บทที่ 5
การพัฒนากระบวนการลดสารพิษในสบู่ดำ

สบู่ดำที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการศึกษาครั้งนี้ได้มาจากแปลงเพาะปลูกสบู่ดำเนื้อที่ประมาณ 50 ไร่ ของฝ่ายเครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ สถาบันวิจัยและพัฒนากำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และรับซื้อจากพื้นที่บริเวณใกล้เคียง นำมาหีบน้ำมันได้เป็นน้ำมันสบู่ดำ และกากสบู่ดำ ทำการศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันที่สกัดได้ เพื่อใช้ผลิตเป็นไบโอดีเซล และนำกากสบู่ดำที่เหลือจากการหีบ มาวิเคราะห์องค์ประกอบ และทดสอบกระบวนการลดสารพิษเพื่อนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์

5.1การลดปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในเมล็ดสบู่ดำด้วยความร้อน

ศึกษาการลดปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในเมล็ดสบู่ดำด้วยความร้อน โดยนำเมล็ดสบู่ไปคั่วในกระทะ โดยแปรผันเวลาในการคั่วออกเป็น 2 ช่วง คือ 30 นาที และ 60 นาที และแปรผันอุณหภูมิออกเป็น 2 ช่วง คือ 60 และ 90 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงนำเมล็ดสบู่ดำที่ผ่านการคั่วไปหีบด้วยเครื่องหีบแบบ Screw press ซึ่งตัวอย่างน้ำมันที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบ คุณสมบัติและปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ โดยผลที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5-1 ถึง 5-5

ตารางที่ 5-1 ปริมาณน้ำมันสบู่ดำ และกากสบู่ดำที่ได้จากการหีบเมล็ดสบู่ดำที่ไม่ผ่าน และผ่านการคั่วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ และเวลาต่าง ๆ

การทดลอง	น้ำหนักเมล็ด (กิโลกรัม)		ปริมาณกาก		ปริมาณน้ำมัน		ประสิทธิภาพการหีบน้ำมัน
	ก่อนคั่ว	หลังคั่ว	กิโลกรัม	ร้อยละ	กิโลกรัม	ร้อยละ	ร้อยละ
Control	5.00	-	4.37	87.4	0.63	12.6	37.61
60°C, 30 min	5.00	4.85	3.86	77.2	0.86	17.2	51.34
60°C, 60 min	5.00	4.77	3.95	79.0	0.78	15.6	46.57
90°C, 30 min	5.00	4.78	3.97	79.4	0.77	15.4	45.97
90°C, 60 min	5.00	4.73	3.88	77.6	0.78	15.6	46.57

โดยปกติแล้วสบู่ดำมีปริมาณน้ำมันที่เป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 33.5 ของน้ำหนักทั้งเมล็ด (พิศมัย และคณะ, 2549) แต่ข้อมูลที่ได้จากการตารางที่ 5-1 แสดงเห็นได้ว่า สามารถหีบน้ำมันออกมาได้เพียงร้อยละ 12.6-17.2 ของน้ำหนักทั้งเมล็ด หรือคิดเป็นประสิทธิภาพการหีบเพียงร้อยละ 37.61-51.34 เท่านั้น โดยการหีบเมล็ดสบู่ดำที่ไม่ผ่านการคั่วให้ความร้อน จะได้น้ำมันน้อยที่สุด เท่ากับ ร้อยละ 12.6 สำหรับการหีบเมล็ดสบู่ดำที่ผ่านการคั่วให้ความร้อน จะพบว่า ได้ปริมาณน้ำมันมากกว่าเมล็ดสบู่ดำที่ไม่ผ่านการคั่วให้ความร้อน โดยได้ปริมาณน้ำมัน เท่ากับร้อยละ 15.4-17.2 และเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิ และเวลาในการคั่วให้ความร้อน ได้แก่ อุณหภูมิ 60 และ 90 องศาเซลเซียส และเวลา 30 และ 60 นาที พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิไม่มีผลต่อปริมาณน้ำมันที่หีบได้ แต่การเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการคั่วให้ความร้อน มีผลต่อปริมาณน้ำมันที่หีบได้เพียงเล็กน้อย แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าการทดลองด้วยการคั่วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ได้ปริมาณน้ำมันมากเกินกว่าข้อมูลอื่นๆ จึงอาจเป็นไปได้ว่าเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสกัดน้ำมันที่สุดของการทดลองนี้ซึ่งผลการศึกษาของ Achten *et al* (2008) รายงานว่า การทำให้เมล็ดสุกก่อนการหีบน้ำมัน จะสามารถเพิ่มปริมาณน้ำมันได้

น้ำมันสบู่ดำที่หีบได้จากเมล็ดสบู่ดำทั้งเมล็ดที่ผ่านการคั่วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ และเวลาต่าง ๆ นำมากรองเพื่อแยกสิ่งเจือปน และวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของน้ำมันสบู่ดำ แสดงดังตารางที่ 5-2 พบว่า ค่าไอโอดีน (iodine value) อยู่ในช่วง 89.57-92.21 ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value) อยู่ในช่วง 1.33-1.83 มิลลิกรัมสมมูลย์เพอร์ออกไซด์ออกซิเจน/น้ำมัน 1 กิโลกรัม ปริมาณกรดไขมันอิสระ (as oleic acid) ร้อยละ 8.35-9.45 และค่าความเป็นกรด (acid value) 16.61-18.80 มิลลิกรัมโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์/น้ำมัน 1 กรัม

ตารางที่ 5-2 สมบัติทางเคมีของน้ำมันสบู่ดำที่ได้จากการหีบเมล็ดสบู่ดำที่ไม่ผ่านและผ่านการคั่วให้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ

การทดลอง	Iodine Value	Peroxide Value (mgq. Peroxid/kg)	% Free fatty acid (as oleic acid)	Acid Value (mg KOH/g)
Control	90.35	1.83	9.45	18.80
60°C, 30 min	92.21	1.33	8.83	17.58
60°C, 60 min	89.93	1.33	8.35	16.61
90°C, 30 min	89.99	1.50	9.19	18.29
90°C, 60 min	89.57	1.61	9.15	18.22

ค่าไอโอดีน (Iodine Value) บ่งบอก ถึงปริมาณพันธะคู่ที่มีอยู่ในโครงสร้างของน้ำมันพืชน้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนสูง จะทำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรซ์ได้มาก อาจส่งผลให้เกิดการอุดตันในระบบส่งน้ำมันเชื้อเพลิง และไส้กรองในรถยนต์ จากผลการทดลอง พบว่า ค่าไอโอดีนอยู่ในช่วง 89.57-92.21 ซึ่งน้อยกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดของน้ำมันไบโอดีเซล โดยค่าต้องน้อยกว่า 120

ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Value) เป็นค่าที่ใช้วัดการเกิดปฏิกิริยา Rancidity หรือการเหม็นหืนในน้ำมันที่มักเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเก็บรักษา พันธะคู่ของน้ำมันหรือไขมันเป็นตัวการที่ทำให้เกิดปฏิกิริยา Autoxidation (การเหม็นหืนเนื่องมาจากการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนหรืออากาศ) ยิ่งมีพันธะคู่ในน้ำมันหรือไขมันมากเท่าใดก็ยิ่งทำให้เกิดปฏิกิริยา Autoxidation ได้มากขึ้นเท่านั้น น้ำมันพืชที่มีสภาพดีจะมีค่าเปอร์ออกไซด์ต่ำกว่า 10 มิลลิกรัมสมมูลย์เพอร์ออกไซด์ออกซิเจนต่อน้ำมัน 1 กิโลกรัม หากค่าเปอร์ออกไซด์มีค่าอยู่ระหว่าง 30-40 แสดงว่าเกิดการเสื่อมเสียอย่างเห็นได้ชัด (Wikipedia, 2009) สำหรับการทดลองนี้พบว่าน้ำมันสบู่ดำที่สกัดได้มีค่าเปอร์ออกไซด์อยู่ระหว่าง 1.33-1.83 แสดงว่ามีสภาพเหมาะสมกับการใช้งาน เป็นที่น่าสังเกตว่าการทดลองที่อุณหภูมิสูง และใช้เวลานาน (90 องศาเซลเซียส) มีแนวโน้มที่ทำให้ค่าเปอร์ออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากความร้อนมีผลต่อการเร่งให้เกิดปฏิกิริยา Rancidity ยกเว้น Control ที่มีค่าสูงผิดปกติ

ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) ในน้ำมันที่จะนำมาใช้ทำไบโอ-ดีเซลตามปกติแล้วไม่ควรมีค่าเกินร้อยละ 3 มิฉะนั้นจะทำให้เกิดปฏิกิริยากับด่างเกิดเป็นสบู่ซึ่งทำให้ได้ผลได้ของกระบวนการผลิตไบโอดีเซลลดลง ปริมาณกรดไขมันอิสระที่ได้จากการทดลองพบว่ามีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 8.35-9.45 ซึ่งมากกว่าค่าที่เหมาะสม เช่นเดียวกับที่มีการรายงานใน รพีพันธุ์และคณะ (2525) ที่มีค่า 4.80 ดังนั้นการนำน้ำมันสบู่ดำไปใช้ผลิตไบโอดีเซลจึงต้องมีขั้นตอนการลดปริมาณกรดไขมันอิสระลงก่อน หรือใช้ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชั่นระหว่างกรดไขมันอิสระกับเมทานอลโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ค่าความเป็นกรด (Acid value) แสดงถึงความเป็นกรดในน้ำมันซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันพืช มีผลต่อการกัดกร่อนในเครื่องยนต์ทำให้อายุการใช้งานของปั๊มและไส้กรองน้ำมันลดลง นอกจากนี้ยังแสดงถึงการเสื่อมสภาพของน้ำมันเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลติกจากปริมาณน้ำที่ปนอยู่ในน้ำมันและผลของสภาวะการจัดเก็บ (พิสมัย และคณะ 2549) ซึ่งมาตรฐานของน้ำมันดีเซลกำหนดค่าความเป็นกรดไว้ไม่เกิน 0.50 มิลลิกรัมโปตัสเซียมไฮ-ดรอกไซด์/กรัมน้ำมัน (mg KOH/g) ซึ่งคำนวณได้จาก ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid as Oleic acid) คูณด้วย 1.99 แต่เนื่องจากปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันสบู่ดำมีค่าสูงจึงทำให้ค่าความเป็นกรดมีค่าสูงตามไปด้วยโดยมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 16.61-18.80 มิลลิกรัมโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมน้ำมัน การนำน้ำมันสบู่ดำไปใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลโดยไม่มีการปรับสภาพก่อนจึงอาจส่งผลเสียต่อเครื่องยนต์ได้

สมบัติของน้ำมันสบู่ดำ และปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันสบู่ดำ แสดงดังตารางที่ 5-2 และ 5-3 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบและปริมาณกรดไขมันในน้ำมันสบู่ดำที่ได้จากการหีบเมล็ดสบู่ดำที่ไม่ผ่าน และผ่านการคั่วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ และเวลาต่างๆ ผลแสดงดังตารางที่ 5-3

ตารางที่ 5-3 องค์ประกอบ และปริมาณกรดไขมันในน้ำมันสบู่ดำที่ได้จากการหีบเมล็ดสบู่ดำที่ไม่ผ่าน และผ่านการคั่วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ และเวลาต่าง ๆ

การทดลอง	องค์ประกอบ และปริมาณกรดไขมัน (ร้อยละ)				
	Palmitic acid (16:0)	Palmitoleic acid (16:1)	Stearic acid (18:0)	Oleic acid (18:1)	Linoleic acid (18:2)
Control	13.51	0.60	6.47	47.40	32.02
60°C 30 min	12.51	0.65	5.61	45.70	35.53
60°C 60 min	12.12	0.62	5.63	48.86	32.76
90°C 30 min	13.30	0.60	6.33	47.62	32.15
90°C 60 min	13.21	0.61	6.23	46.78	32.98

จากตารางที่ 5-3 แสดงให้เห็นว่า กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักในน้ำมันสบู่ดำ ได้แก่ กรดโอเลอิค (Oleic acid) กรดลิโนเลอิค (Linoleic acid) กรดปาล์มิติก (Palmitic acid) กรดสเตียริค (Steraric acid) และกรดปาล์มิโตเลอิค (Palmitoleic acid) โดยมีปริมาณประมาณร้อยละ 47.40, 32.02, 13.51, 6.47, และ 0.60 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบ และปริมาณกรดไขมันในน้ำมันสบู่ดำที่ได้จากการหีบเมล็ดสบู่ดำที่ไม่ผ่านการคั่ว และผ่านการคั่วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ และเวลาต่างๆ พบว่า ทั้งองค์ประกอบ และปริมาณกรดไขมันไม่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่า การให้ความร้อนไม่มีผลต่อองค์ประกอบ และปริมาณกรดไขมันในเมล็ดสบู่ดำ

เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกากสบู่ดำที่ได้จากการหีบเมล็ดสบู่ดำที่ไม่ผ่าน และผ่านการคั่วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ และเวลาต่างๆ โดยองค์ประกอบทางเคมี ที่ทำการวิเคราะห์ได้แก่ ความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน NDF (Neutral Detergent Fiber) ADF (Acid Detergent Fiber) ลิกนิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ผลแสดงดังตารางที่ 5-4

ตารางที่ 5-4 องค์ประกอบทางเคมีของกากสบู่ดำที่ได้จากการหีบเมล็ดสบู่ดำที่ไม่ผ่าน และผ่านการคั่วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ และเวลาต่าง ๆ

หน่วย : ร้อยละ

ตัวอย่าง	ความชื้น	เถ้า	โปรตีน	ไขมัน	ลิกนิน	เซลลูโลส	เฮมิเซลลูโลส
Control	8.19	6.98	22.82	10.11	24.41	22.09	5.84
60°C, 30 min	7.39	6.15	23.20	12.28	23.91	21.39	5.96
60°C, 60 min	5.62	6.72	22.08	9.53	23.57	24.01	7.49
90°C, 30 min	6.29	6.93	24.31	9.39	23.21	21.90	6.62
90°C, 60 min	5.29	6.72	22.71	9.42	24.73	22.97	5.75

จากตารางที่ 5-4 แสดงให้เห็นว่า การให้ความร้อน ทำให้น้ำจากในเมล็ดสบู่ดำระเหยออกไปบางส่วน มีผลให้ความชื้นของกากสบู่ดำที่หีบลดลง เมื่อเปรียบเทียบปริมาณเถ้า โปรตีน และไขมันในกากสบู่ดำที่ไม่ผ่าน และผ่านการคั่วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ และเวลาต่างๆ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน โดยปริมาณเถ้า โปรตีน และไขมัน มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 6.15-6.98, 22.08-24.31 และ 9.39-12.28 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบของผนังเซลล์ของพืชในกากสบู่ดำ พบว่า ปริมาณลิกนิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสมีค่าใกล้เคียงกัน โดยอยู่ในช่วงร้อยละ 23.21-24.73, 21.39-24.01, และ 5.75-7.49 ตามลำดับ จากผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่า การให้ความร้อนไม่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของกากสบู่ดำ ยกเว้นความชื้นที่ลดลง

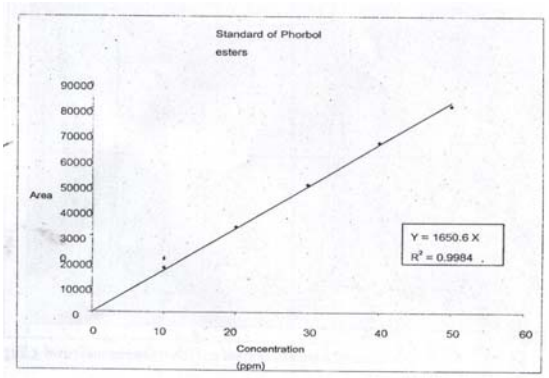
การวิเคราะห์ปริมาณสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ในตัวอย่างกากสบู่ดำที่ได้จากการหีบเมล็ดสบู่ดำที่ผ่านการคั่วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ และเวลาต่างๆ ด้วยเครื่อง HPLC โดยใช้ UV เป็น detector แสดงดังตารางที่ 5-5 และตัวอย่างโครมาโตแกรมแสดงปริมาณสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ แสดงดังภาพที่ 5-1

ตารางที่ 5-5 ปริมาณสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ (Phobol esters) ในกากสบู่ดำที่ได้จากเมล็ดสบู่ดำที่ไม่ผ่าน และผ่านการคั่วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ และเวลาต่าง ๆ

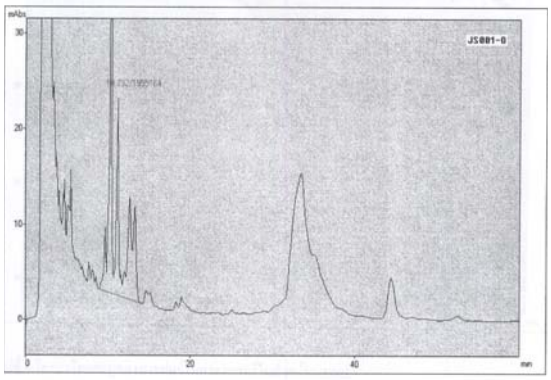
การทดลอง	ความเข้มข้นของสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ (mg/g)	ร้อยละของการลดลงของสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ในกากสบู่ดำ[1/]
Control	1.97	0
60°C, 30 min	1.04	47.0
60°C, 60 min	1.04	47.2
90°C, 30 min	1.00	49.2
90°C, 60 min	0.99	49.7

หมายเหตุ – [1/]คำนวณโดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

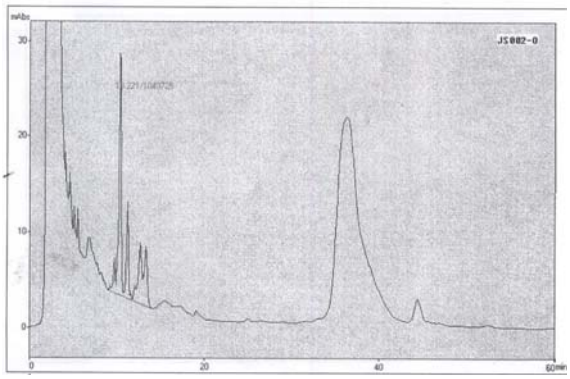
จากการทดลอง แสดงให้เห็นว่า การให้ความร้อนสามารถลดปริมาณสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ได้อย่างเห็นได้ชัด โดยเมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ในกากสบู่ดำที่ได้จากเมล็ดสบู่ดำที่ไม่ผ่าน และผ่านการคั่วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ และเวลาต่างๆ พบว่า กากสบู่ดำที่ได้จากเมล็ดสบู่ดำที่ผ่านการคั่วให้ความร้อน มีปริมาณสารพิษน้อยกว่าที่ไม่ผ่านการคั่ว ซึ่งปริมาณสารพิษในกากสบู่ดำที่ได้จากเมล็ดสบู่ดำที่ไม่ผ่านการคั่วให้ความร้อน เท่ากับ 1.97 มิลลิกรัม/กรัม และผ่านการคั่วให้ความร้อน อยู่ในช่วง 0.99 และ 1.04 มิลลิกรัม/กรัม และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ในกากสบู่ดำที่ได้จากเมล็ดสบู่ดำที่ผ่านการคั่วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 และ 60 นาที พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิ และเวลาในการคั่วให้ความร้อน มีผลต่อปริมาณสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์เพียงเล็กน้อย



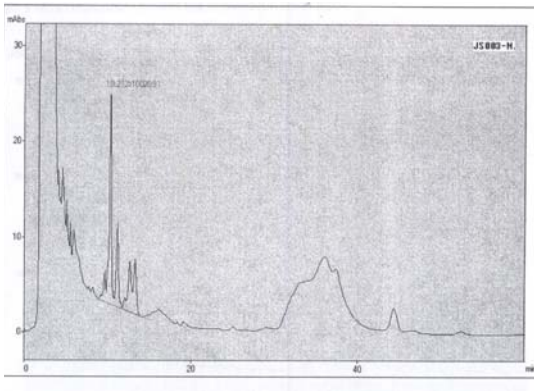
กราฟมาตรฐาน



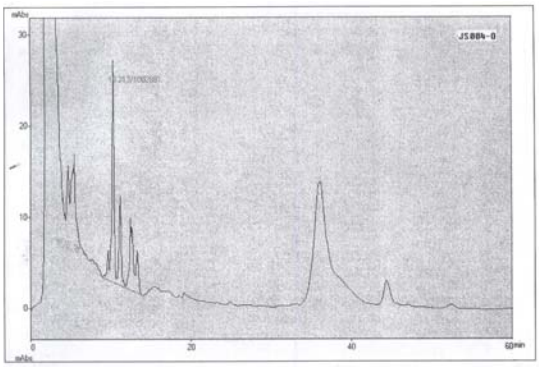
Control



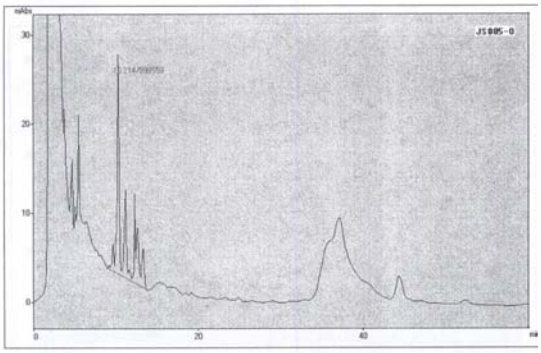
60°C, 30 min



60°C, 60 min



90°C, 30 min



90°C, 60 min

ภาพที่ 5-1 กราฟแสดงปริมาณสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ในกากสบู่ดำที่ได้จากเมล็ดสบู่ดำที่ผ่านการคั่วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ และเวลาต่าง ๆ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกากสบู่ดำ แสดงให้เห็นว่า กากสบู่ดำมีคุณค่าทางอาหารเหมาะสำหรับการนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ แต่ยังไม่สามารถนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ทันที เนื่องจากในกากสบู่ดำ พบว่ามีสารพิษฟอร์บอลเอส-เทอร์ ซึ่งเป็นอันตรายต่อสัตว์ ดังนั้นการที่จะนำกากสบู่ดำไปเป็นอาหารสัตว์ จำเป็นจะต้องผ่านกระบวนการลดสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์เสียก่อน

5.2 การลดปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในกากสบู่ดำด้วยวิธีทางเคมี

กระบวนการลดสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ ด้วยวิธีทางเคมีร่วมกับความร้อนชื้น โดยใช้กากสบู่ดำที่ได้จากการหีบเอาน้ำมันออกจากเมล็ดที่ไม่ผ่าน และผ่านการคั่วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที มาบำบัดด้วยสารเคมีต่างๆ เช่นโซเดียมไฮดรอกไซด์ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต กรดแลกติก และเอทานอล ร่วมกับการใช้ความร้อนชื้น ตามวิธีของ Aregheore *et al* (2003), Martinez-Herrera *et al* (2006) และ Rakshit *et al* (2008)

ซึ่งในการศึกษาครั้งได้ทดลองบำบัดกากสบู่ดำด้วยความร้อนด้วยด่าง กรดร่วมกับความร้อนชื้นใช้กากสบู่ดำโดยแปรผันสภาวะการบำบัดต่างๆ ดังนี้

5.2.1 การลดสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ในกากสบู่ดำ โดยการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ร่วมกับการใช้ความร้อนชื้น นำกากสบู่ดำที่ไม่ผ่านการคั่ว 100 กรัม ผสมกับ NaOH 4% ในอัตราส่วน 1:2, 1:3 และ 1:5 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) นำไปนึ่งที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที รอให้เย็น และคั้นให้เหลือแต่กาก ผึ่งให้แห้ง นำไปวิเคราะห์ปริมาณพิษสารฟอร์บอลเอสเทอร์ และทำแบบเดียวกันนี้กับกากสบู่ดำที่ผ่านการคั่วที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

5.2.2 การลดสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ในกากสบู่ดำ โดยการใช้เอทานอลร่วมกับการใช้ความร้อนชื้น นำกากสบู่ดำที่ไม่ผ่านการคั่ว 100 กรัม ผสมกับเอทานอล 90% ในอัตราส่วน 1:2, 1:3 และ 1:5 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง คั้นให้เหลือแต่กาก นำกากไปนึ่งที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ผึ่งให้แห้ง นำไปวิเคราะห์ปริมาณสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ และทำแบบเดียวกันนี้กับกากสบู่ดำที่ผ่านการคั่วที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

5.2.3 การลดสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ในกากสบู่ดำ โดยการใช้เอทานอลล้างกากสบู่ดำ นำกากสบู่ดำ 100 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น ในอัตราส่วน

1:2 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) นำไปนึ่งที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ล้างด้วยเอทานอล 90% จำนวน 4 ครั้ง ในอัตราส่วน 1:1 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) คั้นให้เหลือแต่กาก ผึ่งให้แห้ง นำไปวิเคราะห์ปริมาณสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ และทำแบบเดียวกันนี้กับกากสบู่ดำที่ผ่านการคั่วที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

5.2.4 การลดสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ในกากสบู่ดำ โดยการใช้เอทานอลและ $NaHCO_3$ ร่วมกับการใช้ความร้อนชื้น นำกากสบู่ดำที่ไม่ผ่านการคั่วจำนวน 100 กรัม ผสมกับเอทานอล 90% ในอัตราส่วน 1:10 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง คั้นให้เหลือแต่กาก เติม $NaHCO_3$ 0.07% ในอัตราส่วน 1:5 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) นำกากไปนึ่งที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที รอให้เย็น คั้นให้เหลือแต่กาก ผึ่งให้แห้ง นำไปวิเคราะห์ปริมาณสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ และทำแบบเดียวกันนี้กับกากสบู่ดำที่ผ่านการคั่วที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

5.2.5 การลดสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ในกากสบู่ดำ โดยการใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับการใช้ความร้อนชื้น นำกากสบู่ดำที่ไม่ผ่านการคั่ว 100 กรัม ผสมกับ $Ca(OH)_2$ 2% ในอัตราส่วน 1:1 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) เป็นเวลา 30 นาที นำไปนึ่งที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ผสมกับน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:5 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง คั้นให้เหลือแต่กาก ผึ่งให้แห้ง นำไปวิเคราะห์ปริมาณสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ และทำแบบเดียวกันนี้กับกากสบู่ดำที่ผ่านการคั่วที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

5.2.6 การลดสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ในกากสบู่ดำ โดยการใช้กรดแลกติกและน้ำผักกาดดอง นำกากสบู่ดำที่ผ่านการคั่วจำนวน 100 กรัม ผสมกับกรดแลกติก 5% หรือน้ำผักกาดดอง ในอัตราส่วน 1:2, 1:3 และ 1:5 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) นึ่งที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที รอให้เย็น คั้นให้เหลือแต่กาก ผึ่งให้แห้ง นำไปวิเคราะห์ปริมาณสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ และทำแบบ

เดียวกันนี้กับกากสบู่ดำที่ผ่านการคั่วที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

ผลการทดลองกระบวนการลดสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ในกากสบู่ดำด้วยวิธีทางเคมี ร่วมกับความร้อนชื้น แสดงดังตารางที่ 5.6 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ที่เหลือในกากสบู่ดำที่ได้จากการหีบเมล็ดสบู่ดำที่ไม่ผ่านและผ่านการคั่วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที หลังจากผ่านกระบวนการลดสารพิษด้วยวิธีทางเคมี ร่วมกับการใช้ความร้อนชื้น พบว่า ปริมาณสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ที่เหลืออยู่ มีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 5.6 ปริมาณสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ที่เหลือจากการใช้วิธีทางเคมีร่วมกับความร้อนชื้น

การทดลอง	วิธีการทางเคมีร่วมกับความร้อนชื้น	อัตราส่วน	ปริมาณสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ (mg/g)
Control	โซเดียมไฮดรอกไซด์	1:2	Nil
		1:3	Nil
		1:5	Nil
	เอทานอล	1:2	0.2962
		1:3	0.3426
		1:5	0.2956
	ล้างเอทานอล 4 ครั้ง		0.0639
	เอทานอลร่วมกับ $NaHCO_3$		0.3845
	แคลเซียมไฮดรอกไซด์		0.5591
	กรดแลกติก	1:2	Nil
		1:3	Nil
		1:5	Nil
	น้ำผักกาดดอง	1:2	0.5448
		1:3	0.5692
		1:5	0.4660
60°C, 30min	โซเดียมไฮดรอกไซด์	1:2	Nil
		1:3	Nil
		1:5	Nil
	เอทานอล	1:2	0.3960
		1:3	0.2678
		1:5	0.2940
	ล้างเอทานอล 4 ครั้ง		0.1219
	เอทานอลร่วมกับ $NaHCO_3$		0.3558
	แคลเซียมไฮดรอกไซด์		0.5404
	กรดแลกติก	1:2	Nil
		1:3	Nil
		1:5	Nil
	น้ำผักกาดดอง	1:2	0.5882
		1:3	0.5796
		1:5	0.5834

หมายเหตุ: Nil = ปริมาณของสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ไม่สามารถคำนวณหาได้

การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ร่วมกับการใช้ความร้อนชื้นที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที สามารถกำจัดสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ได้ทั้งหมด การใช้เอทานอล ร่วมกับ $NaHCO_3$ หรือ การใช้เอทานอลเพียงอย่างเดียว ร่วมกับการใช้ความร้อนชื้นที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที สามารถลดสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ได้เพียงเล็กน้อย โดยการใช้เอทานอล ร่วมกับ $NaHCO_3$ พบปริมาณสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ในกากสบู่ดำที่ได้จากหีบเมล็ดที่ไม่ผ่าน และผ่านการคั่วที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เท่ากับ 0.3845 และ 0.3558 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และการใช้เอทานอลเพียงอย่างเดียว พบปริมาณสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ในกากสบู่ดำที่ได้จากการหีบเมล็ดที่ไม่ผ่าน และผ่านการคั่วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที อยู่ในช่วง 0.2956-0.3426 และ 0.2940-0.3960 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

การใช้ความร้อนชื้นที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ร่วมกับการล้างด้วยเอทานอล ร้อยละ 90 จำนวน 4 ครั้ง สามารถลดสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ได้ดี โดยปริมาณสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ในกากสบู่ดำที่ได้จากการหีบเมล็ดที่ไม่ผ่าน และผ่านการคั่วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เท่ากับ 0.0639 และ 0.1219 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

การใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ร่วมกับการใช้ความร้อนชื้นที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที สามารถลดสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ได้เล็กน้อย โดยปริมาณสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ในกากสบู่ดำที่ได้จากการหีบเมล็ดที่ไม่ผ่าน และผ่านการคั่วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เท่ากับ 0.5404 และ 0.5591 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

การใช้กรดแลกติก ร่วมกับการใช้ความร้อนชื้นที่อุณหภูมิ 121 องศา-เซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที สามารถกำจัดสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ได้ทั้งหมด เช่นเดียวกับการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ แต่การใช้น้ำผักดอง ร่วมกับการใช้ความร้อนชื้น สามารถลดสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ได้เล็กน้อย อาจเนื่องจากในน้ำผักดองมีความเป็นกรดค่อนข้างน้อย (ปริมาณกรดทั้งหมด เท่ากับ 1%) โดยปริมาณสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ในกากสบู่ดำที่ได้จากการหีบเมล็ดที่ไม่ผ่าน และผ่านการคั่วให้

ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที อยู่ในช่วง 0.4660-0.5448 และ 0.5796-0.5882 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

จากกระบวนการลดสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ด้วยวิธีทางเคมี ร่วมกับการใช้ความร้อนชื้น แสดงให้เห็นว่า การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ และการใช้กรดแลกติก เป็นวิธีที่สามารถกำจัดสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ได้ทั้งหมด รองลงมาคือ การใช้เอทานอล การใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และน้ำดองผัก ตามลำดับ

แต่เนื่องจากกระบวนการลดสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ โดยใช้วิธีทางเคมีร่วมกับการใช้ความร้อนชื้น บางวิธีสามารถกำจัดสารพิษได้หมด เช่น การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ แต่การนำไปใช้ผลิตอาหารสัตว์มีความเป็นไปได้น้อย อาจต้องมีการปรับพีเอชให้เป็นกลาง ด้วยสารละลายกรด ซึ่งอาจทำให้อาหารสัตว์มีรสเค็มได้ หรือบางวิธีสามารถลดสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ได้ดี แต่ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง

จากกระบวนการลดสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ โดยใช้กรดแลกติก สามารถกำจัดสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ได้หมด แต่การใช้กรดแลกติกโดยตรง ทำให้มีค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นจึงเลือกใช้กระบวนการลดสารพิษ โดยวิธีการหมักโดยใช้แบคทีเรียกรดแลกติก ซึ่งการหมักด้วยแบคทีเรียกรดแลกติกนี้ ใช้ในการทำไซเลจ คือ พืชอาหารสัตว์หมัก ซึ่งเป็นการหมักโดยใช้แบคทีเรียกรดแลกติก

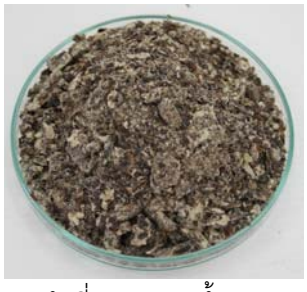
5.3 การลดสารพิษในกากสบู่ดำด้วยกระบวนการทางชีวภาพ

กระบวนการลดสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ในกากสบู่ดำด้วยวิธีการหมักร่วมกับการหมักเอทานอล และหมักกากสบู่ดำด้วยแบคทีเรียกรดแลคติก โดยการนำกากสบู่ดำที่แยกได้จากเมล็ดสบู่ดำที่คั่วด้วยอุณหภูมิ และเวลาต่าง ๆ มาผสมในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้หมักเอทานอลและหมักกรดแลคติก นำน้ำหมักที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลหรือกรดแลคติกที่ได้ และนำส่วนของกากที่เหลือจากการหมักมาวิเคราะห์ปริมาณสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์

5.3.1 การลดสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ การหมักกากสบู่ดำร่วมกับการหมักเอทานอล นำกากน้ำตาลมาเจือจางด้วยน้ำเพื่อปรับความเข้มข้นให้มีความเข้มข้น

ประมาณ 22 บริกซ์ เติมกล้าเชื้อยีสต์ (10^9 cell per ml) ประมาณ 10% ของน้ำหมัก จากนั้นจึงเติมกากสบู่ดำโดยแปรผันจำนวนกากสบู่ดำออกเป็น 3 ระดับ คือ 5, 10 และ 20% โดยน้ำหนัก เก็บตัวอย่างน้ำหมัก เพื่อตรวจวัดปริมาณเอทานอลที่ผลิตได้ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เมื่อสิ้นสุดครบกำหนดเวลา กรองกากสบู่ดำ แยกส่วนที่เป็นของเหลวโดยเก็บตัวอย่างจำนวน 100 มิลลิลิตร เพื่อวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลและสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ ส่วนที่เป็นกากสบู่ดำเก็บตัวอย่างจำนวน 100 กรัม เก็บในถุงพลาสติกเก็บไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ ทำการหมักเช่นเดียวกันนี้กับกากสบู่ดำที่ไม่ผ่านการอบเพื่อใช้เป็นชุดควบคุม วิธีการทดลอง แสดงดังภาพที่ 5-2 ผลการทดลอง แสดงดังตารางที่ 5-7

จากผลการทดลอง พบว่า ปริมาณเอทานอลที่ได้จากการหมักโดยใช้กากน้ำตาลร่วมกับกากสบู่ดำทั้งที่ได้จากการสกัดเอาน้ำมันออกจากเมล็ดที่ไม่ผ่านการคั่ว และผ่านการคั่วที่อุณหภูมิ 60 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 และ 60 นาที ให้ผลใกล้เคียงกัน โดยปริมาณเอทานอลที่ได้จากการหมักกากสบู่ดำที่ได้จากเมล็ดที่ไม่ผ่านการคั่ว อยู่ในช่วง 6.5-7.2% โดยปริมาตร และผ่านการคั่ว อยู่ในช่วง 5.8-7.5% โดยปริมาตร เมื่อเปรียบเทียบผลของการเพิ่มอุณหภูมิ และเวลาในการคั่วเมล็ดสบู่ดำ ต่อปริมาณเอทานอลที่ได้ พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิในการคั่วเมล็ด พบแนวโน้มของการผลิตเอทานอลลดลง และการเพิ่มเวลาในการคั่ว พบว่าปริมาณเอทานอลเพิ่มขึ้น



(1) กากสบู่ดำที่แยกสกัดน้ำมันออกไปแล้ว

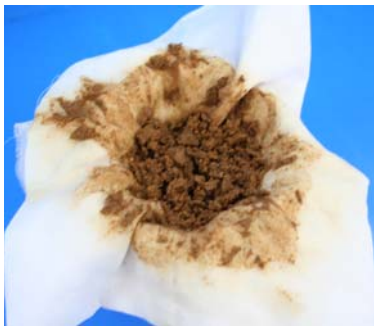
(2) กากสบู่ดำหลังบด

(3) การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

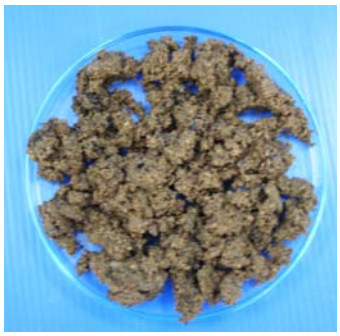
(4) การเตรียมเชื้อยีสต์

(5) สิ้นสุดการหมักเอทานอล

(6) กรองกากสบู่ดำหลังหมัก



(7) กากสบู่ดำหลังกรอง



(8) กากสบู่ดำ

ภาพที่ 5-2 การลดสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ในกากสบู่ดำ โดยกระบวนการหมักเอทานอล

ตารางที่ 5-7 ปริมาณสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ที่เหลือ และปริมาณเอทานอลที่ได้จากการหมักเอทานอล โดยใช้กากน้ำตาลร่วมกับกากสบู่ดำที่ผ่านการคั่วที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ เป็นวัตถุดิบ

การทดลอง	ปริมาณกากสบู่ดำ (%)	ปริมาณเอทานอล (%,v/v)	ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ (mg/g)	ร้อยละของการลดลงของสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ในกากสบู่ดำ[1/]
Control	5	6.50	0.89 ± 0.04	17
	10	7.00	1.10 ± 0.03	(+)1.9[2/]
	20	7.20	1.08 ± 0.08	0
60°C, 30 min	5	6.70	0.77 ± 0.02	28.7
	10	6.45	0.77 ± 0.04	28.7
	20	7.15	0.89 ± 0.09	17.6
60°C, 60 min	5	7.30	0.81 ± 0.01	25.0
	10	7.35	0.81 ± 0.02	25.0
	20	7.40	0.77 ± 0.00	28.7
90°C, 30 min	5	6.46	0.83 ± 0.00	23.1
	10	7.50	0.75 ± 0.07	30.5
	20	5.80	0.79 ± 0.03	26.8
90°C, 60 min	5	6.35	0.77 ± 0.02	28.7
	10	7.20	0.74 ± 0.01	31.5
	20	7.15	0.74 ± 0.00	31.5

หมายเหตุ – [1/]คำนวณโดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุมปริมาณกากสบู่ดำ 20%

[2/]เครื่องหมาย (+) หมายถึงตัวอย่างมีปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในกากสูงกว่าชุดควบคุม

จากการทดลอง พบว่า การหมักเอทานอลสามารถลดสารพิษฟอร์บอลเอส-เทอร์ได้เล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบการหมักกากสบู่ดำที่ได้จากการสกัดเอาน้ำมันออกจากเมล็ดที่ไม่ผ่านการคั่ว และผ่านการคั่วที่อุณหภูมิ และเวลาต่างๆ พบว่า การหมักกากสบู่ดำที่ได้จากการสกัดเอาน้ำมันออกจากเมล็ดที่ผ่านการคั่วในทุกอุณหภูมิที่ทำการทดลอง สามารถลดสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ได้ดีกว่ากากสบู่ดำที่ได้จากการสกัดเอาน้ำมันออกจากเมล็ดที่ไม่ผ่านการคั่วเพียงเล็กน้อย โดยปริมาณสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ที่เหลือในกากสบู่ดำที่ได้จากการสกัดเอาน้ำมันออกจากเมล็ดที่ผ่านการคั่วในทุกอุณหภูมิที่ทำการทดลอง อยู่ในช่วง 0.74-0.89 มิลลิกรัมต่อกรัม

ส่วนในกากสบู่ดำที่ได้จากการสกัดเอาน้ำมันออกจากเมล็ดที่ไม่ผ่านการคั่ว อยู่ในช่วง 0.89-1.10 มิลลิกรัมต่อกรัม และเมื่อเปรียบเทียบการหมักการสบู่ดำที่ได้จากการสกัดเอาน้ำมันออกจากเมล็ดที่ผ่านการคั่วที่อุณหภูมิ 60 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 และ 60 นาที และการใช้ปริมาณสบู่ดำ 5, 10 และ 20% โดยน้ำหนักในการหมัก พบว่า ให้ผลใกล้เคียงกัน

5.3.2 การลดสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ การหมักกากสบู่ดำที่แยกได้จากเมล็ดสบู่ดำที่คั่วด้วยอุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ มาผสมในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้หมักแบคทีเรียกรดแลคติก โดยนำกากน้ำตาลมาคลุกผสมกับกากสบู่ดำ แปรผันปริมาณกากสบู่ดำ 3 ระดับ คือ 5, 10 และ 20% โดยน้ำหนัก เติมกล้าเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกประมาณ 10% ของน้ำหมัก เก็บตัวอย่างน้ำหมักเพื่อตรวจวัดปริมาณกรดแลคติกที่ผลิตได้ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เมื่อสิ้นสุดครบกำหนดเวลา กรองกากสบู่ดำแยกส่วนที่เป็นของเหลวโดยเก็บตัวอย่างจำนวน 100 มิลลิลิตร เพื่อวิเคราะห์ปริมาณกรดแลคติกและสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ ส่วนที่เป็นกากสบู่ดำเก็บตัวอย่างจำนวนจำนวน 100 กรัมเก็บในถุงพลาสติกเก็บไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ ทำการหมักเช่นเดียวกันนี้กับกากสบู่ดำที่ไม่ผ่านการอบเพื่อใช้เป็นชุดควบคุมผลการทดลองกระบวนการลดสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ในกากสบู่ดำ ด้วยวิธีการหมักกรดแลกติก แสดงดังตารางที่ 5-8

จากผลการทดลอง พบว่า ปริมาณกรดทั้งหมดที่ได้จากการหมักโดยใช้กากน้ำตาลร่วมกับกากสบู่ดำทั้งที่ได้จากการสกัดเอาน้ำมันออกจากเมล็ดที่ไม่ผ่านการคั่ว และผ่านการคั่วที่อุณหภูมิ 60 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 และ 60 นาที ให้ผลใกล้เคียงกัน โดยปริมาณกรดทั้งหมดที่ได้จากการหมักกากสบู่ดำที่ได้จากเมล็ดที่ไม่ผ่านการคั่ว อยู่ในช่วง 12.60-19.80 กรัมต่อลิตร และผ่านการคั่ว อยู่ในช่วง 12.60-24.75 กรัมต่อลิตร

ตารางที่ 5-8 ปริมาณสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ที่เหลือ และปริมาณกรดทั้งหมดที่ได้จากการหมักกรดแลกติก โดยใช้กากน้ำตาลร่วมกับกากสบู่ดำที่ผ่านการคั่วที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ เป็นวัตถุดิบ

การทดลอง	ปริมาณกากสบู่ดำ (%)	ปริมาณกรดทั้งหมด (g/l)	ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ (mg/g)	ร้อยละของการลดลงของสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ในกากสบู่ดำ[1/]
Control	5	12.60 ± 0.00	0.69 ± 0.08	(+)46[2/]
	10	18.00 ± 0.00	0.45 ± 0.03	4.3
	20	19.80 ± 0.00	0.47 ± 0.04	0
60°C, 30 min	5	13.50 ± 0.00	0.31 ± 0.02	34.0
	10	17.33 ± 0.32	0.28 ± 0.02	40.4
	20	24.75 ± 0.00	0.32 ± 0.02	31.9
60°C, 60 min	5	14.85 ± 0.00	0.27 ± 0.05	42.5
	10	20.03 ± 0.32	0.28 ± 0.00	40.4
	20	22.50 ± 0.00	0.41 ± 0.01	12.7
90°C, 30 min	5	13.50 ± 0.00	0.30 ± 0.10	36.1
	10	15.75 ± 0.00	0.38 ± 0.05	19.1
	20	18.00 ± 0.00	0.44 ± 0.02	6.4
90°C, 60 min	5	12.60 ± 0.00	0.18 ± 0.01	61.7
	10	15.08 ± 0.32	0.25 ± 0.02	46.8
	20	19.35 ± 0.00	0.26 ± 0.04	44.6

หมายเหตุ – [1/]คำนวณโดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุมปริมาณกากสบู่ดำ 20%

[2/]เครื่องหมาย (+) หมายถึงตัวอย่างมีปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในกากสูงกว่าชุดควบคุม

จากการทดลอง พบว่า การหมักกรดแลกติกสามารถลดสารพิษฟอร์บอล-เอสเทอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อเปรียบเทียบการหมักกากสบู่ดำที่ได้จากการสกัดเอาน้ำมันออกจากเมล็ดที่ไม่ผ่านการคั่ว และผ่านการคั่วที่อุณหภูมิ และเวลาต่างๆ พบว่า การหมักกากสบู่ดำที่ได้จากการสกัดเอาน้ำมันออกจากเมล็ดที่ผ่านการคั่วในทุกอุณหภูมิที่ทำการทดลอง สามารถลดสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ได้ดีกว่ากากสบู่ดำที่ได้จากการสกัดเอาน้ำมันออกจากเมล็ดที่ไม่ผ่านการคั่ว โดยปริมาณสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ที่เหลือในกากสบู่ดำที่ได้จากการสกัดเอาน้ำมันออกจากเมล็ดที่

ผ่านการคั่วในทุกอุณหภูมิที่ทำการทดลอง อยู่ในช่วง 0.18-0.44 มิลลิกรัมต่อกรัม ส่วนในกากสบู่ดำที่ได้จากการสกัดเอาน้ำมันออกจากเมล็ดที่ไม่ผ่านการคั่ว อยู่ในช่วง 0.45-0.69 มิลลิกรัมต่อกรัม และเมื่อเปรียบเทียบการหมักการสบู่ดำที่ได้จากการสกัดเอาน้ำมันออกจากเมล็ดที่ผ่านการคั่วที่อุณหภูมิ 60 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 และ 60 นาที และการใช้ปริมาณสบู่ดำ 5, 10 และ 20% โดยน้ำหนักในการหมัก พบว่า การหมักกากสบู่ดำที่ได้จากการสกัดเอาน้ำมันออกจากเมล็ดที่ผ่านการคั่วที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที และใช้ปริมาณกากสบู่ดำ 5% โดยน้ำหนัก สามารถลดสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ได้ดีที่สุด โดยปริมาณสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ที่เหลือ เท่ากับ 0.18 มิลลิกรัมต่อกรัม รยากร และคณะใช้ bentonite 200 ในการดูดซับสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ในน้ำมันสบู่ดำสามารถกำจัดสารพิษได้ถึง 98% ซึ่งพบว่า bentonite 200 มีความเป็นกรดสูง

การเปรียบเทียบปริมาณสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ที่ลดลงจากการหมักกากสบู่ดำร่วมกับการหมักเอทานอลและการหมักด้วยแบคทีเรียกรดแลคติก

จากผลการทดลองการลดสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ในกากสบู่ดำ ด้วยวิธีการหมักเอทานอล และการหมักกรดแลกติก ในตารางที่ 5-7 และ 5-8 พบว่า การหมักกรดแลกติก สามารถลดปริมาณสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ ได้มีประสิทธิภาพกว่าการหมักเอทานอล โดยปริมาณสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ที่เหลือจากการหมักกรดแลกติก อยู่ในช่วง 0.18-0.69 มิลลิกรัมต่อกรัม ส่วนการหมักเอทานอล อยู่ในช่วง 0.74-1.10 มิลลิกรัมต่อกรัม และสภาวะการหมักกรดแลกติกที่สามารถลดสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือ การหมักกากสบู่ดำที่ได้จากการสกัดเอาน้ำมันออกจากเมล็ดที่ผ่านการคั่วที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที และใช้ปริมาณกากสบู่ดำ 5% โดยน้ำหนัก เหลือปริมาณสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ เท่ากับ 0.18 มิลลิกรัมต่อกรัม

5.4 การเพิ่มมูลค่าแก่กากสบู่ดำด้วยการนำไปผลิตเป็นอาหารสัตว์

ในการผลิตอาหารสัตว์ ด้วยกระบวนการ extruder โดยใช้ทดลองกากสบู่ดำที่ได้จากการสกัดเอาน้ำมันออกจากเมล็ดที่ผ่านการคั่วที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และแปรผันสัดส่วนของปริมาณกากสบู่ดำต่อปริมาณแป้งมัน เท่ากับ 80:20 และ70:30 บดให้ละเอียดด้วยเครื่องบด ผสมให้เข้ากัน และนำไปอัดเม็ดด้วยเครื่องอัดเม็ด ที่ความร้อน 120 องศาเซลเซียส โดยมีการเติมน้ำ 24% และเมื่อทำการอัดเม็ดแล้ว นำตัวอย่างอาหารสัตว์ที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง และนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และปริมาณสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ และสารต่อต้านคุณค่าทางโภชนาการ ผลแสดงดังตารางที่ 5-9 และ 5-10 ตามลำดับ

ตารางที่ 5-9 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างอาหารสัตว์อัดเม็ดในอัตราส่วนต่างๆ

หน่วย: ร้อยละ

อาหารสัตว์อัดเม็ด	ความชื้น	เถ้า	โปรตีน	ไขมัน	ลิกนิน	เซลลูโลส	เฮมิเซลลูโลส
70:30	4.47	5.04	13.73	8.50	19.34	17.72	2.99
80:20	4.23	5.05	13.44	20.00	20.53	18.04	1.24

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารสัตว์อัดเม็ด ผลแสดงดังตารางที่ 5-9 พบว่าผลของความชื้น เถ้า และโปรตีนของอาหารสัตว์อัดเม็ดที่มีปริมาณกากสบู่ดำในอัตราส่วน 70:30 และ 80:20 มีค่าใกล้เคียงกัน โดยความชื้นเท่ากับ 4.23 และ 4.47% ตามลำดับ เถ้า เท่ากับ 5.04 และ5.05% ตามลำดับ และโปรตีน เท่ากับ 13.44 และ 13.73% ตามลำดับ สำหรับผลของไขมัน พบว่า อาหารสัตว์อัดเม็ดที่อัตราส่วน 70: 30 มีปริมาณไขมัน 8.50% แต่ในอาหารสัตว์อัดเม็ดอัตราส่วน 80: 20 มีปริมาณไขมันสูงถึง 20%

ผลของลิกนิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ซึ่งเป็นองค์ประกอบในพืช พบว่าในอาหารสัตว์อัดเม็ดทั้งสองอัตราส่วน มีค่าใกล้เคียงกัน

สำหรับผลของปริมาณสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ และสารต่อต้านคุณค่าทางโภชนาการในอาหารสัตว์อัดเม็ดอัตราส่วน 70: 30 และ 80: 20 ผลแสดงดังตารางที่

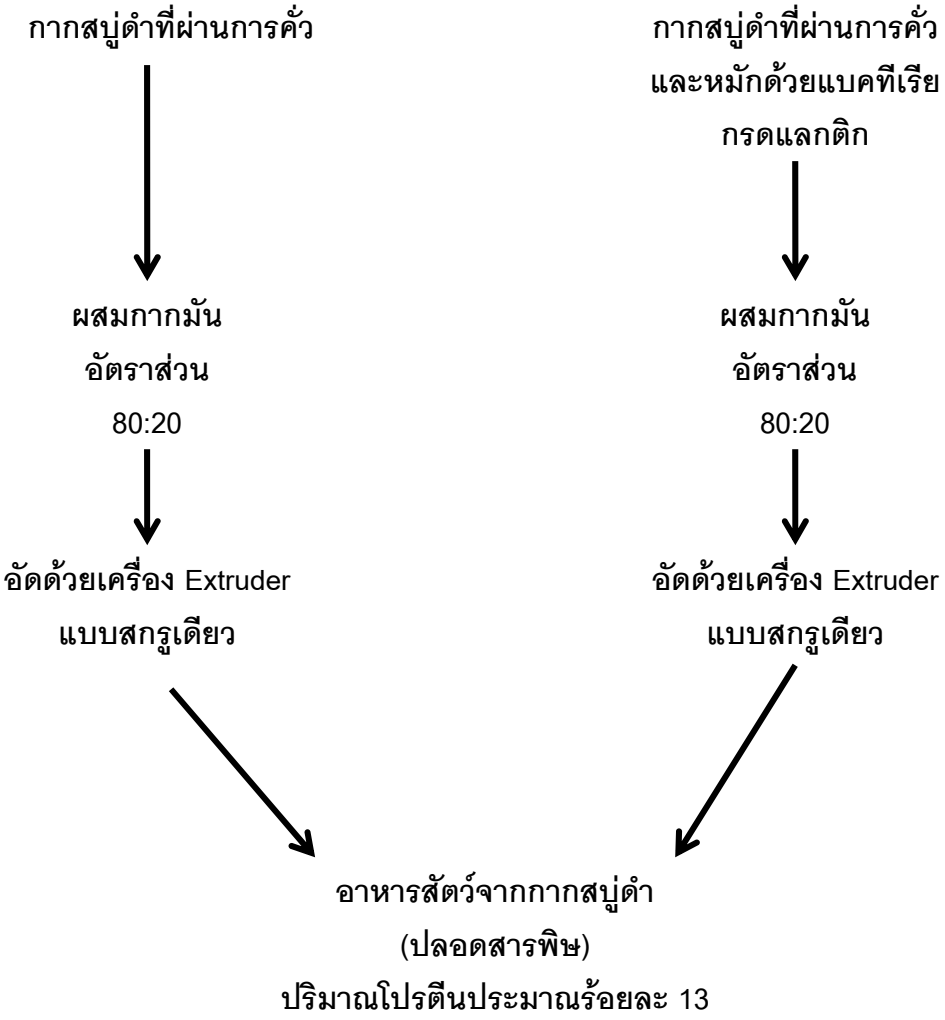
5-10 ไม่พบสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ในอาหารสัตว์อัดเม็ดทั้งสองอัตราส่วน สำหรับสารต่อต้านคุณค่าทางโภชนาการพบว่ามีปริมาณ Trypsin inhibitor ในอาหารสัตว์อัดเม็ดอัตราส่วน 70: 30 เท่ากับ 0.195 mg/g และอาหารสัตว์อัดเม็ดอัตราส่วน 80: 20 เท่ากับ 0.282 mg/g โดยไม่พบเลคตินทั้งใน 2 อัตราส่วน

ตารางที่ 5-10 ปริมาณสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ที่เหลือ และสารต่อต้านคุณค่าทางโภชนาการในอาหารสัตว์อัดเม็ด

อาหารสัตว์อัดเม็ด	ปริมาณสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ (mg/g)	สารต่อต้านคุณค่าทางโภชนาการ	
		สารยับยั้งเอนไซม์ทริปซิน (mg/g)	เลคติน
70:30	Nil	0.195	-
80:20	Nil	0.282	-

หมายเหตุ: Nil = ปริมาณของสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ไม่สามารถคำนวณหาได้

ภาพที่ 5-3 กากสบู่ดำที่ผ่านการคั่วและนำไปหมักร่วมกับแบคทีเรียกรดแลกติก และถูกอบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียส พร้อมใช้เป็นอาหารสัตว์ (ปลอดสารพิษ)



ภาพที่ 5-4 แผนภาพกระบวนการพัฒนาการลดสารพิษจากกากสบู่ดำที่ได้จากการผลิตไบโอดีเซล