารพิษโดยวิธีการต้ม แล้วชะล้างด้วยน้ำปูนใสซึ่งศึกษาใน ๒๕๕๔ นี้ มีปริมาณโปรตีนและเยื่อใยต่ำกว่าการลดสารพิษทั้ง ๑๐ วิธี (ศึกษาในปี ๒๕๕๓) กล่าวคือ มีค่าเท่ากับ ๒๖.๓๕ 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 องค์ประกอบทางโภชนา (% DM)ของกากสับุดำที่ไม่ผ่าน และผ่านการบดลดสารพิษพอร์บอลเอสเทอร์ เทียบกับกากถั่วเหลือง

	ชนิดกากสับุดำ ^{๑/}				กากถั่วเหลือง (NRC, ๑๙๙๕)
	แหล่งที่มา : ศูนย์วิจัยฯ ^{๔/}		แหล่งที่มา : จังหวัดชลบุรี		
	ไม่ผ่านการลดสารพิษ	ผ่านการลดสารพิษ ^{๒/}	ไม่ผ่านการลดสารพิษ	ผ่านการลดสารพิษ ^{๓/}	
วัตถุแห้ง (%)	๙๒.๓๕	๙๒.๕๗±๐.๑๓๓	๘๙.๕๐	๘๗.๕๐	๘๙.๐๐
โปรตีน	๒๖.๘๖	๒๖.๓๕±๐.๖๖๔	๓๑.๙๑	๒๙.๖๑	๕๙.๕๐
ไขมัน	๒๖.๗๘	๑๘.๒๐±๐.๙๖๒	๙.๕๑	๕.๑๕	๐.๙๐
เยื่อใย	๒๑.๐๐	๒๒.๒๕±๐.๒๕๑	๒๒.๒๐	๒๗.๑๑	๗.๙๐
เถ้า	๖.๑๕	๕.๑๗±๐.๒๑๐	๗.๗๐	๕.๑๕	-
NFE	๑๙.๒๑	๒๘.๐๕±๐.๙๕๑	๒๘.๖๘	๓๑.๓๘	-
อินทรีย์วัตถุ	๙๓.๘๕	๙๕.๘๓±๐.๐๕๙	๙๒.๓๐	๙๓.๒๕	-
พลังงานรวม (kcal/g.)	๕.๐๓	๕.๙๐±๐.๐๙๐	๕.๕๕	๕.๓๕	-

^{๑/} วิเคราะห์โดยห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวศาสตร์และสัตว์น้ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

^{๒/} ข้อมูลเฉลี่ยจาก ๑๐ วิธี ส่วนผลข้อมูลในแต่ละวิธีดูรายละเอียด ได้ในตารางภาคผนวก ข.๑

^{๓/} ต้มที่อุณหภูมิ ๑๐๐ °ซ เป็นเวลา ๔๐ นาที (นับจากน้ำเดือด) ซะด้วยน้ำปูนใส และล้างด้วยน้ำสะอาด

^{๔/} ศูนย์วิจัยกากสับุดำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

การย่อยได้ของกากสับุดำ แบ่งเป็น ๒ การทดลองดังนี้

๑. การศึกษาในสัตว์ปีก

๑.๑ วิธีกรอกกากสับุดำทางปาก

การย่อยได้ของโภชนาต่างๆ ของกากสับุดำที่ไม่ผ่าน และผ่านการลดสารพิษโดยเลือกวิธีการต้มและวิธีการนึ่ง แล้วล้างด้วย ๙๒% เมทธานอลและน้ำ เมื่อนำมากรอกเข้าทางปากไก่ใช้เพศผู้ตัวละ ๓๐ ก./เพียงครั้งเดียว ผลปรากฏว่า การย่อยได้ที่แท้จริงของโปรตีน และอินทรีย์วัตถุของกลุ่มที่ผ่านการลดสารพิษทั้งสองวิธี มีค่าใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่ผ่านการลดสารพิษ กล่าวคือ มีค่าเท่ากับ ๗๙.๙๓ และ ๗๓.๕๒ 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. ๗๑.๕๕% ตามลำดับ (ตาราง ๒๓)

ตาราง ๒๓ การย่อยได้ ของกากสับุดำที่ไม่ผ่าน และผ่านการลดสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ ด้วยวิธีการต้ม หรือหนึ่งร่วมกับการใช้ ๙๒% เมทธานอลและน้ำเป็นตัวชะล้าง เมื่อศึกษาด้วยวิธีการรอกทางปาก (ค่าเฉลี่ย \pm S.D.)

การย่อยได้ที่แท้จริง (%)	ชนิดของกากสับุดำ		
	ควบคุม (ดิบ)	ต้ม ^{๑/}	นึ่ง ^{๑/}
วัตถุแห้ง	๗๑.๘๖ \pm ๔.๗๒ ^๓	๖๕.๓๗ \pm ๕.๗๖	๖๒.๓๖ \pm ๕.๒๓ ^๓
โปรตีน	๘๐.๗๖ \pm ๗.๕๓	๗๙.๙๓ \pm ๙.๙๙	๗๓.๕๒ \pm ๙.๑๖
ไขมัน	๗๑.๕๔ \pm ๗.๘๑ ^๓	๖๐.๗๕ \pm ๗.๘๐	๕๗.๖๕ \pm ๘.๐๙ ^๓
อินทรีย์วัตถุ	๗๒.๑๕ \pm ๕.๐๖	๖๘.๖๙ \pm ๕.๕๖	๖๕.๙๙ \pm ๕.๐๘

* การย่อยได้นี้เป็นแบบอนุโลม เพราะในการศึกษาไม่ได้แยกปัสสาวะออกจากมูล

^๓ ค่าเฉลี่ยในแต่ละแถวที่มีอักษรกำกับไม่เหมือนกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

^{๑/} อุณหภูมิ ๑๐๐ °ซ นับจากน้ำเดือด เป็นเวลา ๔๐ นาที

S.D. = Standard deviation

๑.๒ วิธีใช้กากสับุดำแทนที่อาหารฐาน

จากการใช้กากสับุดำทั้งที่ไม่ผ่าน และผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีการนึ่ง แล้วชะล้างด้วย ๙๒% เมทธานอลและน้ำ เมื่อนำไปแทนที่ในอาหารฐานระดับต่างๆ (๐, ๑๐, ๒๐ และ ๓๐%) เพื่อศึกษาการย่อยได้ของโภชนะต่างๆ ผลแสดงไว้ในตาราง ๒๔ ปรากฏว่า การย่อยได้ของโภชนะในกากสับุดำทั้ง ๒ ชนิด ลดลงตามการเพิ่มระดับกากสับุดำในอาหาร ในขณะที่การย่อยได้ของไขมันเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกากสับุดำมีเยื่อใยสูง จึงทำให้อาหารทดลองมีเยื่อใยสูงขึ้นตามระดับกากสับุดำในอาหาร ดังจะเห็นได้จากการย่อยได้ของเยื่อใยในสูตรอาหารฐาน (๔.๘๕% CF, ตาราง ๖) ที่ย่อยได้เพียง ๕๖.๔๗% ในขณะที่สูตรอาหารที่มีกากสับุดำทั้งที่ไม่ผ่านและไม่ผ่านการลดสารพิษแทนที่อาหารฐานระดับ ๓๐% (๙.๔๐% CF) ย่อยได้เพียง ๒๑.๓๕ และ ๒๓.๕๙% ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบชนิดของกากสับุดำจากการให้กากสับุดำแทนที่อาหารฐานทุกระดับ พบว่า พบว่า กากสับุดำที่ไม่ผ่านการลดสารพิษมีค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง และอินทรีย์วัตถุดีกว่า ในขณะที่การย่อยได้ของไขมัน และ NFE ต่ำกว่ากากสับุดำที่ผ่านการลดสารพิษโดยการนึ่งอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$; ๗๐.๖๖ vs. ๖๖.๗๑, ๖๘.๑๙ vs. ๖๓.๖๘, ๘๑.๓๗ vs. ๘๖.๕๔ และ ๖๓.๐๔ vs. ๖๖.๗๙ ตามลำดับ) ส่วนการย่อยได้ของโปรตีนและเยื่อใยในกากสับุดำ

ค่าทั้ง ๒ ชนิดไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบสหสัมพันธ์ (interaction) ระหว่างชนิดกับระดับของกากสับุดำในกรณีการย่อยได้ของวัตถุดิบ อินทรีย์วัตถุ ไขมัน และ NFE ด้วย

ตาราง ๒๔ การย่อยได้* ของโภชนะในสูตรอาหารทดลองที่ใช้กากสับุดำแทนที่อาหารฐานระดับต่างๆ

% กากสับุดำที่ใช้แทนที่อาหารฐาน	วัตถุดิบ	อินทรีย์วัตถุ	โปรตีน	ไขมัน	เยื่อใย	NFE
ไม่ผ่านการลดสารพิษ						
๐	๗/๕.๑๓ ^ก	๗/๓.๕๑ ^ก	๘๑.๕๕ ^ก	๗/๙.๖๘ ^ก	๕๖.๗/๗ ^ก	๗/๕.๕๑ ^ก
๑๐	๗/๓.๑๒ ^ก	๗/๐.๖๒ ^ก	๘๑.๕๕ ^ก	๘๓.๘๐ ^{กข}	๕๐.๙๑ ^{ขค}	๖๐.๒๕ ^{ขค}
๒๐	๖๙.๘๓ ^ข	๖๗.๒๐ ^ข	๖๕.๕๘ ^ข	๘๐.๘๘ ^{ขค}	๓๘.๗๕ ^{ขค}	๕๕.๑๕ ^ค
๓๐	๖๔.๕๕ ^ค	๖๑.๕๒ ^ค	๕๒.๖๕ ^ค	๘๑.๑๐ ^{คค}	๓๕.๗๑ ^ค	๖๒.๒๕ ^{คค}
เฉลี่ย	๗๐.๖๖^ก	๖๘.๑๙^ก	๖๗.๘๐	๘๑.๓๗^บ	๕๓.๐๓	๖๓.๐๕^บ
ผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีการนึ่ง						
๐	๗/๕.๑๓ ^ก	๗/๓.๕๑ ^ก	๘๑.๕๕ ^ก	๗/๙.๖๘ ^ก	๕๖.๗/๗ ^ก	๗/๕.๕๑ ^ก
๑๐	๖๙.๖๑ ^ข	๖๖.๗๐ ^ข	๗๖.๕๗ ^ก	๙๒.๕๗ ^ก	๕๐.๘๖ ^{กข}	๖๘.๕๕ ^{กข}
๒๐	๖๕.๒๖ ^ค	๖๐.๘๕ ^ค	๖๓.๕๐ ^ข	๘๘.๙๑ ^ข	๕๖.๙๕ ^{ขค}	๖๓.๙๓ ^{ขค}
๓๐	๕๗.๘๕ ^ค	๕๓.๖๖ ^ค	๕๘.๑๒ ^ค	๘๕.๐๑ ^ค	๓๖.๓๕ ^ค	๕๙.๑๗ ^ค
เฉลี่ย	๖๖.๗๑^บ	๖๓.๖๘^บ	๖๗.๓๙	๘๖.๕๕^ก	๕๗.๗/๗	๖๖.๗/๙^ก
Probability						
ระดับกากสับุดำ		**	**	*	**	*
ชนิดกากสับุดำ		**	**	NS	**	NS
ชนิดกากสับุดำ×ระดับกากสับุดำ		*	*	NS	**	NS

* เช่นเดียวกับตาราง ๑๙

^ก ชนิดของกากสับุดำมีผลต่อระดับกากสับุดำที่ใช้แทนที่อาหารฐาน

^{ก,บ} ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์ที่มีอักษรกำกับไม่เหมือนกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<๐.๐๕)

การย่อยได้ของโภชนะต่างๆ ในกากสับุดำที่ผ่าน และไม่ผ่านการลดสารพิษ เมื่อคำนวณด้วยวิธี Different method และ Régression method ได้ผลดังแสดงไว้ในตาราง ๒๕ ปรากฏว่า ค่าการย่อยได้ของโภชนะส่วนใหญ่ที่ศึกษาจากวิธีการทั้งสองไม่แตกต่างกันมากนัก เมื่อเฉลี่ยจากทั้งสองวิธี พบว่า โปรตีนในกากสับุดำทั้ง ๒ ชนิด ใช้ประโยชน์ได้น้อย (๙.๙๖ vs. ๑๑.๐๓%) ในขณะที่ไขมันสามารถใช้ประโยชน์ได้ค่อนข้างมากในกากสับุดำที่ผ่านและไม่ผ่านการลดสารพิษ (๖๗.๗/๗ vs. ๗๖.๐๕%) สำหรับอินทรีย์วัตถุใช้ประโยชน์ได้พอควรในกากสับุดำ

ค่าทั้ง ๒ ชนิด (๒๖.๕๐ vs. ๒๕.๐๘% ตามลำดับ) แต่กากสบู้นี้ใช้ประโยชน์ได้น้อย จากวัตถุแห้ง เยื่อใย และ NFE (๑๙.๕ vs. ๑๖.๓๖% ; ๒๒.๙๒ vs. ๑๖.๙๒% และ ๑๘.๕๐ vs. ๒๑.๑๒%, ตามลำดับ)

ตาราง ๒๕ ค่าการย่อยได้^{๑/} (%) ของกากสบู้นี้เมื่อคำนวณโดยวิธี Different method และ Regression method

	ไม่ผ่านการลดสารพิษ			ผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีการนี้		
	Different Method ^{๒/}	Regression Method ^{๓/}	เฉลี่ย	Different method ^{๑/}	Regression method ^{๒/}	เฉลี่ย
วัตถุแห้ง	๑๖.๒๙	๒๒.๘๒	๑๙.๕๕	๑๕.๕๒	๑๘.๑๐	๑๖.๓๖
อินทรีย์วัตถุ	๑๘.๕๕	๓๕.๕๕	๒๖.๕๐	๓๑.๐๓	๑๙.๐๙	๒๕.๐๘
โปรตีน	๕.๖๓	๑๕.๒๕	๙.๙๖	๑๐.๙๐	๑๑.๑๖	๑๑.๐๓
ไขมัน	๖๕.๖๓	๖๙.๘๓	๖๗.๗๓	๗๙.๖๘	๗๒.๕๐	๗๖.๐๕
เยื่อใย	๑๘.๓๙	๒๗.๕๕	๒๒.๙๒	๒๑.๕๕	๑๒.๓๑	๑๖.๙๒
NFE	๑๕.๙๖	๒๑.๘๕	๑๘.๕๐	๒๑.๐๑	๒๑.๒๓	๒๑.๑๒

^{๑/} เช่นเดียวกับตาราง ๑๙

$$\text{การย่อยได้ของ โภชนะในกากสบู้นี้} = \left[\frac{\text{ปริมาณโภชนะที่ย่อยได้ใน สุตรอาหารที่ระดับทดสอบ}}{\text{ปริมาณโภชนะที่ได้รับจากกากสบู้นี้}} \right] - \left[\frac{\text{โภชนะนั้นที่ได้รับจากอาหารฐาน} \times \text{\%การย่อยได้ของโภชนะในอาหารฐาน}}{\text{ปริมาณโภชนะที่ได้รับจากกากสบู้นี้}} \right]$$

^{๓/} สมการคาดคะเนสำหรับทำนายค่าการย่อยได้ของโภชนะแต่ละชนิด ดังนี้

กากสบู้นี้ชนิดไม่ผ่านการลดสารพิษ

วัตถุแห้ง ; $Y = ๓/๕.๒๑๙ - ๐.๕๓๑X_๐$
($r = ๐.๘๘๘ n = ๑๖$)

อินทรีย์วัตถุ ; $Y = ๓/๕.๑๓๙ - ๐.๓๙๓X_๐$
($r = ๐.๘๙๗ n = ๑๖$)

โปรตีน ; $Y = ๘๗/๖๖๓ - ๐.๓๒๕X_๐$
($r = ๐.๙๒๑ n = ๑๖$)

ไขมัน ; $Y = ๘๑.๑๖๖ - ๐.๑๑๓X_๐$
($r = ๐.๙๕๐ n = ๑๖$)

เยื่อใย ; $Y = ๕๒.๘๓๖ - ๐.๒๕๕X_๐$
($r = ๐.๗๔๕ n = ๑๖$)

NFE ; $Y = ๖๗.๙๕๑ - ๐.๕๖๑X_๐$
($r = ๐.๘๘๑ n = ๑๖$)

กากสบู้นี้ชนิดผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีการนี้

วัตถุแห้ง ; $Y = ๓/๕.๒๙๕ - ๐.๕๓๒X_๐$
($r = ๐.๙๖๖ n = ๑๖$)

อินทรีย์วัตถุ ; $Y = ๓/๓.๕๘๗ - ๐.๕๕๕X_๐$
($r = ๐.๙๖๘ n = ๑๖$)

โปรตีน ; $Y = ๘๕.๓๖๓ - ๐.๓๒๒X_๐$
($r = ๐.๙๕๙ n = ๑๖$)

ไขมัน ; $Y = ๘๕.๖๙๘ - ๐.๑๒๓X_๐$
($r = ๐.๗๒๙ n = ๑๖$)

เยื่อใย ; $Y = ๕๗.๕๐๙ - ๐.๕๕๒X_๐$
($r = ๐.๘๙๒ n = ๑๖$)

NFE ; $Y = ๓/๕.๘๓๒ - ๐.๕๓๖X_๐$
($r = ๐.๘๕๘ n = ๑๖$)

๒. การศึกษาในสุกร

วิธีใช้กากสับุดำแทนที่อาหารฐาน

จากการใช้กากสับุดำที่ผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีการต้ม แล้วนำไปแทนที่ในอาหารฐานที่ระดับ ๕% เพื่อศึกษาการย่อยได้ของโภชนะต่างๆ ผลแสดงไว้ในตาราง ๒๖ ปรากฏว่า การย่อยได้เมื่อทดแทนกากสับุดำในอาหารฐาน มีค่าลดต่ำกว่าอาหารฐาน ไม่ว่าจะ เป็นค่า วัตถุแห้ง อินทรีย์วัตถุ โปรตีน ไขมัน และ NFE (๘๕.๕๖ ± ๔.๔๔ vs. ๘๒.๘๖ ± ๓.๙๒ , ๘๘.๐๙ ± ๔.๑๑ vs. ๘๕.๓๗ ± ๔.๒๕ , ๘๓.๖๘ ± ๓.๒๔ vs. ๘๔.๙๔ ± ๓.๙๓ , ๘๓.๕๕ ± ๔.๙๕ vs. 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) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ปริมาณเยื่อใยในสูตรอาหารมีเพิ่มมากขึ้นเมื่อใช้กากสับุดำ

เมื่อนำตัวที่อดอาหารมาคำนวณค่าการย่อยได้จริง พบว่า การย่อยได้จริงมีค่า สูงกว่าค่าการย่อยได้ปรากฏ

ตาราง ๒๖ การย่อยได้^a ของโภชนะในสูตรอาหารทดลองที่ใช้กากสับุดำแทนที่อาหารฐานระดับ ต่างๆ

	% กากสับุดำที่แทนที่อาหารฐาน			
	๐		๕	
	การย่อยได้ปรากฏ	การย่อยได้จริง ^a	การย่อยได้ปรากฏ	การย่อยได้จริง ^a
วัตถุแห้ง	๘๕.๕๖ ± ๔.๔๔	๘๓.๒๔ ± ๔.๓๒	๘๒.๘๖ ± ๓.๙๒	๘๖.๐๘ ± ๔.๖๒
อินทรีย์วัตถุ	๘๘.๐๙ ± ๔.๑๑	๘๙.๕๓ ± ๓.๙๙	๘๕.๓๗ ± ๔.๒๕	๘๘.๕๓ ± ๔.๘๖
โปรตีน	๘๓.๖๘ ± ๓.๒๔	๘๘.๘๒ ± ๓.๑๓	๘๔.๙๔ ± ๓.๙๓	๘๓.๐๕ ± ๔.๓๐
ไขมัน	๘๓.๕๕ ± ๔.๙๕	๘๔.๙๖ ± ๔.๙๐	๘๑.๖๔ ± ๖.๑๖	๘๔.๕๑ ± ๖.๔๓
เยื่อใย	๓๘.๘๕ ± ๑๕.๘๕	๔๔.๕๒ ± ๑๕.๕๕	๕๘.๒๑ ± ๑๑.๐๒	๖๔.๐๕ ± ๑๓.๐๔
NFE	๙๔.๒๒ ± ๓.๖๕	๙๕.๐๕ ± ๓.๕๓	๙๓.๓๑ ± ๒.๐๔	๙๔.๘๕ ± ๑.๙๓

^a การย่อยได้จริง (%) = ปริมาณโภชนะที่กิน - (โภชนะที่ขับออกในมูล - โภชนะที่ขับออกในมูลของสุกรตัวอดอาหาร) × ๑๐๐ / ปริมาณโภชนะที่กิน

ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของกากสับุดำ แบ่งเป็น ๒ การทดลอง ดังนี้

๑. การศึกษาในสัตว์ปีก

๑.๑ วิธีกรอกกากสับุดำทางปาก

จากการให้ไก่ไข่เพศผู้ได้รับกากสับุดำล้วนๆ (๓๐ ก./เพียงครั้งเดียว) ด้วยวิธีกรอกปาก เพื่อหาค่า ME ผลแสดงไว้ในตาราง ๑๗ ปรากฏว่า ME แบบปรากฏ (AME) มีค่าต่ำกว่าค่า ME แบบแท้จริง (TME) ทั้งในกากสับุดำชนิดที่ไม่ผ่านและผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีการต้ม หรือหนึ่งแล้วใช้ ๙๒% เมทานอลและน้ำเป็นตัวชะล้าง (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 แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดของกากสับุดำ พบว่า กากสับุดำทั้งชนิดที่ไม่ผ่าน 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 ($P>0.05$)

ตาราง ๒๗ ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้แบบปรากฏและแท้จริง (AME และ TME) ของกากสับุดำที่ไม่ผ่าน (กลุ่มควบคุม) และผ่านการลดสารฟอร์บออลเฮสเทอร์ ด้วยวิธีการต้มหรือหนึ่งร่วมกับการใช้ ๙๒% เมทานอลและน้ำเป็นตัวชะล้าง (kcal/g. DM)

เบอร์ไก่ ทดลอง	AME			TME		
	ควบคุม	ต้ม ^{๑/}	หนึ่ง ^{๑/}	ควบคุม	ต้ม ^{๑/}	หนึ่ง ^{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	๒.๐๓/๔	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 นับจากหน้าเด็ด เป็นเวลา ๔๐ นาที

S.E.M. = Standard error of mean

S.D. = Standard deviation

ทุกกลุ่มให้ผลไม่แตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$)

๑.๒ วิธีใช้กากสับุดำแทนที่อาหารรฐาน

การใช้กากสับุดำที่ไม่ผ่านและผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีการนี้้ง แล้วใช้ ๙๒% เมทธานอลและน้ำเป็นตัวชะล้าง แทนที่อาหารรฐานที่ระดับ ๐, ๑๐, ๒๐ และ ๓๐% พบว่า เมื่อเพิ่มสัดส่วนการแทนที่ของกากสับุดำให้สูงขึ้น ค่า AME ของสูตรอาหารทดลองจากการใช้กากสับุดำทั้ง ๒ ชนิด มีค่าลดลง กล่าวคือ ลดลงจาก ๓.๑๑๓ เป็น ๒.๙๑๐, ๒.๘๘๑ และ ๒.๘๖๓ kcal/g DM และ ๓.๑๑๓ เป็น ๓.๐๘๕, ๓.๐๗๔ และ ๒.๙๖๐ kcal/g DM ตามลำดับ

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

แบบใช้กากสับุดำที่ไม่ผ่านการลดสารพิษ

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

แบบใช้กากสับุดำที่ผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีการนี้้ง

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

- เมื่อ
- Y = ค่า AME ของกากสับุดำ (kcal/g. DM)
 - X = ระดับการใช้กากสับุดำแทนที่ในอาหารรฐาน (%)
 - r = ค่าสหสัมพันธ์
 - n = จำนวนข้อมูลที่ใช้คำนวณ

ตาราง ๒๘ ค่า AME ของสูตรอาหารและกากสับดูตำชนิดไม่ผ่านและผ่านการลดสารพิษ ด้วยวิธีการนึ่ง ที่ศึกษาในไก่ไข่เพศผู้โดยวิธีการแทนที่ในอาหารฐานระดับต่างๆ เปรียบเทียบกับวิธีการอกกากสับดูตำทางปาก

ระดับกากสับดูตำที่ใช้แทนที่ อาหารฐาน (%)	ไม่ผ่านการลดสารพิษ		ผ่านการลดสารพิษ	
	AME _{สูตรอาหาร}	AME ^{๑/} _{กากสับดูตำ}	AME _{สูตรอาหาร}	AME ^{๑/} _{กากสับดูตำ}
	← (kcal/g. DM) →			
๐ (อาหารฐาน)	๓.๑๑๓	-	๓.๑๑๓	-
๑๐	๒.๙๖๐	๑.๐๘๓	๓.๐๘๕	๒.๘๔๑
๒๐	๒.๘๘๑	๑.๙๕๕	๓.๐๗๕	๒.๙๒๒
๓๐	๒.๘๖๓	๒.๒๘๐	๒.๙๖๐	๒.๖๐๓
เฉลี่ย	-	๑.๗๗๒ ± ๐.๖๒	-	๒.๗๘๘ ± ๐.๑๗
๑๐๐ (Regression)	-	๒.๒๕๘	-	๒.๓๒๙
๑๐๐ (Force feeding) ^{๒/}	-	๒.๑๔๑ ± ๐.๑๒๑	-	๒.๑๔๙ ± ๐.๐๙

^{๑/} คำนวณด้วยสูตร $AME_{กากสับดูตำ} = \frac{AME_{อาหารผสมที่ระดับทดสอบ} - (\% \text{ อาหารฐานที่ระดับทดสอบ} \times AME_{อาหารฐาน})}{\% \text{ กากสับดูตำที่ระดับนั้นๆ}}$

^{๒/} ดูตาราง ๑๗

๒. การศึกษาในสุกร

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



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

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

การใช้กากสับดูดำเป็นอาหารไก่เนื้อ

สมรรถภาพการผลิต

เมื่อใช้กากสับดูดำที่ผ่านการนึ่ง เป็นเวลา ๔๐ นาที แล้วใช้ ๙๒% เมทานอลและน้ำเป็นตัวชะล้าง เพื่อลดสารฟอรับอลเอสเทอร์ ผสมในอาหารไก่เนื้อเพศผู้ที่ระดับ ๐, ๕, ๑๐, ๑๕ และ ๒๐% ในช่วงไก่อายุ ๒-๖ สัปดาห์ ผลปรากฏว่า สมรรถภาพการผลิต (น้ำหนักตัวเพิ่ม ปริมาณอาหารที่กิน และอัตราแลกน้ำหนัก) ต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ตามระดับการเพิ่มขึ้นของกากสับดูดำในอาหาร ตรงข้ามกับอัตราการตายที่มีสัดส่วนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตามการเพิ่มกากสับดูดำในอาหารเช่นกัน ยกเว้นการใช้ที่ระดับ ๕% ให้ผลไม่ต่างจากกลุ่มควบคุม นอกจากนี้ยังพบอาการข้อขาบวมเกิดขึ้นกับตัวไก่ ทำให้ไก่ไม่สามารถยืนและเดินไปกินอาหารและน้ำได้ ปริมาณอาหารที่ไก่กินได้จึงลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจนเมื่อใช้กากสับดูดำระดับสูง ส่งผลให้สมรรถภาพการผลิตต่ำลง และอัตราการตายเพิ่มขึ้นดังได้กล่าวแล้ว (ตาราง ๓๐)

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

ได้น้อยลง และมีน้ำหนักตัวเพิ่มต้อยกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนอัตราการตายจะพบว่า มีสัดส่วนเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อใช้ตั้งแต่ระดับ ๑๐% ขึ้นไป สำหรับสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง (อายุไก่ ๖ สัปดาห์) ปรากฏว่า การใช้กากสับุดำที่ลดสารพิษด้วยวิธีการนึ่งในสูตรอาหารทุกระดับ มีผลทำให้สมรรถภาพการผลิตเร็วกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นอัตราการตายเฉพาะการใช้ในระดับ ๕% เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมซึ่งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ ๑.๔๕ และ ๑.๘๒% หรือเท่ากับมีไก่ตายจำนวน ๔ และ ๕ ตัว ตามลำดับ

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

กากสับุดำ ในอาหาร (%)	น้ำหนักตัวเพิ่ม(กก.) ^{a/}	ปริมาณอาหารที่กิน(กก.) ^{a/}	อัตราแลกน้ำหนัก	อัตราการตาย (%)
๐	๒.๓๑ ^ก	๔.๑๖ ^ก	๑.๘๐ ^ก	๓.๒๑ ^ก
๕	๑.๙๙ ^ข	๓.๗๗ ^ข	๑.๙๐ ^ข	๒.๘๖ ^ข
๑๐	๑.๕๖ ^ค	๒.๙๙ ^ค	๑.๙๒ ^ค	๒๓.๐๘ ^ค
๑๕	๑.๑๙ ^ด	๒.๓๙ ^ด	๒.๐๑ ^ด	๖๔.๑๘ ^ด
๒๐	๐.๙๑ ^ง	๑.๙๘ ^ง	๒.๑๙ ^ง	๘๕.๓๖ ^ง
S.E.M.	๐.๐๐๖	๐.๙๒	๐.๐๓	๗.๖๗

^{ก-ง} ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์ที่มีอักษรกำกับไม่เหมือนกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

^{a/} น้ำหนักตัวเพิ่มและปริมาณอาหารที่กินของลูกไก่ในสัปดาห์แรก (อายุ ๑-๗ วัน) เท่ากับ ๑๓๘.๖๕ และ ๑๓๖.๐๘ ก./ตัวตามลำดับ ซึ่งไม่ได้นำมารวมด้วย

S.E.M. = Standard error of mean

ตาราง ๓๑ สมรรถภาพการผลิต และอัตราการตายของไก่เนื้อเพศผู้ในแต่ละช่วงอายุ เมื่อได้รับอาหารที่มีกากสับดูต้าที่ผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีการหนึ่ง ร่วมกับใช้ ๙๒% เมทธานอลและน้ำเป็นตัวชะล้างระดับต่างๆ

กากสับดูต้า ในอาหาร(%)	น้ำหนักตัวเพิ่ม (กก.)	ปริมาณอาหารที่กิน (กก.)	อัตราแลกน้ำหนัก	อัตราการตาย (%)
สัปดาห์ที่ ๒-๓				
๐	๐.๖๕๖ ^ก	๐.๘๑๐ ^ก	๑.๒๖ ^ข	๐.๓๖ ^ค
๕	๐.๕๔๓ ^ข	๐.๗๑๕ ^ข	๑.๓๒ ^ข	๐.๓๖ ^ค
๑๐	๐.๕๐๗ ^ค	๐.๖๘๗ ^ข	๑.๓๖ ^ข	๑.๕๓ ^ค
๑๕	๐.๓๙๙ ^ค	๐.๕๕๗ ^ค	๑.๓๗ ^ข	๒.๕๐ ^ค
๒๐	๐.๓๐๑ ^ค	๐.๕๖๓ ^ค	๑.๕๕ ^ก	๖.๐๗ ^ก
S.E.M.	๐.๑๒	๐.๑๓	๐.๒๗	๒.๓๕
สัปดาห์ที่ ๔-๕				
๐	๑.๑๓๑ ^ก	๒.๐๒๒ ^ก	๑.๗๙ ^ก	๑.๐๘ ^ค
๕	๐.๙๘๓ ^ข	๑.๘๐๘ ^ข	๑.๘๕ ^ข	๐.๙๕ ^ค
๑๐	๐.๗๕๘ ^ค	๑.๓๙๙ ^ค	๑.๘๗ ^ข	๘.๓๘ ^ค
๑๕	๐.๕๖๘ ^ค	๑.๑๐๗ ^ค	๑.๙๕ ^ก	๔๐.๖๙ ^ก
๒๐	๐.๔๐๗ ^ค	๐.๘๓๐ ^ค	๒.๐๕ ^ก	๖๙.๖๐ ^ก
S.E.M.	๐.๓๐	๐.๔๙	๐.๒๗	๖.๒๕
สัปดาห์ที่ ๖				
๐	๐.๕๙๔ ^ก	๑.๓๓๒ ^ก	๒.๕๙ ^ก	๑.๘๒ ^ค
๕	๐.๕๖๕ ^ข	๑.๒๕๐ ^ข	๒.๗๐ ^ก	๑.๕๕ ^ค
๑๐	๐.๓๐๒ ^ค	๐.๘๙๘ ^ค	๒.๙๘ ^ข	๑๕.๘๒ ^ค
๑๕	๐.๒๒๑ ^ค	๐.๗๓๕ ^ค	๓.๓๕ ^ข	๓๘.๐๐ ^ค
๒๐	๐.๑๙๗ ^ค	๐.๖๘๕ ^ค	๓.๕๗ ^ก	๔๙.๑๒ ^ก
S.E.M.	๐.๑๕	๐.๓๐	๐.๘๖	๕.๕๘

^{ก-ง} 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 มีสัดส่วนลดลงอย่างมีนัยสำคัญตามระดับการเพิ่มขึ้นของกากสบูดำในอาหาร แต่ทุกกลุ่มมี เปอร์เซ็นต์ซากสูงกว่า ๘๐% ส่วนอวัยวะภายใน ซึ่งศึกษาเฉพาะเครื่องในรวมและไขมันในช่องท้อง ผลปรากฏว่า สัดส่วนของเครื่องในรวมมีค่าสูงขึ้น ในขณะที่ไขมันในช่องท้องมีการสะสมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ตามระดับการเพิ่มขึ้นของกากสบูดำในอาหาร โดยจะลดต่ำสุดเหลือเพียง ๐.๕๐% ของน้ำหนักตัว เมื่อใช้กากสบูดำที่ระดับ ๒๐% จัดได้ว่าแทบจะไม่มี การสะสมไขมันในช่องท้องของตัวไก่เลย สำหรับปริมาณเนื้อ ซึ่งประกอบด้วยเนื้ออก เนื้อน่องและเนื้อสะโพก พบว่า มีสัดส่วนลดลงตามระดับการใช้กากสบูดำที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหารเช่นกัน โดย สัดส่วนของเนื้ออกลดลงค่อนข้างมากประมาณ ๕.๒% ในขณะที่เนื้อน่องและเนื้อสะโพกลดลงเพียง ๐.๘% และ ๑.๕% เมื่อใช้กากสบูดำระดับ ๒๐% เทียบกับกลุ่มควบคุม ตามลำดับ

อย่างไรก็ดี เมื่อพิจารณาที่สัดส่วนของปีก กลับพบว่า มีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อใช้กากสบูดำที่ระดับ ๒๐% การใช้ที่ระดับต่ำกว่านี้ให้ผลไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม (ตาราง ๓๒)

ตาราง ๓๒ เปอร์เซ็นต์ซาก น้ำหนักอวัยวะภายใน ปริมาณเนื้อและปีกของไก่เนื้อเพศผู้ที่อายุ ๖ สัปดาห์ เมื่อได้รับอาหารที่มีกากสบูดำที่ผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีการหนึ่ง ร่วมกับใช้ ๙๒% เมททานอลและน้ำเป็นตัวชะล้างระดับต่างๆ เป็นเวลา ๕ สัปดาห์

กากสบูดำในอาหาร (%)	๐	๕	๑๐	๑๕	๒๐	S.E.M.
เปอร์เซ็นต์ซาก ^๑	๘๕.๕๒ ^๑	๘๓.๕๒ ^๒	๘๒.๑๖ ^๒	๘๒.๐๗ ^๑	๘๐.๓๒ ^๒	๐.๕๐
อวัยวะภายใน (% น้ำหนักตัว)						
เครื่องในรวม	๙.๓๖ ^๑	๙.๗๖ ^{๑๖}	๑๐.๒๗ ^๑	๑๑.๖๑ ^๒	๑๒.๙๖ ^๑	๑.๕๑
ไขมันช่องท้อง	๒.๗๕ ^๑	๑.๗๗ ^๒	๑.๐๙ ^๑	๐.๙๐ ^๑	๐.๕๐ ^๑	๐.๑๘
ปริมาณเนื้อ (% น้ำหนักตัว)						
เนื้ออก	๑๙.๕๑ ^๑	๑๘.๕๖ ^๒	๑๗.๖๙ ^๑	๑๕.๗๕ ^๑	๑๕.๓๗ ^๑	๐.๕๘
เนื้อน่อง	๑๐.๕๕ ^๑	๙.๘๓ ^๑	๙.๘๑ ^๑	๙.๖๗ ^๑	๙.๖๑ ^๑	๐.๑๐
เนื้อสะโพก	๑๑.๗๒ ^๑	๑๑.๓๑ ^{๑๖}	๑๐.๘๒ ^{๑๖}	๑๐.๗๐ ^{๑๖}	๑๐.๒๕ ^๑	๐.๑๕
ปีก (% น้ำหนักตัว)	๗.๖๙ ^๑	๗.๘๐ ^๑	๗.๗๕ ^{๑๖}	๗.๙๕ ^{๑๖}	๘.๑๐ ^๑	๐.๐๖

^{๑-๖} ค่าเฉลี่ยในแต่ละแถวที่มีอักษรกำกับไม่เหมือนกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<๐.๐๕)

^๑ คำนวณจากน้ำหนักตัวไก่ที่เอาเครื่องในออกทั้งหมดเทียบกับน้ำหนักไก่เมื่อมีชีวิตก่อนชำแหละ

S.E.M. = Standard error of mean

ต้นทุนการผลิตเนื้อไก่

เมื่อพิจารณาต้นทุนการผลิต โดยคำนวณเฉพาะค่าอาหารอย่างเดียว และใช้ราคาวัตถุดิบตามราคาเฉลี่ยในท้องตลาด ส่วนกากสบูดำที่ผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีการนึ่ง ร่วมกับใช้ ๙๒% เมทธานอลและน้ำเป็นตัวชะล้าง กำหนดให้มีราคาก็โลกรัมละ ๕ บาท ผลแสดงไว้ในตาราง ๓๓ ปรากฏว่า อาหารผสมกากสบูดำมีราคาถูกลงตามระดับการใช้กากสบูดำในสูตรอาหาร แต่เนื่องจากประสิทธิภาพการใช้อาหารด้อยลงเมื่อมีการใช้กากสบูดำ จึงทำให้ต้นทุนการผลิตไก่เนื้อต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยกลุ่มที่ใช้กากสบูดำระดับ ๕% มีต้นทุนการผลิตสูงกว่าเล็กน้อย (๐.๖๕ บาท/กก.)

ตาราง ๓๓ ต้นทุนค่าอาหารในการผลิตไก่เนื้อเพศผู้ที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมกากสบูดำที่ผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีการนึ่ง ร่วมกับใช้ ๙๒% เมทธานอลและน้ำเป็นตัวชะล้างที่ระดับต่างๆ ในช่วงอายุ ๒-๖ สัปดาห์

กากสบูดำ ในอาหาร (%)	น้ำหนักตัวเพิ่ม (กก.)	อัตราแลก น้ำหนัก	ต้นทุนค่าอาหาร ^{๑/}	
			(บาทต่อตัว)	(บาท/กก.น้ำหนักตัวเพิ่ม)
๐	๒.๓๑ ^๑	๑.๘๐ ^๑	๕๕.๓๓	๒๔.๓๔
๕	๑.๙๙ ^๑	๑.๙๐ ^๑	๔๘.๓๑	๒๔.๙๙
๑๐	๑.๕๖ ^๑	๑.๙๒ ^๑	๓๗.๖๙	๒๕.๗๑
๑๕	๑.๑๙ ^๑	๒.๐๑ ^๑	๒๙.๒๙	๒๖.๗๑
๒๐	๐.๙๑ ^๑	๒.๑๙ ^๑	๒๓.๔๕	๒๗.๔๘
S.E.M.	๐.๐๐๖	๐.๐๓	-	-

^{๑/} ดูตาราง ๘-๑๐

การใช้กากสบูดำเป็นอาหารไก่ไข่

สมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่

การใช้กากสบูดำที่ผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีการนึ่ง ร่วมกับใช้ ๙๒% เมทธานอลและน้ำเป็นตัวชะล้าง ในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับ ๕, ๑๐, ๑๕ และ ๒๐% เป็นระยะเวลา ๑๒ สัปดาห์ (๘๔ วัน) ผลแสดงไว้ในตาราง ๓๔ ปรากฏว่า ผลผลิตไข่และปริมาณอาหารที่กิน มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยจะลดลงตามระดับการเพิ่มขึ้นของกากสบูดำในอาหาร (๘๘.๔๔, ๕๑.๕๔, ๑๗.๓๔ และ ๑๐.๐๘ VS. ๙๔.๒๙%; ๙๗.๗/๑, ๗/๐.๗/๓, ๔๘.๓๐ และ

๓๔.๒๑ vs. ๑๐๘.๖๙ ก./วัน, ตามลำดับ) จึงทำให้ประสิทธิภาพการใช้อาหาร (ปริมาณอาหารที่ใช้ต่อการผลิตไข่ ๑ โหล หรือ ๑ กก.) ต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเพิ่มระดับการใช้กากสับุดำ ยกเว้นเมื่อใช้กากสับุดำระดับต่ำสุด (๕%) ให้ผลไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม (ใช้กากสับุดำ ๐%) ส่วนน้ำหนักตัวเพิ่มของแม่ไก่ตลอดระยะเวลาทดลองมีค่าลดลง โดยมีน้ำหนักตัวน้อยกว่าช่วงเริ่มต้นทดลองในกลุ่มที่ใช้กากสับุดำระดับสูง (๑๕-๒๐%, -๑๖.๗ และ -๕๐.๔ ก.) สำหรับอัตราการตาย พบว่า มีการตายเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อใช้กากสับุดำตั้งแต่ระดับ ๑๕% ขึ้นไป

ผลด้านคุณภาพไข่ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม คะแนนสีไข่แดงมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตามระดับการใช้กากสับุดำเพิ่มขึ้นในอาหาร โดยเพิ่มจาก ๘.๐ แต้ม ไปเป็น ๘.๔-๘.๙ แต้ม ส่วนผลด้านความหนาเปลือกไข่ พบว่า ต่ำลงเมื่อใช้กากสับุดำที่ระดับ ๑๐-๒๐% ในขณะที่ค่า Haugh unit ให้ผลไม่แตกต่างกันในทุกกลุ่ม ไม่ว่าจะใช้หรือไม่ใช้กากสับุดำในอาหาร สำหรับการนํ้าหนักไข่ การใช้กากสับุดำในอาหารที่ระดับ ๑๐-๒๐% ทำให้นํ้าหนักไข่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม จึงมีผลทำให้ได้ไข่ขนาดกลางถึงใหญ่คือ เบอร์ ๐, ๑, ๒ และ ๓ น้อยลง เมื่อมีการใช้กากสับุดำระดับสูง แต่ได้ไข่ขนาดเล็กนํ้าหนักน้อย (เบอร์ ๔, ๕ และ ๖) จำนวนมาก (ตาราง ๓๔)

ต้นทุนการผลิตไข่ไก่

เมื่อพิจารณาต้นทุนการผลิตไข่โดยคำนวณเฉพาะค่าอาหารอย่างเดียว และใช้ราคาวัตถุดิบตามราคาเฉลี่ยในท้องตลาด เช่นเดียวกับการศึกษาในไก่เนื้อ ผลแสดงไว้ในตาราง ๓๕ ปรากฏว่า อาหารทดลองมีราคาถูกลงตามระดับการใช้กากสับุดำในสูตรอาหาร (ดูตาราง ๑๑) แต่เนื่องจากประสิทธิภาพการใช้อาหารเพื่อการผลิตไข่ ประกอบกับผลผลิตไข่ของแม่ไก่ในกลุ่มต่างๆ ต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญ จึงทำให้ต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตไข่ ๑ โหล หรือ ๑ กก. มีราคาสูงขึ้นตามระดับการเพิ่มการใช้กากสับุดำในอาหาร ยกเว้นกลุ่มที่ใช้กากสับุดำที่ระดับต่ำสุด (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 เมื่อได้รับอาหารที่มีกากสับุดำที่ผ่านการลดสารพิษ ด้วยวิธีการนึ่งระดับต่างๆ ในช่วงไก่อายุ ๒๘-๓๙ สัปดาห์

กากสับุดำในอาหาร (%)	๐	๕	๑๐	๑๕	๒๐	S.E.M.
สมรรถภาพการผลิต						
ผลผลิตไข่ (%)	๙๕.๒๙ ^ก	๙๘.๔๕ ^ข	๙๖.๕๕ ^ค	๑๗.๓๔ ^ง	๑๐.๐๘ ^จ	๘.๐๐
ปริมาณอาหารที่กิน (ก./วัน)	๑๐๘.๖๙ ^ก	๙๗.๗๑ ^ข	๗๐.๗๓ ^ค	๔๘.๓๐ ^ง	๓๕.๒๑ ^จ	๖.๕๙
อาหาร (กก.) / ไข่ ๑ ไหล	๑.๓๘ ^ก	๑.๓๓ ^ข	๑.๖๕ ^ค	๓.๓๕ ^ง	๔.๐๗ ^จ	๐.๒๖
อาหาร (กก.) / ไข่ ๑ กก.	๒.๒๐ ^ก	๒.๑๓ ^ข	๒.๖๗ ^ค	๕.๔๕ ^ง	๖.๖๗ ^จ	๐.๔๓
น้ำหนักตัวเพิ่ม (ก.)	๑๑๗.๕๙ ^ก	๘๕.๒๗ ^ข	๓๙.๑๐ ^ค	-๑๖.๗๑ ^ง	-๕๐.๕๕ ^จ	๖.๕๙
อัตราการตาย (%)	๖.๒๕ ^ก	๘.๓๓ ^ข	๑๕.๕๘ ^ค	๓๓.๓๓ ^ง	๕๘.๓๓ ^จ	๕.๕๘
(ตัว) ^ด	๓	๔	๗	๑๖	๒๘	
คุณภาพไข่						
น้ำหนักไข่ (ก.)	๕๒.๔๘ ^ก	๕๑.๘๕ ^ข	๕๑.๕๐ ^ค	๕๑.๒๒ ^ง	๕๐.๘๖ ^จ	๐.๑๖
Haugh unit	๙๕.๕๖	๙๕.๔๑	๙๕.๐๙	๙๔.๔๑	๙๕.๑๙	๐.๑๘
ความหนาเปลือกไข่ (มม.)	๐.๓๓๑ ^ก	๐.๓๒๖ ^ข	๐.๓๒๑ ^ค	๐.๓๑๖ ^ง	๐.๓๑๕ ^จ	๐.๐๑
สีไข่แดง (แต้มคะแนน)	๘.๐ ^ก	๘.๕ ^ข	๘.๖ ^ค	๘.๗ ^ง	๘.๙ ^จ	๐.๐๗
เกรดไข่ (%)						
เบอร์ ๐ (>๗๐ ก.)	๐.๐๘	๐.๑๕	๐.๒๖	๐.๐๐	๐.๐๐	๐.๐๕
เบอร์ ๑ (๖๖-๗๐ ก.)	๑.๐๕ ^ก	๐.๓๒ ^ข	๐.๕๖ ^ค	๐.๐๙ ^ง	๐.๐๐ ^จ	๐.๑๑
เบอร์ ๒ (๖๑-๖๕ ก.)	๑๕.๔๐ ^ก	๖.๙๐ ^ข	๓.๘๑ ^ค	๒.๓๑ ^ง	๑.๑๘ ^จ	๑.๓๔
เบอร์ ๓ (๕๖-๖๐ ก.)	๓๖.๒๗ ^ก	๓๘.๖๑ ^ข	๒๓.๔๙ ^ค	๑๘.๐๕ ^ง	๑๕.๓๙ ^จ	๓.๑๑
เบอร์ ๔ (๕๑-๕๕ ก.)	๒๐.๘๒ ^ก	๒๖.๖๕ ^ข	๒๕.๙๘ ^ค	๓๐.๕๕ ^ง	๒๒.๑๖ ^จ	๑.๓๕
เบอร์ ๕ (๔๖-๕๐ ก.)	๒๕.๑๙ ^ก	๒๔.๗๐ ^ข	๓๙.๘๘ ^ค	๓๙.๕๙ ^ง	๕๕.๙๕ ^จ	๓.๓๓
เบอร์ ๖ (< ๔๕ ก.)	๑.๒๐ ^ก	๒.๖๘ ^ข	๖.๑๒ ^ค	๙.๔๒ ^ง	๗.๓๓ ^จ	๑.๑๕
ต้นทุนค่าอาหาร (บาท)^๒						
ไข่ ๑ ไหล	๑๕.๖๓	๑๔.๔๑	๑๗.๑๙	๓๓.๕๗	๓๙.๕๖	
ไข่ ๑ กก.	๒๔.๘๒	๒๓.๑๗	๒๗.๘๒	๕๔.๖๒	๖๕.๖๕	

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

^ด แต่ละกลุ่มมีไก่จำนวน ๔๘ ตัว

^๒ ดูตาราง ๑๑

S.E.M. = Standard error of mean



การใช้กากสับุดำเป็นอาหารสุกร

■ สมรรถภาพการผลิต

เมื่อใช้กากสับุดำที่ผ่านการลดสารพิษผสมในอาหารสุกรที่ระดับ ๕ และ ๑๐% ในช่วงระยะสุกรเล็ก (น้ำหนัก ๒๐-๓๐ กก.) พบว่า สมรรถภาพการผลิต (น้ำหนักตัวเพิ่ม ปริมาณอาหารที่กิน และอัตราแลกน้ำหนัก) ต่ำลงเมื่อใช้กากสับุดำในสูตรอาหารทดลองในระยะเวลาหนึ่ง จึงหยุดให้อาหารทดลองที่มีกากสับุดำ เนื่องจากสุกรมีอาการท้องเสียอย่างรุนแรง และสุกรไม่ยอมกินอาหารส่งผลให้น้ำหนักสุกรลดลง จึงให้อาหารปกติ (อาหารฐาน) จนสุกรฟื้นจากอาการท้องเสีย และมีสุขภาพดีขึ้นโดยใช้เวลาประมาณ ๔ สัปดาห์ จากนั้นให้อาหารทดลองอีกครั้งในระยะเวลาสุกรรุ่น ขณะนี้สุกรทั้ง ๔ กลุ่มที่ได้รับกากสับุดำยังอยู่ในระหว่างทำการทดลอง สำหรับสุกรที่ได้รับอาหารฐานที่มีกากสับุดำระดับ ๐% พบว่า สุกรกลุ่มนี้ใช้เวลาเลี้ยงเพียง ๙ วัน (น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย ๒๕ กก.) ซึ่งมีน้ำหนักตัวเพิ่มเฉลี่ยต่อวัน (ADG) เท่ากับ ๓/๑๐๐ ก. ส่วนอัตราแลกน้ำหนัก เท่ากับ ๒.๑๗ โดยมีต้นทุนค่าอาหาร เท่ากับ ๓๐.๕๕ บาทต่อการเพิ่มน้ำหนักตัว ๑ กก. (ตาราง ๓๕)

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

	ระดับกากสับุดำที่ใช้ในอาหาร (%)				
	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	๒๒.๓/๑	๒๐.๓/๘	๒๑.๔๙
- เพิ่ม	๖.๓๔	na	na	na	na
-ADG (ก.)	๓/๑๐๐	na	na	na	na
ปริมาณอาหารที่กิน (กก.)					
- ทั้งหมด	๑๑.๔๑	๔.๑๘	๔.๙๔	๓.๕๘	๓.๑๓
- เฉลี่ย/วัน	๑.๒๓/	๐.๕๖	๐.๕๕	๐.๔๐	๐.๓๕
อัตราแลกน้ำหนัก	๒.๑๗/	na	na	na	na
จำนวนวันที่เลี้ยง	๙	na	na	na	na
ต้นทุนค่าอาหาร(บาท/กก.เพิ่ม๑กก.) ^{๑/}	๓๐.๕๕	na	na	na	na

^{๑/}อาหารสุกรมผสมเอง โปรตีน ๑๘% ราคา ๑๔.๐๘, ๑๔.๔๙ และ ๑๔.๘๙ บาท/กก. (ดูรายละเอียดในตารางที่ ๑๗)

ADG = Average daily gain (น้ำหนักตัวเพิ่มเฉลี่ยต่อวัน)

na = อยู่ในระหว่างการทดลอง

ปริมาณสารพิษตกค้าง

ปริมาณสารพอร์บออลเอสเทอร์ในเนื้อไก่

เมื่อนำเนื้ออกที่ได้จากการชำแหละไก่เนื้อเพศผู้ที่อายุ ๖ สัปดาห์ ไปวิเคราะห์หาปริมาณพอร์บออลเอสเทอร์ ผลแสดงไว้ในตาราง ๓๖ ปรากฏว่า เมื่อเพิ่มระดับกากสับดูดำในอาหารสูงขึ้น จะส่งผลให้ไก่ทดลองได้รับสารพิษพอร์บออลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย และเริ่มลดลงในกลุ่มที่ใช้กากสับดูดำระดับสูงสุด ตลอดระยะเวลาการทดลองไก่จะได้รับสารพอร์บออลเอสเทอร์ เท่ากับ ๐.๐๕๓, ๐.๐๙๒, ๐.๑๕๕ และ ๐.๑๑๖ มก. (๕, ๑๐, ๑๕ และ ๒๐% ตามลำดับ) จึงทำให้สารพอร์บออลเอสเทอร์ที่ตกค้างในเนื้อหน้าอกมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามระดับการใช้กากสับดูดำในอาหาร โดยตรวจพบ ๐.๐๐๑, ๐.๐๐๔, ๐.๐๔๙ และ ๐.๑๔๙ มก./ก. เนื้ออก เมื่อใช้กากสับดูดำในอาหารที่ระดับ ๕, ๑๐, ๑๕ และ ๒๐% ตามลำดับ เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวไปเข้าสมการาคาดคะเนแบบเส้นตรง จะได้สมการดังนี้

ปริมาณสารพอร์บออลเอสเทอร์ในเนื้อหน้าอก (มก./ก. เนื้ออก)

$$Y = -0.029 + 0.004X \quad (r = 0.973 ; n = 20)$$

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

X = ระดับกากสับดูดำในอาหาร (%) r = ค่าสหสัมพันธ์

n = จำนวนข้อมูลที่ใช้คำนวณ

ตาราง ๓๖. ปริมาณสารฟอรับอเลสเทอร์ที่ตรวจพบในเนื้อหน้าอกของไก่เนื้อ เมื่อได้รับอาหารที่มีกากสับดูดำที่ผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีการนึ่ง ร่วมกับใช้ ๙๒% เมทานอลและน้ำเป็นตัวชะล้างในระดับต่างๆ

ระดับกากสับดูดำ ในอาหาร (%)	ปริมาณฟอรับอเลสเทอร์			
	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

ปริมาณสารฟอรับอเลสเทอร์ในไข่ไก่

เมื่อนำไข่ไก่ที่เก็บในสัปดาห์ที่ ๓๙ (วันสุดท้ายของการทดลอง) ไปแยกไข่แดงและไข่ขาวออกจากกัน แล้ววิเคราะห์หาปริมาณฟอรับอเลสเทอร์ ผลแสดงไว้ในตาราง ๓๗ ปรากฏว่า เมื่อใช้กากสับดูดำระดับสูงขึ้นในอาหาร ทำให้ไข่ที่ทดลองได้รับสารฟอรับอเลสเทอร์เพิ่มขึ้น และเริ่มลดลงเมื่อมีการใช้กากสับดูดำในอาหารที่ระดับ ๒๐% ทั้งนี้เมื่อถึงระดับที่ได้รับสารฟอรับอเลสเทอร์วันละ ๐.๐๒๐ มก. ไก่จะกินอาหารลดลง ดังนั้นแม้ว่าสารฟอรับอเลสเทอร์ในสูตรอาหารจะเพิ่มขึ้นเป็น ๑๐, ๑๕ และ ๒๐% ก็ตามปริมาณสารฟอรับอเลสเทอร์ที่ไก่ในกลุ่มดังกล่าวได้รับก็จะใกล้เคียงกันคือ ๐.๐๒๑๐, ๐.๐๒๑๕ และ ๐.๐๒๐๓ มก./วัน เท่านั้น แต่เมื่อนำไข่แดงและไข่ขาวไปวิเคราะห์กลับพบว่า ปริมาณสารฟอรับอเลสเทอร์เพิ่มขึ้นสูงมาก โดยเฉพาะเมื่อใช้ในระดับสูงกว่า ๑๕% ของสูตรอาหาร เมื่อนำข้อมูลปริมาณสารฟอรับอเลสเทอร์จากไข่แดงและไข่ขาวในแต่ละระดับไปเข้าสมการคาดคะเนเส้นตรง จะได้สมการดังนี้

ปริมาณสารฟอรับอเลสเทอร์ในไข่แดง (มก./ก.)

$$Y = -0.004 + 0.002X \quad (r = 0.445; n = 20)$$

ปริมาณสารฟอร์บออลเอสเทอร์ในไข่ขาว (มก./ก.)

$$Y = -0.004 + 0.001X \quad (r = 0.9742 ; n = 20)$$

- เมื่อ Y = ปริมาณสารฟอร์บออลเอสเทอร์ที่พบในไข่ไก่
 X = ระดับกากสบูดำในอาหาร (%)
 r = ค่าสหสัมพันธ์
 n = จำนวนข้อมูลที่ใช้คำนวณ

จากสมการข้างต้น จะเห็นได้ว่าสหสัมพันธ์มีค่าสูง แสดงให้เห็นถึงความแม่นยำของสมการ นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าไข่แดงมีการสะสมสารฟอร์บออลเอสเทอร์ได้มากกว่าไข่ขาว ๒ เท่า และหากให้ไก่กินกากสบูดำล้วนๆ (๑๐๐%) จะพบปริมาณสารฟอร์บออลเอสเทอร์ในไข่แดงและไข่ขาวเท่ากับ ๐.๑๙๖ และ ๐.๐๙๖ มก./ก. ตามลำดับ

ตาราง ๓๗ ปริมาณสารฟอร์บออลเอสเทอร์ที่ตรวจพบในไข่ไก่ (ไข่แดงและไข่ขาว) เมื่อแม่ไก่ได้รับอาหารที่มีกากสบูดำที่ผ่านการลดสารพิษด้วยวิธีการหนึ่ง ร่วมกับใช้ ๙๒% เมทานอลและน้ำชะล้างในระดับต่างๆ

ระดับกากสบูดำ ในอาหาร (%)	ปริมาณสารฟอร์บออลเอส เทอร์ที่ไก่กินเข้าไป (มก./วัน)	ปริมาณสารฟอร์บออลเอสเทอร์ตกค้าง	
		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.	๐.๐๓/๓	๐.๑๓๑	๐.๑๒๕

S.E.M. = Standard error of mean