บทที่ 4
การผลิตไบโอดีเซลจากสบู่ดำ

4.1การสกัดน้ำมันจากสบู่ดำ

สบู่ดำเป็นพืชน้ำมันชนิดหนึ่ง เมล็ดของสบู่ดำมีปริมาณน้ำมันร้อยละ 35 ของน้ำหนักเมล็ด เมื่อนำผลสบู่ดำแห้งที่แก่จากต้นซึ่งมีสีเหลืองถึงดำ มากะเทาะเปลือกออกให้เหลือเฉพาะเมล็ด จากนั้นนำเมล็ดออกตากแดดเพื่อรับความร้อนประมาณ 30 นาที แล้วนำมาเข้าเครื่องสกัดจะได้เป็นน้ำมันออกมาแล้วนำไปกรองเพื่อแยกเศษผงออก โดยเมล็ดสบู่ดำประมาณ 4 กิโลกรัมจะสกัดได้น้ำมันประมาณ 1 ลิตร และเหลือเป็นกากสบู่ดำอีกประมาณ 3 กิโลกรัม (มานพ และคณะ, 2548)

Achten *et al* (2008) ได้กล่าวถึงวิธีการสกัดน้ำมันจากสบู่ดำไว้ว่า สามารถทำได้ 2 วิธี คือวิธีทางกล และวิธีทางเคมี โดยก่อนที่จะทำการสกัดน้ำมันออกจากเมล็ดสบู่ดำจะต้องนำมาทำให้แห้งก่อนโดยการอบในตู้อบอุณหภูมิ 105 °C หรือใช้วิธีการตากแดดประมาณ 3 อาทิตย์ การสกัดด้วยวิธีทางกลหรือที่เรียกว่าการหีบน้ำมันสามารถใช้ทั้งเมล็ด เฉพาะเมล็ดใน หรือผสมกันก็ได้ แต่ในทางปฏิบัติทั่วไปมักจะใช้เมล็ดสบู่ดำทั้งเมล็ด แต่สำหรับการสกัดด้วยวิธีทางเคมีจะใช้เนื้อในเมล็ดสบู่ดำที่บดแล้วเท่านั้น ส่วนเปลือกสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการทำแก๊สซิฟิ-เคชั่นได้

4.1.1 การสกัดน้ำมันโดยวิธีทางกล

การสกัดน้ำมันออกจากสบู่ดำนิยมใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Ram press โดยใช้แรงคนบีบ หรือใช้เครื่องยนต์ที่มีเกลียวหมุน (Screw press) เป็นตัวขับเคลื่อน (ภาพที่ 4-1) การบีบโดยใช้แรงคนจะสามารถแยกน้ำมันออกมาได้เพียงประมาณร้อยละ 60-65 ของน้ำมันทั้งหมดที่มีอยู่ในเมล็ด ในขณะที่การใช้เครื่อง Screw press จะสามารถสกัดน้ำมันออกมาได้มากถึงร้อยละ 75-80 และหากมีการทำ Pretreatment เช่น เพิ่มเติมระบบให้ความร้อนก่อนการสกัดโดยเครื่อง Screw press จะสามารถเพิ่มปริมาณน้ำมันที่จะสกัดออกมาได้ถึงร้อยละ 89 ในการสกัดเพียงครั้งเดียว และร้อยละ 91 ในการสกัด 2 ครั้ง

(ก) เครื่องหีบสบู่ดำ โดยศูนย์โลหะวัสดุศาสตร์

(ข) เครื่องหีบเมล็ดสบู่ดำ

ที่มา: http://www.siamfuel.com/

ภาพที่ 4-1เครื่องมือที่ใช้ในการหีบน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำแบบต่าง ๆ

4.1.2 การสกัดน้ำมันสบู่ดำโดยวิธีทางเคมี

การสกัดน้ำมันออกจากเมล็ดสบู่ดำสามารถใช้ตัวทำละลายหรือสารได้หลายชนิด ซึ่งประสิทธิภาพนอกจากขึ้นอยู่กับตัวทำละลายหรือสารที่ใช้สกัดแล้วยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ pH และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาอีกด้วย (ตารางที่ 4-1) การใช้ n-hexane พบว่าเป็นวิธีการสกัดที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือสามารถสกัดน้ำมันออกมาได้มากถึงร้อยละ 95-99 แต่ว่าต้องใช้เวลานาน

ตารางที่ 4-1 การสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้สารประเภทต่างๆ

วิธีการสกัด	อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (^{o}C)	pH ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา	เวลาที่ใช้ (ชั่วโมง)	ประสิทธิภาพการสกัดน้ำมัน (%)
1. n-hexane oil extraction (soxhelt apparatus)	-	-	24	95-99
2. Aqueous oil extraction (AOE)	-	-	2	38
	50	9	6	38
3. AOE with 10 min of ultrasonication as pretreatment	50	9	6	67
4. Aqueous enzymatic oil extraction (AEOE) (hemicellulase or cellulase)	60	4.5	2	73
5. AEOE (alkaline protease)	60	7	2	86
	50	9	6	64
6. AEOE (alkaline protease) with 5 min of ultrasonication as pretreatment	50	9	6	74
7. Three-phase partitioning	25	9	2	97

ที่มา: Achten *et al* (2008)

Adriaans (2006) ได้กล่าวไว้ว่าการสกัดด้วยตัวทำละลายจะมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ก็ต่อเมื่อผลิตในขนาดใหญ่ ๆ ที่ระดับมากกว่า 50 ตัน ไบโอดีเซล

ต่อวันขึ้นไปเท่านั้น และการสกัดน้ำมันโดยใช้ตัวทำละลาย n-hexane ถึงแม้จะมีประสิทธิภาพดี แต่ก็มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูง เช่น ทำให้เกิดน้ำเสีย ใช้พลังงานสูง และมีไอระเหยของสารอินทรีย์ที่ระเหยได้ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงาน อีกทั้งสารเคมียังติดไฟจึงอาจเกิดอันตรายได้อีกด้วย การใช้วิธีการสกัดแบบ AEOE (aqueous enzymatic oil extraction) จะช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้

4.2 สมบัติของน้ำมันสบู่ดำ

น้ำมันสบู่ดำที่สกัดได้มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวปนเหลืองใส (ภาพที่ 4-2) และยังคงใสแม้ที่อุณหภูมิต่ำ มีสมบัติทางเคมี และฟิสิกส์ของน้ำมันสบู่ดำแสดงดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 สมบัติทางเคมี และฟิสิกส์ของน้ำมันสบู่ดำ

องค์ประกอบ	ปริมาณ
ปริมาณกรดไขมันอิสระ	4.80
ค่าการเป็นสบู่	197.13
ค่าไอโอดีน	97.08
ดัชนีหักเห ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	1.4670
ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (กรัม/มิลลิลิตร)	0.9136
ความหนืด ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	45.68

ที่มา: รพีพันธุ์ และคณะ (2525)

ภาพที่ 4-2 น้ำมันสบู่ดำ
ที่มา: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

น้ำมันสบู่ดำมีสมบัติข้อสำคัญที่แตกต่างจากน้ำมันมาตรฐานดีเซลหมุนเร็วค่อนข้างมาก (ตารางที่ 4-3) ได้แก่ ค่าความหนืด ซึ่งน้ำมันสบู่ดำมีค่าความหนืดสูงถึง 50.73 เซนติพอยส์ ขณะที่มาตรฐานดีเซลหมุนเร็วมีค่าประมาณ 1.8-5.0 เซนติ-พอยส์ ซึ่งถ้าใช้น้ำมันสบู่ดำเป็นเชื้อเพลิงอาจจะทำให้การฉีดน้ำมันไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพต่ำ และอาจเกิดความเสียหายต่อเครื่องยนต์ได้ ดังนั้นโดยหลักการแล้วถ้าจะใช้น้ำมันสบู่ดำต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ให้มีการอุ่นน้ำมันให้มีความหนืดลดลงและมีการดัดแปลงอื่น ๆ อีก เช่น เปลี่ยนตัวกรองน้ำมันให้มีความละเอียดมากขึ้น แม้ว่าจะมีรายงานการทดลองในประเทศไทยตั้งแต่ปี 2525 ว่าสามารถใช้น้ำมันสบู่ดำกับเครื่องยนต์ดีเซลการเกษตรที่ไม่ผ่านการดัดแปลง แต่ปัจจุบันเครื่องยนต์ดีเซลการเกษตรได้ใช้เทคโนโลยีสูงกว่าในอดีต การใช้น้ำมันสบู่ดำโดยไม่ดัดแปลงเครื่องยนต์ให้มีการอุ่นน้ำมัน และเปลี่ยนตัวกรองน้ำมันให้มีความละเอียดมากขึ้นจะทำให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพต่ำลง และอาจเกิดความเสียหายต่อเครื่องยนต์ได้ อย่างไรก็ตามถ้าเกษตรกรต้องการใช้น้ำมันสบู่ดำกับเครื่องยนต์ที่ไม่ผ่านการดัดแปลง เพื่อลดความเสี่ยงที่จะทำให้เกิดความเสียหายต่อเครื่องยนต์ ควรนำน้ำมันสบู่ดำไปผ่านกระบวนการตกตะกอนและกรองละเอียด และใช้น้ำมันสบู่ดำผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 1: 20 เพื่อให้ค่าความหนืดของน้ำมันที่ผสมแล้วใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และต้องตระหนักว่าปัจจุบันยังไม่มีผู้ผลิต

เครื่องยนต์ดีเซลรายใดที่รับรองอย่างเป็นทางการว่าสามารถใช้น้ำมันสบู่ดำเป็นเชื้อเพลิงได้ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน, 2552)

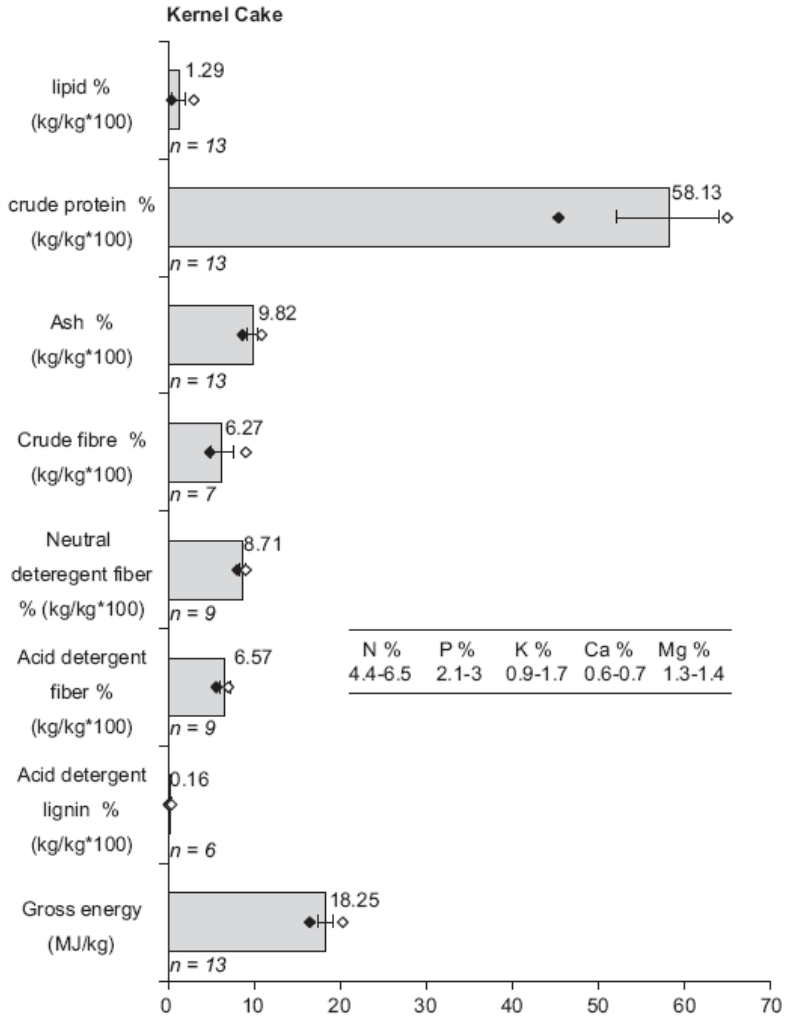
ตารางที่4-3 เปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำมันสบู่ดำกับมาตรฐานน้ำมันดีเซลหมุนเร็วของประเทศญี่ปุ่น และประเทศไทย

รายการวิเคราะห์	**น้ำมันสบู่ดำ**	**มาตรฐานน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว**	
		ญี่ปุ่น	**ไทย**
ความหนาแน่น (กรัม/มิลลิลิตร)	0.9186	0.82-0.84	0.82-0.90
จุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส)	240	$\geq$ 50	$\geq$ 52
กากคาร์บอน (ร้อยละ)	0.64	< 0.15	< 0.05
ค่าซีเทน	51.0	$\geq$ 50	$\geq$ 50
อุณหภูมิการกลั่น (องศาเซลเซียส)	295	< 350	< 370
ความหนืดจำเพาะ (เซนติสโตกส์)	50.73	$\geq$ 2.7	1.8-5.0
กำมะถัน (ร้อยละ)	0.13	< 1.2	< 1.2

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน (2552)

4.3 กากสบู่ดำ

เป็นส่วนของของแข็งที่เหลือจากการสกัดน้ำมันออกไป เป็นแหล่งที่อุดมไปด้วยโปรตีนสูงถึงร้อยละ 58.1 ของน้ำหนักกาก หรือเทียบเท่ากับพลังงาน 18.2 เมกะจูลต่อกิโลกรัม และนอกจากนั้นการสกัดแยกด้วยวิธีทางกล หรือการหีบน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำแบบทั้งเมล็ดจะทำให้มีน้ำมันเหลืออยู่ในกากสบู่ดำในปริมาณที่สูงกว่าคือประมาณร้อยละ 9-12 เนื่องจากเครื่องหีบทำการสกัดได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ (ภาพที่ 4-3)



ภาพที่ 4-3 ค่าเฉลี่ยของปริมาณส่วนประกอบที่พบในกากสบู่ดำที่เหลือจากการสกัดน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดด้วยตัวทำละลาย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากรายงานจำนวน n ข้อมูล

ที่มา: Achten *et al* (2008)

นอกจากปริมาณสารอาหารที่มีอยู่สูงแล้ว ปริมาณสารพิษหลาย ๆ ชนิดก็จะยังคงมีอยู่ในกากสบู่ดำเช่นกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารฟอร์บอลเอสเทอร์ (Phorbol ester) ซึ่งเป็นสารพิษที่พบมากที่สุดในสบู่ดำ ทำให้กากสบู่ดำที่ได้นี้ไม่สามารถใช้เป็นอาหารสัตว์ได้โดยตรง แต่ตารางที่ 4-4 แสดงให้เห็นว่ากากสบู่ดำสามารถนำไปใช้ทำเป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้อย่างดี และนอกจากนั้นสารพิษที่มีอยู่ยังทำหน้าที่เป็นสารกำจัดวัชพืช (Biopesticide) สารกำจัดแมลง (Insecticide) และสารกำจัดศัตรูพืชจำพวกหอย (Mollucicide) ไปในตัวด้วย Rug *et al* (1997) ได้แนะนำว่าผักที่มนุษย์ใช้บริโภคหากปลูกโดยใช้ปุ๋ยจากกากสบู่ดำก็ควรที่จะมีการตรวจสอบปริมาณสารพิษอีกครั้งหนึ่งเพื่อความปลอดภัย

ตารางที่ 4-4 การใช้กากสบู่ดำเป็นปุ๋ยอินทรีย์ในประเทศต่าง ๆ

ประเทศ	พืชที่ปลูก	ปริมาณการใช้ (ตันต่อเฮกตาร์)[1]	ผลที่ได้รับ
Mali	Pearl millet	5	เพิ่มผลผลิตได้ 46% เปรียบเทียบกับไม่ใช้
Zimbabwe	Cabbage	2.5-10	เพิ่มผลผลิตได้ 40-113% เปรียบเทียบกับไม่ใช้ ไม่มีแมลงและโรค ในขณะที่การให้ปุ๋ยคอกพบการรบกวนโดยหนอน cutworm
Nepal	Rice	10	เพิ่มผลผลิตได้ 11% เปรียบเทียบกับไม่ใช้
India	JCL	0.75-3	เพิ่มผลผลิตได้ 13-120% เปรียบเทียบกับไม่ใช้

หมายเหตุ: [1] กากสบู่ดำ 1 ตัน ได้จากพื้นที่ปลูกสบู่ดำ 0.27-0.54 เฮกตาร์ (คำนวณจากผลผลิต 2.5-5ตันเมล็ดแห้ง/เฮกตาร์/ปี ปริมาณน้ำมันร้อยละ 34.4 ประสิทธิภาพการสกัดร้อยละ 75

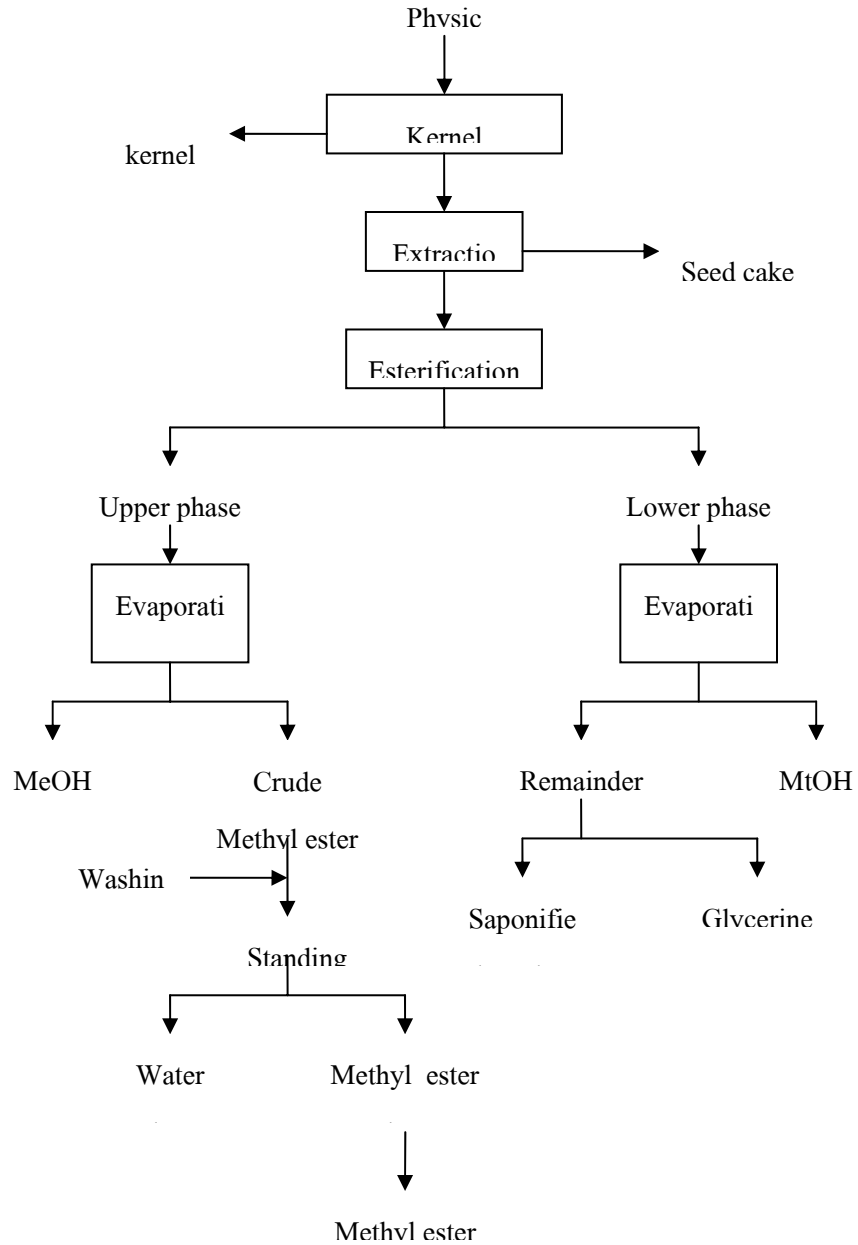
ที่มา: Achten *et al* (2008)

การผลิตก๊าซชีวภาพจากกากสบู่ดำโดยระบบไม่ใช้อากาศ เป็นอีกแนวทางการใช้ประโยชน์หนึ่งจากกากสบู่ดำ ไบโอแก๊สที่ได้จากการหมักกากสบู่ดำ 1 กิโลกรัมสามารถผลิตไบโอแก๊สที่มีก๊าซมีเทน (Methane; CH_4) ร้อยละ 70 ได้ประมาณ 0.4-0.6 ลูกบาศก์เมตร ส่วนที่เหลือจากการบำบัดสามารถนำไปใช้ปรับปรุงดินให้มีความอุดมสมบูรณ์ขึ้น

ดังนั้นจึงเห็นได้ว่ากากสบู่ดำสามารถนำไปใช้ได้หลายวัตถุประสงค์ การหมุนเวียนของเสียกลับไปใช้เป็นปุ๋ยในไร่จะเป็นการช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเพาะปลูก และดูแลต้นสบู่ดำได้ หรือการผลิตไบโอแก๊สก็เป็นการผลิตพลังงานขึ้นมาใช้ได้เอง แต่ในกรณีที่สามารถกำจัดพิษออกจากกากสบู่ดำได้ การใช้เป็นอาหารสัตว์จะเป็นการใช้ประโยชน์ที่มีความคุ้มค่ามากกว่า

4.4 การผลิตเป็นไบโอดีเซลโดยใช้น้ำมันสบู่ดำ

น้ำมันสบู่ดำเมื่อนำมาผ่านปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชั่น (Transesterification) จะได้เป็นเมทิลเอสเทอร์ (Methylester) หรือ เอทิลเอส-เทอร์ (Ethylester) และกลีเซอรอล ถึงแม้ว่าปฏิกิริยาการผลิตจะเป็นแบบง่าย ๆ แต่ข้อมูลการทำปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้อง เช่น สารเคมี (Reagent) ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) อุณหภูมิ และระยะเวลา ต่างมีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด (ภาพที่ 4-4)



ภาพที่ 4-4 การผลิตไบโอดีเซลจากสบู่ดำ และผลพลอยได้ที่เกิดขึ้น

ที่มา: ดัดแปลงจาก Saka and Kudiana (2001)

ปฏิกิริยาการทำเอสเทอริฟิเคชั่นของสบู่ดำที่เหมาะสมที่สุดได้จากการทำปฏิกิริยาของสบู่ดำ (ปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 3.1 และ acid number เท่ากับ 6.2 มก.KOH/กรัม) กับเมทานอลปริมาณร้อยละ 20 ของน้ำหนักน้ำมัน (อัตราส่วนโมลาร์ระหว่างเมทานอลกับน้ำมันประมาณ 5.5:1) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ร้อยละ 1 ของน้ำหนักน้ำมัน โดยปฏิกิริยาจะเกิดได้สมบูรณ์ที่สุดต้องใช้เวลาไม่ต่ำกว่า 90 นาทีที่อุณหภูมิ 60 °C

แต่หากน้ำมันสบู่ดำมีปริมาณกรดไขมันอิสระที่สูง (ร้อยละ 14) และมีค่าความเป็นกรดสูง (acid number เท่ากับ 28 มก.KOH/กรัม) จะต้องเพิ่มกระบวนการ Pretreatment ด้วยเมทานอล (อัตราส่วนโมลาร์ระหว่างเมทานอลกับน้ำมันประมาณ 6.5: 1) เข้าไป โดยใช้กรดซัลฟิวริก (Sulfuric; H_2SO_4) ร้อยละ 1.43 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ใช้เวลา 88 นาทีที่อุณหภูมิ 60 องสาเซลเซียส หลังจากนั้นจึงนำไปทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชั่นด้วยเมทานอล (อัตราส่วนโมลาร์ระหว่าง เมทานอลกับน้ำมันประมาณ 4 : 1) และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide; KOH) ปริมาณร้อยละ 0.6 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 24 นาที วิธีการนี้จะทำให้เกิดปฏิกิริยาได้สูงสุดมากกว่าร้อยละ 99

นอกจากปฏิกิริยาที่กล่าวมาแล้ว ปัจจุบันยังมีเทคโนโลยีการทำปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชั่นแบบใหม่ ๆ ที่ผ่านการทดสอบและพบว่าได้ผลดี แสดงดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 วิธีการทางเลือกในการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชั่นเพื่อผลิตไบโอดีเซล

วิธีการ	ประสิทธิภาพสูงสุด (%)	%สารเร่งปฏิกิริยา (kg kg^{-1}*100)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	อัตราส่วนโมลระหว่างแอลกอฮอล์:น้ำมัน
1. Transesterification using a solid super base catalyst	93	1.5	70	150	เมทานอล:น้ำมัน 9:1
2. *In situ* transesterification (skipping the oil extraction step)	87	1.0	60	60	เมทานอลหรือเอทานอล 100 มล. ต่อเมล็ดสบู่ดำ 20 กรัม
3. Transesterification in supercritical alcohols	95-99	0	200-250	40	Supercritical ของเมทานอลหรือเอทานอล:น้ำมัน 50:1
4. Bio-diesel synthesized enzymeatically in the presence of supercritical CO_2	60-70	0	45	480	เมทานอลหรือเอทานอล:น้ำมัน 5:1

ที่มา: Achten *et al* (2008)

4.5 ต้นทุนน้ำมันไบโอดีเซลจากสบู่ดำ

ต้นทุนการผลิตสบู่ดำจะมีราคาประมาณกิโลกรัมละ 3.10 บาท จากต้นทุนรวม 2,500 บาท และได้ผลผลิต 800 กิโลกรัม/ไร่ (ระยะปลูก 2 x 2.5 เมตร, 400 ต้น/ไร่, น้ำมันดิบ 200 ลิตร) โดยราคาของต้นกล้าสบู่ดำอยู่ที่ 3 บาท/ต้น จะทำให้สามารถคำนวณผลผลิตคุ้มทุน ราคาขายคุ้มทุน ราคาต้นทุนน้ำมันสบู่ดำดิบ และราคาเมื่อผลิตเป็นไบโอดีเซลสบู่ดำได้ดังตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-6 เปรียบเทียบต้นทุนการผลิต ราคาคุ้มทุน และราคาสบู่ดำ (บาท/ไร่)

ราคาต้นกล้าสบู่ดำ (บาท/ต้น)	ต้นทุนการผลิตสบู่ดำ (บาท/ไร่)	ผลผลิตสบู่ดำคุ้มทุน (กก./ไร่)	ราคาขายสบู่ดำคุ้มทุน (บาท/กก.)	ราคาต้นทุนน้ำมันสบู่ดำ (บาท/ลิตร)	ค่าใช้จ่ายในการผลิตไบโอดีเซล (บาท/ลิตร)	ราคาไบโอดีเซล (บาท/ลิตร)
3	2,500	805	3.125	12.50	3	15.50
5	3,300	1,056	4.125	16.50	3	19.50
7	4,100	1,312	5.125	20.50	3	23.50
10	5,300	1,696	6.625	26.50	3	29.50

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน (2552)

4.6สารพิษในสบู่ดำ

สบู่ดำเป็นพืชที่มีสารพิษที่เป็นอันตรายอยู่ตามส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น ลำต้น ใบ และ ผล เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะทำให้คลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง ชัก หอบ หายใจขัด และอาจตายได้ ในเมล็ดสบู่ดำมีสารพิษที่เรียกว่า curcin หรือ cureacin และสารพวก resin เจือปนอยู่ หากบริโภคแล้วจะทำให้ท้องเดินมีฤทธิ์คล้ายสลอดและถ้าบริโภคในปริมาณมากอาจทำให้เสียชีวิตได้ ในน้ำมันมีสารฟอร์บอลเอสเทอร์ (phorbol ester) ซึ่งมีฤทธิ์ในการกระตุ้นให้เซลล์ที่มียีนผิดปกติแบ่งตัว และอาจพัฒนาเป็นเซลล์มะเร็งได้

กากเมล็ดสบู่ดำที่ผ่านการบีบเอาน้ำมันออกแล้วนั้นสามารถนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ เนื่องจากมีโปรตีนสูง รวมทั้งยังมีกรดอะมิโนที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของสัตว์ในระดับที่สูง แต่เนื่องจากในกากเมล็ดสบู่ดำยังมีสารพิษที่เป็นอันตรายต่อสัตว์ ดังนั้นถ้าหากสามารถแยกเอาสารพิษที่มีอยู่ในกากเมล็ดสบู่ดำออกไปได้ก็สามารถที่จะนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ได้

อย่างไรก็ตามเราไม่สามารถนำกากสบู่ดำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ทันที เนื่องจากในกากสบู่ดำหรือ cake จะมีสารยับยั้งโภชนาการหลายชนิดด้วยกันได้แก่ สารยับยั้งทริปซิน (Tripsin Inhibitor) เลคติน (Lectin) ซาโปนิน (Saponin) ไฟเตท (Phytate) และที่สำคัญคือ ฟอร์บอลเอสเทอร์ (Phorbol Ester; PEs) ซึ่งเป็นสารที่กระตุ้นการสร้างเนื้องอกในมนุษย์และสัตว์ โดยเมล็ดสบู่ดำที่มาจากแหล่งเพาะปลูกที่ต่างกันก็จะมีสารยับยั้งโภชนาการในปริมาณที่แตกต่างกันด้วย (ตารางที่ 4-7) สารต่อต้านคุณค่าทางโภชนาการแต่ละชนิดที่พบในสบู่ดำจากแหล่งต่างๆ จะมีปริมาณอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน ยกเว้นปริมาณของสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ ที่จะแตกต่างกันออกไป ซึ่งเป็นลักษณะจำเพาะของแต่ละสายพันธุ์ และอิทธิพลของสภาพการเพาะปลูก แสดงดังตารางที่ 4-8

ตารางที่ 4-7 ปริมาณสารต่อต้านคุณค่าทางโภชนาการในเนื้อเมล็ดสบู่ดำ

แหล่งที่เพาะปลูก	ปริมาณสารต่อต้านคุณค่าทางโภชนาการในเนื้อเมล็ดสบู่ดำ (kernel)			
	สารยับยั้งทริปซิน	เลคติน	ซาโปนิน (%)	ไฟเตท (%)
ทวีปอัฟริกา				
สาธารณรัฐเคปเวิร์ด	27.3	0.85 (102)	1.82	7.2
ประเทศเซเนกัล	23.6	0.85 (102)	2.21	8.2
ประเทศกานา	22.2	6.85 (102)	2.25	7.8
ประเทศเบนิน	21.8	0.85 (204)	2.04	8.4
ประเทศบูร์กินาฟาโซ	22.8	0.85 (102)	1.91	8.2
ประเทศเคนยา	24.9	0.85 (204)	2.67	6.2
ประเทศแทนซาเนีย	24.4	0.85 (102)	2.58	8.6
ประเทศคอสตาริกา	26.3	6.85 (102)	2.72	9.6
ประเทศนิการากัว	21.3	2.88 (102)	2.6	9.4
ประเทศไนจีเรีย	18.4	-	2.0	7.2
ประเทศแม็กซิโก รัฐเวรากรูซ	24.5	6.85 (102)	2.06	8.6
ประเทศแม็กซิโก รัฐปวยบลา	26.5	1.70 (51.3)	3.4	8.9
ทวีปเอเชีย				
ประเทศอินเดีย	27.5	6.85 (51.3)	2.02	8.2
สหภาพพม่า เมืองมัณฑะเลย์	25.3	0.85 (102)	2.04	7.5

ที่มา: Makkar *et al* (1997)

ตารางที่ 4-8 ปริมาณสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ในกากสบู่ดำหลังจากการหีบน้ำมันออกแล้ว

แหล่งที่เพาะปลูก	สารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ (PEs) (mg/g)[1]				
	ช่วง Peak ที่ 1	ช่วง Peak ที่ 2-4			ปริมาณรวม
ทวีปอัฟริกา					
สาธารณรัฐเคปเวิร์ด	0.77	0.32	0.24	0.17	1.50
ประเทศเซเนกัล	1.15	0.47	0.40	0.25	2.27
ประเทศกานา	0.69	0.30	0.18	0.12	1.29
ประเทศเบนิน	0.81	0.40	0.28	0.22	1.71
ประเทศบูร์กินาฟาโซ	0.97	0.31	0.26	0.17	1.71
ประเทศเคนยา	1.80	0.64	0.53	0.35	3.32
ประเทศแทนซาเนีย	0.66	0.18	0.17	0.11	1.12
ประเทศคอสตาริกา	0.82	0.06	0.18	0.09	1.15
ประเทศนิการากัว	1.61	0.47	0.37	0.25	2.70
ประเทศแม็กซิโก รัฐปวยบลา	n.d.[2]	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
ประเทศแม็กซิโก รัฐเวรากรูซ	0.55	0.19	0.17	0.11	1.02
ทวีปเอเชีย					
ประเทศอินเดีย	0.67	0.25	0.21	0.15	1.28
สหภาพพม่า เมืองมัณฑะเลย์	0.53	0.14	0.12	0.08	0.87

หมายเหตุ: [1] ใช้สารมาตรฐาน TPA (phorbol-12-myristate 13-acetate) เป็นตัวเปรียบเทียบ

[2] ไม่สามารถตรวจพบได้จากการทดลอง

ที่มา: Makkar *et al* (1997)

สารต่อต้านคุณค่าทางโภชนาการ และสารพิษเหล่านี้มักจะพบทั่วไปในเมล็ดพืชจากประเทศในเขตแถบร้อนชื้นหลายชนิด ซึ่งพืชจะสร้างขึ้นระหว่างการเจริญเติบโตเพื่อป้องกันตัวเองจากการกินของสัตว์ในระบบของห่วงโซ่อาหาร อย่างไรก็ตามพบว่าเมล็ดพืชเหล่านี้มักจะมีคุณค่าทางโภชนาการสำหรับมนุษย์และสัตว์อย่างมาก เช่นถั่วเหลือง และเมล็ดสบู่ดำ เป็นต้น จากการศึกษาปริมาณของสารพิษในเมล็ดสบู่ดำจากแหล่งเพาะปลูกต่างๆ พบว่าเมล็ดสบู่ดำที่ปลูกในรัฐ

ปวยบลา ของประเทศเม็กซิโก เป็นสายพันธุ์ที่ไม่มีสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ สะสมอยู่ในเมล็ด แต่อย่างไรก็ตามยังไม่สามารถนำมาบริโภคหรือใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ทันทีเนื่องจากยังคงมีสารต่อต้านคุณค่าทางโภชนาการอยู่ในปริมาณใกล้เคียงกันกับเมล็ดสบู่ดำที่นำมาศึกษาจากแหล่งเพาะปลูกอื่นๆ ดังนั้นก่อนที่จะมีการนำกากสบู่ดำไปใช้ประโยชน์เพื่อเป็นแหล่งอาหารสำรองนั้นจึงต้องมีกระบวนการกำจัดสารพิษและสารต่อต้านคุณค่าทางโภชนาการให้หมดไปหรือลดลงมากที่สุดจนเป็นที่ยอมรับได้ตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดว่าไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ และสัตว์

สารพิษที่พบในสบู่ดำ และสารต่อต้านคุณค่าทางโภชนาการ (Anti-nutritional factors, ANFs) หรือขัดขวางโภชนาการในสัตว์ที่สำคัญ และพบมากในกากเมล็ดสบู่ดำได้แก่

(1) แทนนิน และสารประกอบฟีนอล (Tannins and Phenols) สารแทนนินเป็นสารในกลุ่ม polyphenol ซึ่งสามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับสาร macromolecule ชนิดอื่นๆ สามารถแบ่งสารแทนนินออกเป็น 2 ชนิด ชนิดแรกคือ hydrolysable tannin ซึ่งเป็นโพลีเมอร์ของ gallic (ellagic acid) ที่มีหมู่เอสเทอร์เชื่อมกับ sugar เป็นสารที่ถูกย่อย (hydrolysis) ออกเป็นโมเลกุลเล็กๆ ได้ด้วยกรด หรือ enzyme tannase สารในกลุ่มนี้มีลักษณะเป็น amorphous มีสีเหลือง-น้ำตาล ละลายในน้ำร้อนได้เป็น colloidal dispersions ส่วนกลุ่มที่ 2 คือ condensed tannin (proanthrocyanin) เป็นสารที่ไม่สามารถย่อยได้ เมื่อได้รับกรดหรือ enzyme tannase จะให้สารสีแดงที่ไม่ละลายน้ำ (phlobaphenes) มีหมู่คาร์บอนเชื่อมต่อกัน ซึ่งสาร phlobaphenes เป็นกลุ่มโพลีเมอร์ของ flavonoid (flavan-3-0l) ทั้งนี้คุณสมบัติของ condensed tannins ขึ้นอยู่กับหน่วยโมโนเมอร์ (ตำแหน่งของ hydroxylation และ 2, 3-cis- หรือ 2, 3-trans stereochemistry) แทนนินทำหน้าที่ในกลไกการป้องกันตัวของพืชที่มีต่อโรคพืช สัตว์กินพืชเป็นอาหารและสภาพแวดล้อมที่ไม่เอื้ออำนวย โดยทั่วไปแทนนินก่อให้เกิดการตอบสนองในทางลบเมื่อกินเข้าไป ผลดังกล่าวอาจโดยการก่อให้เกิดความฝาดหรือความขม หรือแม้แต่การชะลอการตอบสนองซึ่งมีความเกี่ยวพันกับการต่อต้านทางโภชนะหรือความเป็นพิษ แทนนินอาจมีผลทำให้ปริมาณการกินอาหาร

ลดลง โดยเป็นการทำให้ความน่ากินลดลง และมีผลในทางลบต่อการย่อยในสัตว์กระเพาะเดี่ยว อาการของสัตว์ที่เกิดจากสารพิษแทนนิน สัตว์ที่กินอาหารที่มีแทนนินเข้าไปปริมาณมากพอที่จะเกิดพิษได้ จะแสดงอาการท้องอืด และมีคอเลสเตอรอล (Cholesterol) ในกระแสเลือดสูงขึ้น แทนนินในอาหารถูกมองไปในแง่ของการก่อให้เกิดผลเสียที่เกิดขึ้นต่อสัตว์ แต่อย่างไรก็ตามในสัตว์เคี้ยว (ฤทัยรัตน์, 2551) ในสบู่ดำ พบว่า แทนนิน และคอนเดนส์แทนนิน (condensed tannin) ไม่พบในเนื้อและกากสบู่ดำ แต่ในเปลือกของสบู่ดำ พบว่ามีสารประกอบฟีนอล และแทนนินประมาณ 2.8-4.4 และ 2.0-2.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีสารประกอบฟีนอลอยู่ในเนื้อเมล็ดสบู่ดำ และกากเมล็ดสบู่ดำปริมาณน้อย คือ ประมาณ 0.29-0.36 และ 0.19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

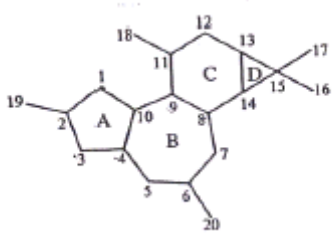
(2) สารยับยั้งทริปซิน (Trypsin inhibitors) เป็นโปรตีนที่มีสมบัติยับยั้งการทำงานของน้ำย่อยทริปซิน และไคโมทริปซิน โดยการรวมตัวกับน้ำย่อยเกิดเป็นสารใหม่ส่งผลให้คุณสมบัติในการทำงานของน้ำย่อยหมดไป และเป็นสาเหตุของการเกิดการขยายตัวของตับอ่อนเนื่องจากต้องทำการขับน้ำย่อยทริปซินมากเกินไป โดยปกติการทำงานของตับอ่อนในการขับน้ำย่อยจะถูกควบคุมโดยระดับของน้ำย่อยทริปซินในลำไส้ ดังนั้นการที่มีสารยับยั้งทริปซินอยู่ในลำไส้ทำให้เกิดการลดระดับลงของน้ำย่อยทริปซิน ตับอ่อนจึงต้องขับน้ำย่อยทริปซินเพิ่มขึ้นอีก ทำให้เกิดอาการตับอ่อนโต และส่งผลต่อการชะงักการเจริญเติบโตอีกด้วย

(3) เลคติน (Lectin หรือ Heamagglutinins) เลคตินเป็นไกลโคโปรตีนชนิดหนึ่ง สามารถทำให้เม็ดเลือดแดงจากสัตว์หลายชนิด เช่น คน กระต่าย หนู จับกลุ่มกัน และในที่สุดเกิดการแตกสลายของเม็ดเลือดแดงได้ สารเลคตินที่ไม่ถูกทำลายจะทำให้เกิดอาการคล้ายอาหารเป็นพิษ โดยมีอาการผิดปกติของทางเดินอาหารอย่างเฉียบพลัน (ภายใน 1/2 ถึง 1 ชั่วโมง) อาการที่เกิดขึ้น คือ คลื่นไส้ อาเจียน ท้องเดิน ปวดท้อง แต่เลคตินมีผลน้อยต่อคุณภาพโปรตีน(สถาบันวิจัยโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2551) Wongkham *et al* (1995) ทดสอบคุณสมบัติของเลคตินในเปลือกของต้นสบู่ดำ พบว่า เลคตินไม่ทำปฏิกิริยาตกตะกอนกับเลือดของคน แต่เกิดการตกตะกอนกับเลือดของหนู ในทางปฏิบัติเลคตินถูกทำลายได้ด้วยความร้อนชื้นเช่นเดียวกับสารยับยั้ง

เอนไซม์ทริปซิน เนื่องจากทั้งเลคติน และสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินต่างก็เป็นโปรตีน

(4) ซาโปนิน (Saponin) มีสูตรทั่วไปว่า $C_nH_{1n-8}O_{10}$ เป็นสารในกลุ่มไกลโค-ไซด์ (glycoside) ที่มีส่วน aglycone (sapogenin) เป็นสารจำพวกสเตียรอยด์ (steroid) หรือ ไตรเทอร์ปินอยด์ (triterpenoids) ซึ่งจะจับกับน้ำตาลหรืออนุพันธ์ของน้ำตาลตำแหน่ง C3 ได้เป็น O-glycoside น้ำตาลที่พบมักจะเป็นโอลิโกแซกคาไรด์ (oligosaccharide) 1-5 หน่วย คุณสมบัติของซาโปนิน คือ มีรสขม เมื่อละลายน้ำจะเป็นฟองคล้ายสบู่ สารตัวนี้มีสมบัติไม่ละลายในตัวทำละลายเฮกเซน และไม่ถูกทำลายด้วยความร้อน มีผลทำให้เม็ดเลือดแดงสลายตัวทั้งนี้ขึ้นกับปริมาณสารซาโปนินที่มีอยู่ในวัตถุดิบอาหารสัตว์ โดยทั่วไปแล้วซาโปนินจะถูกดูดซึมได้น้อย จนทำให้มีอิทธิพลได้เพียงบางอย่างเท่านั้น ส่วนที่ได้รับอันตรายคือ ทำให้เซลล์บริเวณนั้นเสื่อมสลาย ทำให้สารเข้าไปในบริเวณนั้นง่ายขึ้น เช่น บริเวณกระเพาะอาหาร ทำให้เกิดอาการปวดกระเพาะตอนบนอาเจียน

(5) ฟอร์บอลเอสเทอร์ (Phorbol Esters; PEs) เป็นสารที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติโดยมากมักจะพบในพืชตระกูล Euphorbiaceae และ Thymelaeceae สารฟอร์บอลเอสเทอร์นี้เป็นเอสเทอร์ของ tigliane diterpenes ซึ่งมีสูตรโครงสร้างดังภาพที่ 4-5

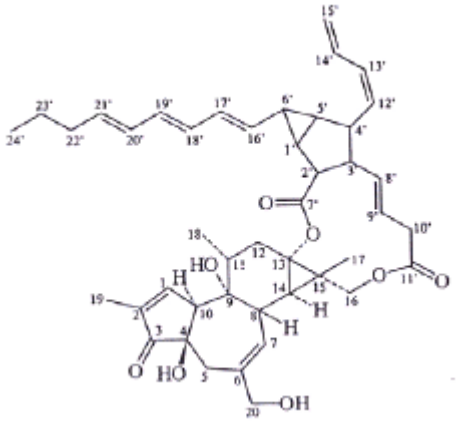


ภาพที่ 4-5 โครงสร้างของสาร Tigliane

ที่มา: Haas and Mittelbach (2000)

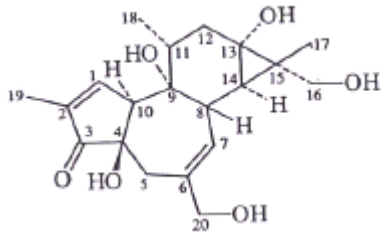
Tigliane เป็น tetraciclic diterpene เมื่อเกิดปฏิกิริยา Hydroxylation จะมีหมู่ hydroxy (OH) เข้าจับกับสาร tigliane ที่ตำแหน่งต่าง ๆ เกิดเป็นสารประเภทแอลกอฮอล์เกิดขึ้น เมื่อสารนี้รวมกับกรดก็จะเกิดเป็นสารประเภทเอสเทอร์เกิดขึ้น และเรียกว่าเป็นพวกฟอร์บอลเอสเทอร์ โดยสารนี้จะมีอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ในแง่ของการส่งเสริมให้เกิดเนื้องอก การเพิ่มจำนวนเซลล์ กระตุ้นการเกิดเกล็ดเลือด การก่ออาการอักเสบของผิวหนัง กระตุ้นการผลิตฮอร์โมน prostaglandin และกระตุ้นให้เกิดสภาวะการไม่รวมตัวของนิวโทรฟิลส์ เป็นต้น

เมล็ดในสบู่ดำพบว่าประกอบด้วยสารฟอร์บอลเอสเทอร์อย่างน้อย 4 ชนิด (Haas and Mittelbach, 2000) เมล็ดในของสบู่ดำพบว่าประกอบด้วย phorbol esters อย่างน้อย 4 ชนิด (Haas *et al*, 2002) ซึ่งสูตรโครงสร้างของฟอร์บอลเอส-เทอร์หลักที่พบคือ 12-deoxy-16-hydroxyphorbol-4′-[12′,14′-butadienyl]-6′-[16′,18′,20′-nonatrienyl]-bicyclo[3.1.0] hexane-(13-0)-2′[carboxylate]-(16-0)-3′-[8′-butenoic-10′] ate (เรียกว่า DHPB) มีสูตรโครงสร้างดังภาพที่ 4-6 ส่วนในรูปของแอลกอฮอล์ที่พบในเมล็ดสบู่ดำ คือ 12-deoxy-16-hydroxy-phorbol ดังภาพที่ 4-7



ภาพที่ 4-6 โครงสร้างของ 12-deoxy-16-hydroxyphorbol-4′-[12′,14′-butadienyl]-6′-[16′,18′,20′-nonatrienyl]-bicyclo[3.1.0] hexane-(13-0)-2′[carboxylate]-(16-0)-3′-[8′-butenoic-10′] ate (เรียกว่า DHPB)

ที่มา: Haas and Mittelbach (2000)



ภาพที่ 4-7 โครงสร้างของ 12-deoxy-16-hydroxy-phorbol
ที่มา: Haas and Mittelbach (2000)

โดยสารฟอร์บอลเอสเทอร์ เป็นสารที่ละลายในไขมัน (lipo-soluble phorbol) และค่อนข้างทนต่อความร้อน ดังนั้นการกำจัดสารฟอร์บอลเอสเทอร์ออกจากกากสบู่ดำจึงต้องทำการสกัดด้วยตัวทำละลายที่มีประสิทธิภาพในการละลายสารฟอร์บอลเอสเทอร์ โดยทั่วไปนิยมใช้เอทานอล เป็นตัวทำละลาย ดังนั้นการนำกากสบู่ดำไปใช้ประโยชน์สำหรับเป็นแหล่งอาหารให้พลังงาน จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องกำจัดสารพิษและสารต่อต้านคุณค่าทางโภชนาการดังกล่าวออกก่อน เนื่องจากมีผลต่อการเจริญและการพัฒนาของสัตว์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งต่อการใช้เป็นอาหารสำหรับสัตว์กระเพาะเดี่ยว (Monogastric Animal) เช่น สุกร ไก่ และโค ซึ่งเป็นสัตว์ที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจค่อนข้างมาก

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ในการกำจัดสารฟอร์บอลเอสเทอร์โดยใช้การดูดซับซึ่งตัวดูดซับที่สามารถกำจัดได้ดีที่สุด คือ เบนโทไนต์ ซึ่งสามารถดูดซับได้ถึงร้อยละ 98 ในระยะเวลา 45 นาที (รยากร และคณะ, มปป) และความร้อนสามารถทำลายสารพิษจากสบู่ดำได้หลายชนิดโดยเฉพาะสาร Curcin แต่ไม่สามารถทำลายสารฟอร์บอลเอสเทอร์ได้ (Aderibigbe *et al* 1997) ในขณะที่ Gross *et al* (1997) ได้รายงานว่าเมื่อนำกากสบู่ดำมาให้ความร้อนชื้น (Heat moisture treatment) แล้วนำไปสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล สามารถกำจัดสารฟอร์บอลเอสเทอร์ได้มากกว่าร้อยละ 75

Aregheore *et al* (2003) ได้ทำการศึกษาถึงการกำจัดสารฟอร์บอลเอส-เทอร์ และเลคตินจากกากสบู่ดำโดยการใช้ความร้อนและสารเคมี พบว่าที่การใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงถึง 121 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที สามารถทำลายสารเลคตินได้ แต่ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ ก็ยังคงไม่ถูกทำลาย แต่

สามารถกำจัดออกจากกากสบู่ดำได้ด้วยการนำกากไปสกัดน้ำมันที่เหลือโดยการใช้สารละลายเมทานอล ร้อยละ 92 จึงสามารถกำจัดสารฟอร์บอลเอสเทอร์ได้

Chivandi *et al* (2004) ได้ทำการศึกษากระบวนการลดสารฟอร์บอลเอส-เทอร์ในกากสบู่ดำโดยใช้การสกัดน้ำมันที่เหลือในกากสบู่ดำโดยใช้ตัวทำละลายหลายชนิดต่อด้วยการให้ความร้อนแบบความร้อนชื้นร่วมกับเครื่องบีบอัดแบบสกรู (Extruder) ผลการศึกษาพบว่าเมื่อทำการสกัดด้วย Hexane และ/หรือ Petroleum ether แล้วต่อด้วยการให้ความร้อนในเครื่อง Extrude เป็นกระบวนการที่สามารถลดปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ได้มากกว่าร้อยละ 85 (คิดเป็นประมาณ 0.7 มิลลิกรัม/กรัม) แต่อย่างไรก็ตามยังไม่สามารถเปรียบเทียบกับกากสบู่ดำจากสายพันธุ์สบู่ดำที่ไม่มีพิษ ที่มีปริมาณสารเพียง 0.11 มิลลิกรัม/กรัม

Belewu (2008) ศึกษาการใช้เชื้อรา *Rhizopus oligosporus* ในการลดสารต่อต้านคุณค่าทางโภชนาการในกากสบู่ดำที่สกัดน้ำมันออกแล้ว พบว่า การหมักกากสบู่ดำกับเชื้อรา *R. oligosporus* สามารถลดสารต่อต้านคุณค่าทางโภชนาการ เช่น แทนนิน ซาโปนิน เลคติน และสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินได้

Nokkaew (2008) ศึกษาการลดความเป็นพิษของสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในกากสบู่ดำ โดยการใช้สารเคมี พบว่า การใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 3 อัตราส่วน 1:5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เขย่าที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที ร่วมกับการแช่ในเอทานอล ร้อยละ 95 เป็นเวลา 1 คืน สามารถกำจัดสารฟอร์บอลเอสเทอร์จาก 1.4733 มิลลิกรัมต่อกรัม ให้เหลือ 0.1097 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ที่เหลืออยู่นี้ อยู่ในระดับเดียวกับที่พบในสบู่ดำสายพันธุ์ที่ไม่เป็นพิษ ดังนั้นจึงสามารถนำกากกบู่ดำที่ผ่านการลดความเป็นพิษแล้วไปใช้เป็นอาหารสัตว์ได้

กนกวรรณ (2552) ศึกษาวิธีการลดความเป็นพิษของสารฟอร์บอล-เอสเทอร์ในกากสบู่ดำโดยใช้สารละลายลดแรงตึงผิว พบว่า การใช้ Dehydol LS9 ความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์ เป็นตัวสกัด สามารถลดความเป็นพิษของสารฟอร์บอลเอสเทอร์ได้มากที่สุด เท่ากับ ร้อยละ 81.87 รองลงมาเป็นการใช้ Tween 80 ความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์ สามารถลดได้ร้อยละ 81.43 สำหรับการใช้น้ำเป็น

ตัวสกัด สามารถลดได้เพียงร้อยละ 22.49 นอกจากนั้นการสกัดซ้ำ และการเพิ่มอัตราส่วนของกากสบู่ดำกับสารที่ใช้สกัด ก็สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการลดความเป็นพิษได้

นอกจากนี้การฉายรังสีก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการลดกิจกรรมของสารต่อต้านคุณค่าทางโภชนาการ โดยศรายุทธ (2551) ศึกษาผลของการใช้รังสีแกมมาต่อกิจกรรมของสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินในเมล็ดสบู่ดำจากแหล่งที่นิยมปลูกในประเทศไทย พบว่า การใช้รังสีแกมมาปริมาณ 60 กิโลเกรย์ สามารถลดกิจกรรมของสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินได้ร้อยละ 60.29 โดยข้อดีของการใช้วิธีนี้ คือ ง่าย ระยะเวลาสั้น และสามารถรักษาคุณค่าทางโภชนาการ

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ากระบวนการกำจัดสารพิษและสารต่อต้านคุณค่าทางโภชนาการในกากเมล็ดสบู่ดำไม่สามารถกำจัดได้ด้วยกระบวนการในขั้นตอนเดียว จำเป็นต้องมีการกำจัดหลายขั้นตอนตั้งแต่การสกัดด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆ ซ้ำกันหลายรอบ หรือกำจัดด้วยตัวทำละลายร่วมกับการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง นอกจากนั้นงานวิจัยส่วนใหญ่มักจะให้ความสนใจที่การลดปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์เป็นหลัก ข้อมูลด้านกระบวนการและเทคโนโลยีในการกำจัดสารต่อต้านคุณค่าทางโภชนาการตัวอื่นได้แก่ เลคติน สารยับยั้งทริปซิน และซาโปนิน นับได้ว่ายังมีอยู่น้อยมาก ซึ่งสารต่อต้านคุณค่าทางโภชนาการก็ก่อให้เกิดผลเสียต่อการพัฒนา และอุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์ไม่ต่างจากสารฟอร์บอลเอสเทอร์ ถึงแม้จะเป็นที่ทราบกันดีว่าสารต่อต้านคุณค่าทางโภชนาการที่กล่าวถึงโดยทั่วไปจะสามารถทำลายได้โดยใช้ความร้อนสูง อย่างไรก็ตามการใช้อุณหภูมิสูงถึง 100-120 องศาเซลเซียส โดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบอากาศร้อน จะมีผลอย่างยิ่งต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ทั้งในด้านของสี และกลิ่น ตลอดจนองค์ประกอบทางเคมีของโปรตีนและโครงสร้างของกรดอะมิโนที่เปลี่ยนแปลงไป นอกจากนั้นสิ่งสำคัญที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้คือ การระบายอากาศร้อนออกสู่ชั้นบรรยากาศที่อาจเป็นการปลดปล่อยสารพิษคงเหลือในกากเมล็ดสบู่ดำหลุดออกไปด้วย ดังนั้นจึงควรคำนึงถึงกรรมวิธีที่มีประสิทธิภาพในการอบแห้งอีกประการหนึ่งด้วย

จากทฤษฎีและงานวิจัยที่กล่าวข้างต้น สามารถเห็นได้ว่าการหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำลายสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ และสารต่อต้านคุณค่าทาง

โภชนาการที่ติดค้างในกากสบู่ดำ และยังคงมีคุณภาพของผลิตภัณฑ์เป็นไปตามเกณฑ์การนำไปใช้ประโยชน์ เช่นนำไปผลิตเป็นอาหารสัตว์ ต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายประการเช่น ตัวทำละลายที่เลือกใช้ในการสกัดสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำลายสารต่อต้านคุณค่าทางโภชนาการ จะต้องไม่ส่งผลกระทบเชิงลบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิตต้องไม่สร้างมลพิษ และต้องมีการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า และปลอดภัยระหว่างการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ ในงานวิจัยนี้จึงขอนำเสนอการลดปริมาณสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ และสารต่อต้านคุณค่าทางโภชนาการที่เหลือในกากสบู่ดำหลังจากการหีบน้ำมันออกแล้วด้วยการสกัดด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆ ร่วมกับการอบแห้งด้วยการใช้อากาศร้อนยวดยิ่งเป็นตัวกลางที่ใช้ในการอบแห้ง เพื่อหาสภาวะในการลดปริมาณสารดังกล่าวที่เหมาะสมและให้คุณภาพของกากสบู่ดำมีคุณภาพตามเกณฑ์ที่อุตสาหกรรมต้องการ