ตรวจเอกสาร

สบู่ดำ (Physic nut or Purging nut) มีตำนานมาตั้งแต่ยุคฟอสซิล (fossils) นับถอยหลังไป ๗๐ ล้านปี มีกำเนิดแถวเปรู กระจายอยู่ทั่วพื้นที่จากเม็กซิโกไปบราซิล รวมถึงหมู่เกาะคาริบเบียน ชาวโปรตุเกสนำเข้ามาในประเทศไทยเมื่อกว่า ๓๐๐ ปี ในปลายสมัยกรุงศรีอยุธยา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเมล็ดไปบีบน้ำมันสำหรับทำสบู่

สบู่ดำมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Jathopha curcas* Linn. อยู่ในวงศ์ Euphorbiaceae ซึ่งเป็นพืชกลุ่มเดียวกับยางพารา โป๊ยเซียน มันสำปะหลัง มะยม น้ำนมราชสีห์และมะไฟ มีความหลากหลายค่อนข้างมากในลักษณะต้น ใบ ช่อดอก ผล และเมล็ด พืชชนิดนี้ภาคกลางเรียกว่า ต้นสบู่ดำ ที่อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี เรียกต้นสบู่ ภาคเหนือเรียกว่า ต้นมะหุ่งฮั้ว ภาคใต้เรียกว่า ต้นระหงเทศ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เรียกว่าต้นมะเยา (ต้นหมากเย้า หรือมักเย้า) ชาวบ้านที่อำเภอปักธงชัย จังหวัดนครราชสีมา เรียกว่าสีหลอด ส่วนทางต่างประเทศ เช่น พม่า เรียกว่า Thinbankyeksu อินโดนีเซีย เรียกว่า Jurak budge ฟิลิปปินส์ เรียกว่า Tuba อินเดีย เรียกว่า Baghevenda, Nepa lam ศรีลังกา เรียกว่า Rope endavu เป็นต้น (ระพีพันธุ์และคณะ, ๒๕๒๕)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

เป็นไม้พุ่มยืนต้นขนาดกลาง สูง ๖-๘ ม. มีอายุมากกว่า ๒๐ ปี เช่น ที่จังหวัดเลยและอุดรธานีมีอายุมากกว่า ๕๐ ปี จากการศึกษาต้นสบู่ดำเมื่ออายุ ๑.๕ ปี ทรงพุ่มมีเส้นผ่าศูนย์กลาง โดยเฉลี่ย ๒.๐ ม. ความสูง ๒.๑ ม. บริเวณปลายยอดและลำต้นที่อายุยังน้อยจะมีสีเขียว ผิวเรียบ ไม่มีขน อวบน้ำ อ้วน แต่เปราะและหักง่าย เพราะเนื้อไม้ไม่มีแกน เมื่ออายุแก่ขึ้นส่วนโคนจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอมเทา ลำต้นเมื่อมีความสูงจากระดับพื้นดินประมาณ ๑๒-๑๔ ซม. จะเริ่มแตกทรงพุ่มและออกดอกด้านข้าง ผลจะแก่เมื่ออายุ ๘-๙ เดือน หากปลูกด้วยเมล็ด จะออกดอกช้ากว่าการปักชำ และผลจะแก่ภายใน ๑ ปี สบู่ดำทนความแห้งแล้งได้ดี ขึ้นได้ในที่ดอนและดินลูกรัง ถิ่นทุรกันดาร แต่ไม่ชอบที่น้ำท่วมขัง (นรินทร์ และวัฒนา, ๒๕๒๖)

ใบ เป็นใบเดี่ยว (simple leaf) แผ่นใบเป็นแบบ palmately compound, orbicular-cordate คล้ายๆ ใบพุดตานหรือใบฝ้ายแต่หนากว่า เพราะมีไขเคลือบอยู่ที่ผิวใบ ขอบใบเป็นแบบ entire มีรอยหยักตื้นๆ ประมาณ ๓-๕ หยัก ฐานใบเป็นแบบ cordate ปลายใบเป็นแบบ mucronate ยกเว้นปลายใบตรงตำแหน่งรอยหยัก ตรงกลางเป็นแบบ acute การจัดเรียงตัวของเส้นใบเป็นแบบ palmately netted venation ขนาดของใบ มีความยาวเฉลี่ย ๖-๑๕ ซม. ความหนาของตัวใบ

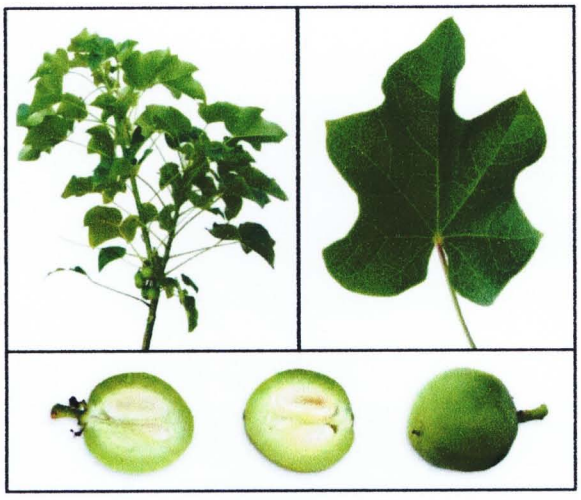
๐.๕๖ ซม. ตำแหน่งการเกิดใบจะสลับกัน ดังแสดงในภาพ ๑ สบู่ดำมักจะทิ้งใบในฤดูแล้ง โดยจะทิ้งหมดต้นเมื่อแล้งจัด

ดอก ออกบริเวณซอกใบใกล้ปลายกิ่ง ลักษณะเป็นช่อคล้ายช่อเชิงหลั่น มักออกเป็นคู่ๆ ช่อยาวได้ถึง ๑๒ ซม. ก้านช่อยาวประมาณ ๖ ซม. เป็นดอกไม่สมบูรณ์เพศ ดอกตัวผู้มีกลีบเลี้ยงเชื่อมติดกัน ปลายแยกเป็นแฉกรูปไข่ สีเหลืองแกมเขียว กว้าง ๑.๕ มม. ยาว ๓ มม. มีต่อมน้ำหวานที่โคนกลีบด้านใน เกสรตัวผู้มี ๑๐ อัน อับเรณูยาว ๑.๕ มม. ดอกตัวเมียมีขนาดใหญ่กว่าดอกตัวผู้ อยู่ตรงกลางช่อย่อย กลีบเลี้ยงเชื่อมติดกัน กลีบดอกสีเขียวอ่อน มีเกสรตัวผู้ที่เป็นหมัน ๑๐ อัน สีขาว รังไข่รูปกระสวยมี ๓ พู อัตราส่วนดอกตัวผู้ : ดอกตัวเมีย ประมาณ ๗ : ๑ ในแต่ละช่อมีดอกย่อย ๗๐-๑๐๐ ดอก แต่จะติดผลเพียง ๗-๑๕ ผลเท่านั้น (ภาพ ๒)

ผล เป็นแบบ nut ค่อนข้างกลมหรือป้อม บางทีมีเหลี่ยมประมาณ ๖ เหลี่ยม เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ ๓ ซม. ประกอบด้วย ๓ (lobes) ผลอ่อนมีสีเขียว เมื่อผลแก่จัด (สุก) จะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง (ภาพ ๓) เมื่อปล่อยให้ผลแห้งคาต้นเปลือกนอกของผลจะเปลี่ยนเป็นสีดำ ผลสด ๑ ผล มีน้ำหนักประมาณ ๑๕ กรัม แต่เมื่อผลแห้งน้ำหนักจะลดลงเหลือเพียง ๒.๖ กรัม สบู่ดำ ๑ ผล จะติดเมล็ดได้ ๒-๓ เมล็ด โดยส่วนใหญ่พบ ๓ เมล็ด

เมล็ด มีรูปร่างป้อมยาว เปลือกหุ้มสีดำ จัดเป็นพวกมีเยื่อหุ้มเมล็ด โดยมีเยื่อ albumin บุอยู่ภายในเป็นที่เก็บสะสมพวกน้ำมัน และสารพวกเคอร์ซิน (curcin) ส่วนของเนื้อใน และคัพภะมีสีขาว ขนาดเมล็ดมีความยาวเฉลี่ย ๑.๙๔ ซม. มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ๑.๑๖ ซม. เมล็ดแต่ละเมล็ดมีน้ำหนักเฉลี่ย ๐.๖๔๑ กรัม (ตาราง ๑)

น้ำยาง มีลักษณะใสไม่มีสี พบมากบริเวณลำต้นอ่อนและก้านใบ ลำต้นพบน้ำยางเฉพาะที่เปลือกเท่านั้น



ภาพ ๑ ใบ ตำแหน่งของใบ และผลอ่อน

ภาพ ๒ ลักษณะช่อดอก

ภาพ ๓ ลักษณะผลแก่ และเมล็ด

ตาราง ๑ น้ำหนักเมล็ด สัดส่วนของเนื้อใน และเปลือกของเมล็ดสบู่ดำ (Makkar *et al.*, ๑๙๙๗)

แหล่งที่มา	เมล็ด (ก.)	เนื้อในเมล็ด (% ของเมล็ด)	เปลือก
ทวีปแอฟริกา			
Cape Verde, Fogo	๐.๔๙๐	๖๒.๒	๓๗.๘
Benin, Cotonou	๐.๗๒๕	๖๔.๐	๓๖.๐
Burkina Faso, Kongoussi	๐.๖๕๘	๕๘.๙	๔๑.๑
Ghana, Nyankpala	๐.๕๗๑	๕๕.๑	๔๔.๙
Kenya, Kitui	๐.๕๔๓	๖๒.๒	๓๗.๘
Nigeria, Ife	๐.๕๓๐	๖๐.๐	๔๐.๐
Senegal, Santhic Ram	๐.๖๒๕	๕๘.๐	๔๒.๐
Senegal, Nioro du Rip	๐.๖๕๘	๖๑.๘	๓๘.๒
Tanzania, Mombo	๐.๕๐๐	๖๔.๒	๓๕.๘
เฉลี่ย	*๐.๕๘๙*	*๖๐.๗*	*๓๙.๓*
ทวีปอเมริกา			
Costa Rica, Rio Grande	๐.๕๙๒	๖๐.๙	๓๙.๑
Mexico, Papantla	๐.๖๕๐	๖๓.๕	๓๖.๕
Mexico, Veracruz	๐.๘๓๓	๖๑.๘	๓๘.๒
Nicaragua	๐.๖๙๐	๖๒.๗	๓๗.๓
เฉลี่ย	*๐.๖๙๑*	*๖๒.๒*	*๓๗.๘*
ทวีปเอเชีย			
Burma, Sink Gaing, Mandalay	๐.๖๔๙	๖๕.๗	๓๔.๓
India, Kangra	๐.๕๔๕	๕๓.๙	๔๖.๑
India, Nasik	๐.๖๙๙	๖๒.๙	๓๗.๑
เฉลี่ย	*๐.๖๓๑*	*๖๐.๘*	*๓๙.๒*

การเพาะปลูกสบู่ดำ

สบู่ดำปลูกกันมานานแล้วในภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ ปลูกเป็นไม้คู่บ้าน ในสวนหลังบ้าน และตามหัวไร่ ปลายนาชนิดสบู่ดำที่พบในประเทศไทยมี ๕ ชนิด ดังนี้ (พรชัย, ๒๕๔๙)

๑. *J. gossypifolia* (สบู่แดง)

๒. *J. podagrica* (หนุมานนั่งแท่น)

๓. *J. integerrima* (ปัตตาเวีย)

๔. *J. multifida* (มะละกอฝรั่ง หรือ ฝิ่นต้น)

๕. *J. curcas* (สบู่ดำ)

พันธุ์สบู่ดำที่พบในประเทศไทย มี ๓ พันธุ์ คือ

๑. พันธุ์ที่มีผลทรงกลม ขนาดของผลปานกลาง มีเปลือกหนาปานกลาง

๒. พันธุ์ที่มีผลทรงกลมหรือรูปทรงของผลยาวกว่าพวกแรกเล็กน้อย ส่วนผลนั้นมีขนาดเท่ากัน แต่มีเปลือกหนากว่า

๓. พันธุ์ที่มีผลกลม แต่มีขนาดของผลเล็กกว่าสองพวกแรก

- **สภาพพื้นที่ปลูก**

สภาพพื้นที่ที่เหมาะสมควรเป็นดินร่วน มีธาตุอาหารอุดมสมบูรณ์ มีความเป็นกรดเล็กน้อย เช่นเดียวกับพืชไร่ทั่วๆ ไป แต่มีข้อควรระวัง คือ สบู่ดำเป็นพืชที่ไม่ทนต่อดินมีน้ำขัง ดังนั้น พื้นที่ที่เหมาะสมจึงต้องเป็นที่ลาดเท มีการระบายน้ำดี อาจเป็นที่ราบเชิงเขา ถ้าเป็นที่ราบลุ่ม ควรทำทางระบายน้ำ แต่จะเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิต หรือในกรณีที่นาดอน เมื่อปรับที่นามาใช้เป็นที่ไร่สำหรับปลูกสบู่ดำ ต้องมีการทะลายคันนาออก ให้ระบายน้ำได้สะดวก

ในสภาพดินอุดมสมบูรณ์ และมีปริมาณฝนมากกว่า ๑,๐๐๐ มม./ปี หรือมีแหล่งน้ำให้กับพืชได้อย่างเพียงพอ การปลูกพืชผักและไม้เศรษฐกิจจะให้ผลตอบแทนดีกว่า สำหรับสภาพดินปลูกพืชไร่ทั่วไปที่มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง และมีปริมาณฝนน้อยกว่า ๑,๐๐๐ มม./ปี ไม่แนะนำให้ปลูกสบู่ดำ เนื่องจากต้นทุนค่าเก็บเกี่ยว และกะเทาะเมล็ด (ปีละ ๑๒-๒๔ ครั้ง) สูง

ในสภาพพื้นที่ที่ไม่เหมาะสมต่อการปลูกพืชไร่ Lele (๒๐๐๕) ได้รายงานว่า สบู่ดำสามารถเจริญเติบโตอยู่รอดได้ เช่น ดินด่าง (alkaline soil) ดินเค็ม (saline soil) ดินทราย (sandy soil) หรือดินที่มีหินมาก (stony soil) หรือแม้แต่ในสภาพพื้นที่ที่มีปริมาณฝนตกน้อยปีละ ๒๐๐ มม. ก็สามารถปลูกได้ ส่วน Joker and Jepen (๒๐๐๓) ได้สรุปว่า สบู่ดำถูกนำไปปลูกในที่ต่างๆ ทั่วโลก แต่ที่พบมากเนื่องจากมีการปรับตัวได้ดี มักอยู่ในเขตร้อน (tropic) ความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ มีฝนตกระหว่าง ๓๐๐-๑,๐๐๐ มม./ปี รวมทั้งมีการระบายน้ำและอากาศที่ดี ถ้าเป็น

ดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ และมีปริมาณฝนตกมากกว่า ๑,๐๐๐ มม./ปี เกษตรกรในประเทศต่างๆ มักหันไปปลูกพืชเศรษฐกิจชนิดอื่นที่มีผลตอบแทนดีกว่า

- **การขยายพันธุ์**

สามารถขยายพันธุ์ได้ ๒ วิธี คือ ปลูกด้วยเมล็ดพันธุ์ และท่อนพันธุ์ (พรชัย, ๒๕๔๙)

– การใช้เมล็ดพันธุ์ ทำได้โดยเก็บเกี่ยวเมล็ดจากผลแก่ (ผลมีสีเหลืองถึงน้ำตาลดำ) นำเมล็ดมาเพาะให้ต้นกล้าแข็งแรง (มีอายุอย่างน้อย ๑ เดือน) จากนั้นย้ายไปปลูกในไร่ สำหรับการปลูกด้วยเมล็ดพันธุ์โดยตรงในไร่ ควรเป็นช่วงที่มีฝนตกสม่ำเสมอเพื่อความอยู่รอดของต้นกล้า

– การใช้ท่อนพันธุ์ ควรใช้กิ่งปักชำยาว ๓๐–๖๐ ซม. จากการเปรียบเทียบผลผลิตสบู่ดำระหว่างการปลูกด้วยเมล็ดพันธุ์และท่อนพันธุ์ พบว่าการปลูกด้วยท่อนพันธุ์ให้ผลผลิตสูงกว่า เนื่องจากมีโอกาสผลิตเมล็ดพันธุ์ได้มากกว่า

- **การเตรียมดิน**

การปลูกสบู่ดำควรมีการเตรียมดิน โดยการไถพรวน เพื่อให้ดินโปร่งมีการระบายน้ำและอากาศได้ดี และเป็นการกำจัดวัชพืช ไม่ให้มาแข่งขันแย่งน้ำ อากาศ ธาตุอาหาร และแสงแดด การเตรียมดินดังกล่าวควรมีการพรวนดินกำจัดวัชพืชรอบๆ ต้นสบู่ดำอย่างสม่ำเสมอ โดยเฉพาะในฤดูฝน

เนื่องจากสบู่ดำเป็นไม้พุ่มขนาดกลาง มีอายุยืนมากกว่า ๒๕ ปี การเตรียมดินก่อนปลูกจึงควรมีการวางแผน โดยในระยะแรก ควรหว่านปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรียก่อนการไถพรวน หรือใส่รองก้นหลุมในกรณีขุดหลุมปลูก เพื่อให้ต้นสบู่ดำมีโอกาสเจริญเติบโตดีในช่วงปีแรก ในปีต่อๆ มา อาจมีการไถพรวนดินระหว่างแถว เพื่อกำจัดวัชพืชตามความเหมาะสมต่อไป (พรชัย, ๒๕๔๙)

- **วิธีการปลูก**

หลังการไถ และการพรวนดินให้ละเอียดจนเหมาะสมสำหรับการปลูกสบู่ดำ หรือการเตรียมการปลูกโดยไม่ไถพรวนเสร็จแล้ว ควรวางแนวปลูกและระยะปลูกโดยใช้ไม้ และเชือกวัดระยะ ซึ่งส่วนใหญ่จะกำหนดระยะปลูก เท่ากับ ๒.๐×๒.๐ ม. สามารถจัดทำแนวปลูกได้ดังนี้

การใช้เมล็ดปลูกโดยตรง ให้ปลูกโดยหยอดเมล็ดลงในหลุมที่เตรียมไว้อย่างดี เวลาปลูกที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วงฤดูฝน ประมาณต้นเดือนพฤษภาคม ถึงต้นเดือนกันยายน ซึ่งเป็นช่วงที่ดินมีความชื้นเหมาะสมต่อการงอกของเมล็ด จากนั้นเจาะหลุมปลูกตามระยะที่กำหนดไว้ ลึกประมาณ ๒-๕ ซม. นำเมล็ดหยอดลงไปหลุมละ ๑-๒ เมล็ด แล้วกลบดินให้แน่น ในดินที่มีความชื้นประมาณ ๖๐% สบู่ดำจะงอกภายใน ๕-๗ วัน ถ้าไม่งอกให้ทำการปลูกซ่อม โดยใช้เมล็ดหรือต้นกล้าที่เพาะเตรียมไว้ หลังจากงอกได้ ๒๕ วัน ให้ทำการถอนแยกให้เหลือหลุมละ ๑ ต้น ในพื้นที่ ๑ ไร่ จะใช้เมล็ดพันธุ์ประมาณ ๕๐๐ ก. หรือเท่ากับ ๗๐๐ เมล็ด เมื่อหยอดเมล็ดแล้วไม่ควรปล่อยให้ดินแห้งเกินไป ควรให้ดินมีความชื้นอยู่ในช่วง ๖๐-๗๕% เมล็ดพันธุ์ที่ใช้ควรมีความงอกไม่ต่ำกว่า ๗๐% และเป็นเมล็ดพันธุ์ที่เก็บในสภาพอุณหภูมิห้องไม่เกิน ๒ เดือน หากเก็บไว้นานกว่านี้จะทำให้เปอร์เซ็นต์ความงอกลดลง

- **ระยะปลูก**

ระยะปลูกและจำนวนต้นต่อพื้นที่จะแตกต่างกันไป แล้วแต่สภาพความอุดมสมบูรณ์ของดินและแหล่งน้ำ ดังนี้

สภาพพื้นที่	แหล่งน้ำ	ระยะปลูก (ม.)	จำนวนต้น/ไร่
ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ	น้ำฝน	๑.๐×๑.๐	๑,๖๐๐
ความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง	น้ำฝน	๒.๐×๑.๐	๘๐๐
ความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง	น้ำชลประทานหรือมีแหล่งน้ำ	๑.๕×๑.๕	๗๑๑
ความอุดมสมบูรณ์ดี	น้ำชลประทานหรือมีแหล่งน้ำ	๒.๐×๑.๕	๕๓๓
ความอุดมสมบูรณ์ดี	น้ำชลประทานหรือมีแหล่งน้ำ	๒.๐×๒.๐	๔๐๐
ความอุดมสมบูรณ์ดี	น้ำชลประทานหรือมีแหล่งน้ำ	๒.๕×๒.๕	๒๕๖
ความอุดมสมบูรณ์ดี	น้ำชลประทานหรือมีแหล่งน้ำ	๓.๐×๒.๐	๒๖๖

การใช้ต้นกล้าจากถุงเพาะเมล็ดปลูก ควรใช้ต้นกล้าที่มีอายุ ๒๕-๓๐ วัน (มีใบจริง ๑-๒ ใบ) ที่มีความสมบูรณ์แข็งแรง ปราศจากโรคและแมลงศัตรูพืช ก่อนย้ายต้นกล้าปลูกประมาณ ๕-๗ วัน ควรเพิ่มความแข็งแรงของต้นกล้าโดยการลดการให้น้ำ และใช้น้ำตาลทรายผสมน้ำ (อัตราส่วน ๑:๙) พ่นทุกๆ วัน

การปฏิบัติดูแลรักษา

ในระยะแรกของการปลูก (สบู่ดำอายุ ๑-๓ เดือน) เกษตรกรควรเอาใจใส่ดูแลเพื่อให้ต้นสบู่ดำมีเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดสูง และเจริญเติบโตดี ควรดูแลดังนี้

๑) การให้น้ำ

กรณีที่ปลูกในสภาพน้ำฝน และไม่มีแหล่งน้ำ ควรย้ายกล้าปลูกหรือหยอดเมล็ดในช่วงต้นฤดูฝน ส่วนในกรณีที่มีแหล่งน้ำ ควรให้น้ำทุกๆ ๗-๑๕ วัน แล้วแต่สภาพพื้นที่และฤดูกาล

กล่าวกันว่า การจัดการน้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญในการปลูกสบู่ดำเชิงพาณิชย์ เกษตรกรบางแห่ง เช่น แหล่งเรียนรู้พืชน้ำมันสบู่ดำแห่งประเทศไทย จังหวัดเชียงใหม่ มีการติดตั้งระบบน้ำหยดให้แก่สบู่ดำที่ปลูกโดยวิธียกร่อง ใช้ระยะปลูก ๓×๒ ม. และมีการให้ปุ๋ยควบคู่ไปด้วย ร่วมกับการดูแลรักษาอื่นๆ ปรากฏว่า ต้นสบู่ดำมีการเจริญเติบโตดี ให้ผลผลิต ๔๕๐-๕๐๐ กก./ไร่ (สมศักดิ์, ๒๕๔๙)

๒) การใส่ปุ๋ย

เนื่องจากสบู่ดำเป็นพืชที่ปลูกเพื่อนำเมล็ดไปสกัดเอาน้ำมันมาใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซล ดังนั้น ต้นสบู่ดำจึงต้องการแสง และธาตุอาหารบางชนิดสูงกว่าพืชที่ให้ผลผลิตที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก มีข้อแนะนำเบื้องต้นว่า ควรใช้ปุ๋ยสูตรเสมอ เช่น ๑๕-๑๕-๑๕ จะทำให้ได้ต้นพันธุ์ที่มีลักษณะดี และให้ผลผลิตสูง โดยใส่ในอัตราต้นละ ๑๒๕ กรัม ร่วมกับปุ๋ยคอก ๒.๕ กก. รองก้นหลุมขนาดกว้าง ๕๐ ซม. ลึก ๕๐ ซม. (ไพบูลย์, ๒๕๔๙)

๓) การกำจัดวัชพืช

หลังจากปลูกสบู่ดำประมาณ ๑ เดือน ควรมีการกำจัดวัชพืชในแปลงปลูก โดยการใช้แรงคนถางวัชพืชรอบโคนต้น หรือใช้เศษของพืช หรือวัสดุอื่นๆ เช่น แกลบ หรือฟางข้าว คลุมโคนต้น จะช่วยควบคุมวัชพืชบริเวณโคนต้น และเป็นการรักษาความชื้นรอบโคนต้นได้อีกด้วย ส่วนวัชพืชที่อยู่ระหว่างต้นและแถวปลูก อาจใช้รถตัดหญ้าขนาดเล็ก หรือใช้สารเคมีกำจัดก็ได้

๔) แสง

สบู่ดำเป็นพืชที่ต้องการแสงมากเพื่อการเจริญเติบโตและสร้างน้ำมัน ดังนั้น ต้นสบู่ดำที่ปลูกในที่ร่มเงา ได้รับแสงแดดน้อยจะเจริญไม่ดี เพราะการสังเคราะห์น้ำมันในพืชจำเป็นต้องใช้พลังงานเพื่อการสังเคราะห์โมเลกุลสูงกว่าคาร์โบไฮเดรตมาก ด้วยเหตุนี้สบู่ดำพันธุ์ดีจึงต้องมีความสามารถในการสังเคราะห์กลูโคส และเปลี่ยนรูปเป็นน้ำมันได้ดี เป็นต้น

ประโยชน์ของสบู่ดำ จำแนกได้ดังนี้

๑. การใช้ประโยชน์ทางเกษตรกรรม เช่น

๑.๑ ใช้เป็นรั้วล้อมรอบพื้นที่ปลูกพืชเศรษฐกิจหลักเพื่อป้องกันวัว ควาย เข้ามาทำความเสียหายต่อพืชชนิดนั้น เนื่องจากวัว ควาย จะไม่กินใบหรือยอดอ่อนของสบู่ดำ (Diallo, ๑๙๙๔) นอกจากนี้ยังปลูกเป็นรั้วป้องกันลมร้อนในฤดูร้อนช่วยลดการระเหยน้ำในแปลงปลูกผัก

๑.๒ ใช้ป้องกันการชะล้างของดิน (soil erosion) ในฤดูฝนของเขตพื้นที่แห้งแล้ง (Spaak, ๑๙๙๐)

๑.๓ ใช้เป็นเสาค้างของพืชไม้เลื้อย

๑.๔ ใช้ขับไล่แมลงศัตรูพืช ในบางพื้นที่ปลูกพืชสมุนไพรแซมระหว่างต้นสบู่ดำ สารเคมีจากต้นสบู่ดำจะปล่อยออกมาขับไล่แมลงศัตรูของพืชสมุนไพร

๒. การใช้เป็นอาหารคน

ส่วนของใบอ่อนหรือยอดอ่อนเมื่อนำไปนึ่งด้วยไอน้ำร้อนสามารถนำไปรับประทานได้ (Aponte, ๑๙๗๘)

๓. การใช้เป็นอาหารสัตว์

เมล็ดสบู่ดำหลังจากนำไปสกัดน้ำมันออกแล้ว จะได้ส่วนกาก (press cake) ซึ่งมีคุณค่าทางอาหารสูง แต่จะยังคงมีสารพิษบางชนิด ได้แก่ ฟอร์บอลเอสเทอร์ เลกติน ซาโปนิน ทริปซินอิน ฮิบิเตอร์ และไฟเตท จึงต้องนำกากสบู่ดำมาผ่านกระบวนการกำจัดสารพิษก่อนนำไปเลี้ยงสัตว์ การใช้ความร้อนร่วมกับการสกัดด้วยสารเคมี หรือการหมักด้วยเชื้อรา *Rhizopus oryzae* สามารถลดสารพิษลงได้ (Gübitz *et al.*, ๑๙๙๗)

Gübitz *et al.* (๑๙๙๗) รายงานว่า การใช้ใบของสบู่ดำจากประเทศเม็กซิโกเลี้ยงไหมป่า (eri silkworm) ทำให้ไหมป่ามีชีวิตรอดเพียง ๕% เท่านั้น และยังได้น้ำหนักเปลือกรังไหมต่ำกว่าไหมป่าที่เลี้ยงด้วยใบละหุ่ง แต่อย่างไรก็ดีในอียิปต์ใช้ใบสบู่ดำเลี้ยงไหมป่า tusser ได้

๔. การใช้เป็นยารักษาโรค

ส่วนต่างๆ ของสบู่ดำสามารถนำมาสกัดเป็นยารักษาโรคของคนได้ ดังนี้

ส่วนของสบู่ดำ	สรรพคุณทางเภสัช
ต้น	ยาถ่าย
เปลือก	ยาถ่าย ขับพยาธิ แก้ปวดท้อง
ใบและเนื้อไม้	แก้พิษตานซาง ถอนพิษที่ทำให้ตัวร้อน แก้ปากและลิ้นเป็นฝ้าละออง
เมล็ด	แก้ปวดตามข้อ แก้โรคผิวหนัง เป็นยาระบาย ยาถ่ายอย่างแรง
ยาง	แก้ปากเปื่อย พุพอง และแก้ลิ้นเป็นฝ้าละออง

๕. การใช้เป็นสารป้องกันกำจัดโรคและแมลงศัตรูพืช รวมทั้งหอย

๕.๑ ใช้เป็นสารป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืช (insecticides) ดังที่กล่าวไว้แล้วในข้อ ๑.๔

๕.๒ สารป้องกันกำจัดหอย (molluscicides) Agaceta *et al.* (๑๙๘๑) รายงานว่าในประเทศฟิลิปปินส์ใช้สารสกัดจากสบู่ดำกำจัดหอยที่เป็นพาหะของพยาธิในตับ (liver fluke) ทำนองเดียวกับ ในประเทศเซเนกัลสารสกัดพืชจากสบู่ดำสามารถกำจัดหอยที่เป็นพาหะของพยาธิ *Fasciola gigantean* ซึ่ง Lui *et al.* (๑๙๙๖) กล่าวว่า สารสกัดจากเมล็ดสบู่ดำที่สามารถกำจัดหอยพาหะของพยาธิ Schistosomia ได้นั้น เป็นสารจำพวกฟอร์บอลเอสเทอร์

๕.๓ สารป้องกันกำจัดเชื้อรา (fungicides) รังษี และอมรรัชฎ์ (๒๕๔๘) รายงานว่า น้ำสกัดจากเปลือกผลสบู่ดำ สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Phytophthora palmivora* ซึ่งเป็นสาเหตุโรครากเน่าโคนเน่าทุเรียน และเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* ที่ก่อโรคแอนแทรคโนสของมะม่วงได้ ๑๐๐% เท่ากับการใช้สารเคมีเมทราแลคซิลและโปรคลอราซ ตามลำดับ นอกจากนี้ในสารสกัดสบู่ดำยังสามารถยับยั้งการสร้าง sporangia, zoospore และการงอก zoospore ของ *P. palmivora* ได้ ๙๑.๖๗, ๙๕.๘๓ และ ๑๐๐% ตามลำดับ รวมทั้งยับยั้งการสร้างและการงอก conidia ของ *C. gloeosporioides* ได้ ๑๐๐%

Garcia and Lawas (๑๙๙๐) รายงานว่าน้ำสกัดจากใบสบู่ดำสามารถควบคุมโรคพืชของแหนแดง (Azolla) ซึ่งมีสาเหตุจากเชื้อรา Sclerotium sp. ส่วน Thangavelu *et al.* (๒๐๐๔) รายงานว่า การใช้สารสกัดสบู่ดำที่ความเข้มข้น ๒๕ และ ๕๐% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Collectotrichum musae* ซึ่งเป็นสาเหตุโรคแอนแทรคโนสของกล้วยได้ ๑๐๐% ทำนองเดียวกัน Wei *et al.* (๒๐๐๕) ที่รายงานว่า สาร β ๑, ๓-glucanase จากเมล็ดสบู่

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ดำสามารถฆ่าเชื้อรา *Rhizoctonia solani* และ *Gibberellezeae* ได้ จึงสรุปว่า สารชนิดนี้มีศักยภาพเป็น biological fungicide

๖. การใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์

ส่วนต่างๆ ของสบู่ดำจากต้นสดสามารถนำมาเป็นปุ๋ยพืชสดได้ (Oudhia, ๒๐๐๓) Sherchan *et al.* (๑๙๘๙) รายงานว่า การใช้สบู่ดำเป็นปุ๋ยพืชสดจะทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น ๑๑% นอกจากนี้ Vöhringer (๑๙๘๗) รายงานว่า กากน้ำมันสบู่ดำมีสารประกอบไนโตรเจนสูง เช่นเดียวกับกากน้ำมันละหุ่งและมูลไก่ โดยมีไนโตรเจน ๓.๒–๓.๘% โครงการ GTZ (German Technical Cooperation) ในประเทศมาลีได้ใช้กากน้ำมันสบู่ดำ ๕ ตันต่อเฮกแตร์ ใส่ลงในแปลงข้าวเดือย (pearl) สามารถเพิ่มผลผลิตของข้าวเดือยได้เป็น ๒ เท่า (๑,๓๖๖ vs. ๖๓๐ กก./เฮกแตร์) ส่วน Morcira (๑๙๗๐) ใช้กากสบู่ดำในอัตราต่างๆ ใส่แปลงปลูกพืชหลายชนิดพบว่า การใช้ในอัตรา ๕ ตันต่อเฮกแตร์จะทำให้การงอกของเมล็ดพืชลดลง ซึ่งแสดงถึงความเป็นพิษต่อพืช

๗. การใช้เป็นสีย้อมเส้นใยธรรมชาติ

ส่วนเปลือกของลำต้นและรากสบู่ดำสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตสีธรรมชาติได้ โดยส่วนเปลือกจะให้สีน้ำเงินเข้ม และรากให้สีเหลือง (ชำนาญ, ๒๕๔๙)

๘. การใช้เป็นพลังงาน

ใช้น้ำมันสบู่ดำแปรรูปเป็นเมทิล (methyl) หรือเอททิลเอสเทอร์ (ethyl esters) สำหรับผสมน้ำมันดีเซลเป็นไบโอดีเซล นอกจากนี้ส่วนอื่นๆ ของสบู่ดำยังสามารถใช้เป็นพลังงานได้ด้วย เช่น ในประเทศเคปเวิร์ด ทวีปแอฟริกา ใช้ส่วนลำต้นและกิ่งเป็นฟืนสำหรับให้ความร้อน อย่างไรก็ดีมีรายงานระบุว่า ลำต้นและกิ่งเป็นแหล่งที่ให้พลังงานต่ำ ส่วน Gübitz *et al.* (๑๙๙๗) รายงานว่า การหมักเปลือกผลสบู่ดำและกากน้ำมันสบู่ดำในสภาพไร้อากาศจะได้ก๊าซชีวภาพ ซึ่ง ๗๐% เป็นก๊าซมีเทน

๙. การใช้เคลือบเครื่องหนังเป็นสีน้ำตาล (tanning)

ใช้ส่วนของเมล็ดบดละเอียดแล้วนำไปเคลือบเครื่องหนังได้ สำหรับน้ำมันและส่วนของกลีเซอรีนดิบที่ได้จากกระบวนการแปรรูปน้ำมันเป็นเอททิล หรือเมททิลเอสเทอร์นั้น สามารถนำไปทำสบู่ รวมทั้งสารป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืช และยารักษาโรคผิวหนังได้ (ชำนาญ, ๒๕๔๙)

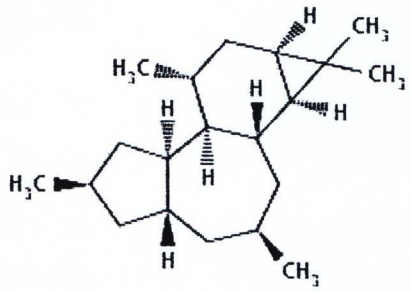
สารพิษและสารขัดขวางการใช้ประโยชน์

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 10 ก.ย. 2555
เลขทะเบียน 218104
เลขเรียกหนังสือ

มีหลายชนิด ดังนี้

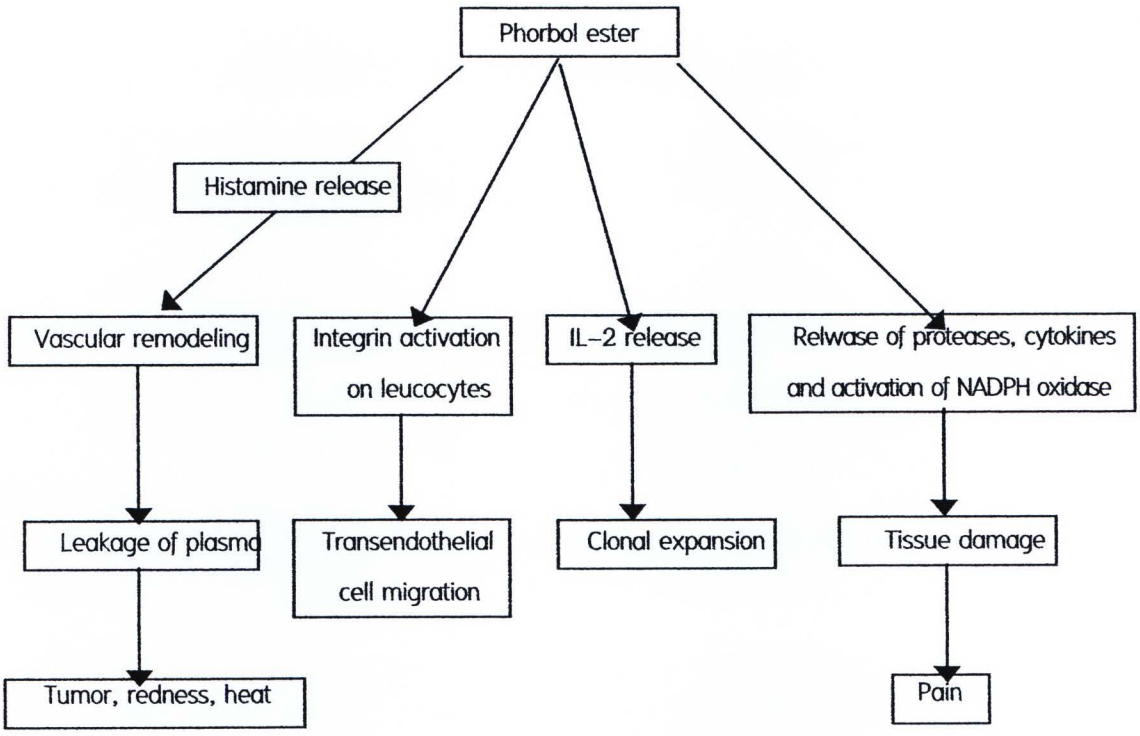
๑. ฟอร์บอลเอสเทอร์

สารฟอร์บอลเอสเทอร์เป็นสารพิษที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และทำอันตรายได้ในระยะเวลาสัมผัสไม่นาน โดยเป็นเอสเทอร์ของ tigliane diterpenes (Gübitz *et al.*, ๑๙๙๙) มีสูตรโครงสร้างดังภาพ ๔

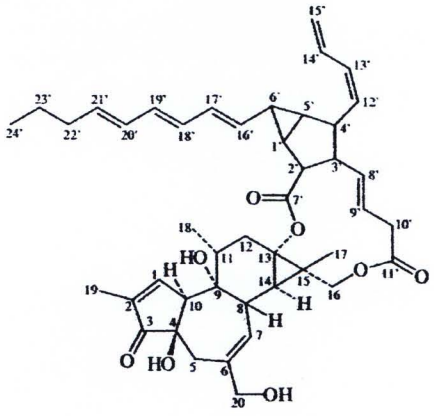


ภาพ ๔ สูตรโครงสร้างทางเคมีของ Tigliane

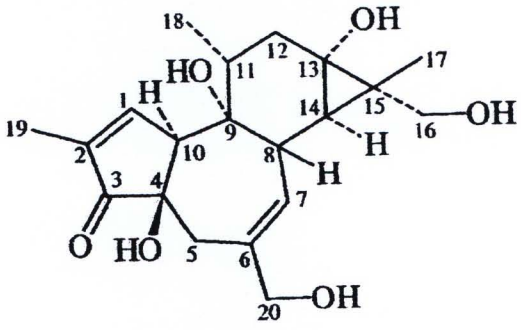
Tigliane เป็น tertracyclic diterpene เมื่อเกิดปฏิกิริยา hydroxylation จะมีหมู่ hydroxyl (OH) เข้าจับกับสาร tigliane ที่ตำแหน่งต่างๆ เกิดเป็นสารประเภทแอลกอฮอล์ขึ้น ซึ่งเมื่อรวมกับกรดก็จะเกิดเป็นสารประเภทเอสเทอร์ เรียกว่า ฟอร์บอลเอสเทอร์ เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต โดยทำให้เกิดเนื้องอก เกิดการอักเสบ การบวมของผิวหน้า (ภาพ ๕) เป็นต้น (Adolf *et al.*, ๑๙๘๔) ในกากสบู่ดำพบว่า มีฟอร์บอลเอสเทอร์อย่างน้อย ๔ ชนิด (Haas and Mittelbuch, ๒๐๐๐) ที่มีสูตรโครงสร้างหลัก คือ ๑๒-deoxy-๑๖-hydroxyphorbol-๔′-[๑๒′,๑๔′-butadienyl]-๖′-[๑๖′,๑๘′,๒๐′- nonatrienyl]-bicylo[๓.๑.๐] hexane-(๑๓-๐)-๒′[carboxylate]-(๑๖-๐)-๓′-[๘′-butenoic-๑๐′] เรียกว่า DHPB (ภาพ ๖) และในรูปของแอลกอฮอล์ ๑๒-deoxy-๑๖-hydroxy-phorbol มีสูตรโครงสร้างดังภาพ ๗



ภาพ ๕ Inflammatory responses induced by Phorbol esters (Goel *et al.*, ๒๐๐๗)



ภาพ ๖ สูตรโครงสร้างของ DHPB

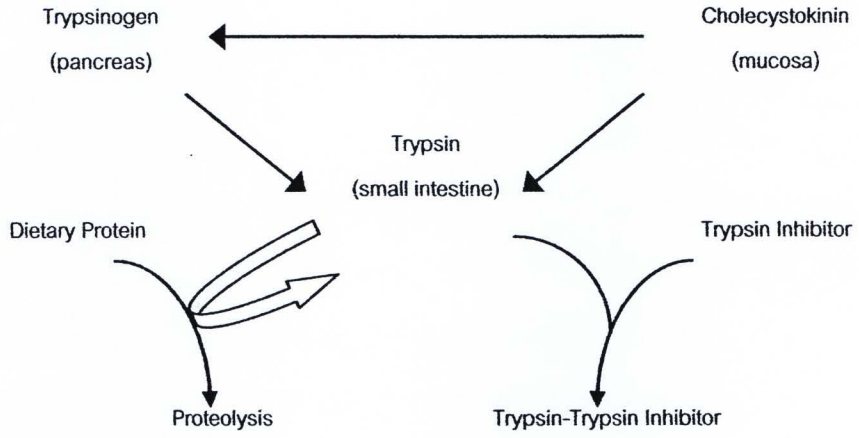


ภาพ ๗ สูตรโครงสร้างของ ๑๒-deoxy-๑๖-hydroxy-phorbol

๒. สารยับยั้งทริปซิน

สารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซินประกอบไปด้วยกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ ๑๕-๒๒% และมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง ๖,๘๐๐-๘,๖๐๐ (Hwang *et al.*, ๑๙๗๗; Koide *et al.*, ๑๙๗๓) ความเป็นพิษของสารนี้เกิดขึ้นเนื่องจากไปจับกับเอนไซม์ทริปซิน

ในลำไส้เล็ก ทำให้เอนไซม์ดังกล่าวใช้ประโยชน์ไม่ได้ ซึ่งมีผลทำให้ผนังลำไส้เล็กหลั่งฮอร์โมนโคลีซิสโทไคนิน (Cholecystokinin) ซึ่งจะไปกระตุ้นตับอ่อนให้ผลิตทริปซิโนเจน เพื่อหลั่งสู่ลำไส้เล็ก โดยปกติระบบการหลั่งเอนไซม์ทริปซิน จะเป็นตัวควบคุมย้อนกลับ (Negative feed back) ดังแสดงในภาพ ๘ โดยเอนไซม์ทริปซิน จะเป็นสารยับยั้งการผลิตทริปซิโนเจนของตับอ่อน แต่เมื่อทริปซินถูกจับไปเรื่อยๆ โดยสารยับยั้งทริปซิน จะทำให้ตับอ่อนถูกกระตุ้นให้เร่งผลิตทริปซิโนเจนตลอดเวลา ตับอ่อนจึงต้องทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้มีขนาดใหญ่เพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์ที่ผลิตทริปซิโนเจน ทำให้เกิดการสร้างปุ่มหรือปมที่ตับอ่อน ในที่สุดจึงกลายเป็นเนื้องอกและเป็นมะเร็ง นอกจากนี้ยังพบการเกิดแผลฉีกขาดขึ้นในตับอ่อนด้วย อาการที่พบ คือ ตับอ่อนมีการขยายใหญ่ หลั่งน้ำย่อยมากกว่าปกติ มีการสูญเสียโปรตีนในรูปของน้ำย่อยออกไปกับมูลมาก เกิดเป็นแผลและมะเร็ง การเจริญเติบโตหยุดชะงัก สัตว์ที่ได้รับสารยับยั้งนี้จะแสดงอาการขาดกรดอะมิโนซัลเฟอร์อย่างชัดเจน ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนในไก่จะลดลงถึง ๔๐% (พันทิพา, ๒๕๓๙)



ภาพ ๘ กลไกการควบคุมย้อนกลับ ที่เกิดจากระดับของทริปซินในลำไส้เล็ก และผลกระทบต่อตับอ่อนเมื่อได้รับสารยับยั้งทริปซิน (ดัดแปลงจาก Liener, ๑๙๙๐; อ้างโดย พันทิพา, ๒๕๓๙)

๓. กลูโคซิโนเลท (Glucosinolate)

กลูโคซิโนเลทหรืออาจเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า thioglucoside จัดเป็นสารในกลุ่มไกลโคไซด์ โดยจะมีเอนไซม์ไธโอกลูโคซิเดส (thioglucosidase) หรือที่นิยมเรียกว่า ไมโรซิเนส (myrosinase) ซึ่งพบได้ตามส่วนต่างๆ ของพืชเป็นตัวทำให้เกิดปฏิกริยา ปกติสารกลูโคซิโนเลทจัดเป็นสาร progotrin ไม่เป็นพิษโดยตัวมันเอง เมื่อถูกย่อยด้วยเอนไซม์ไมโรซิเนสจะได้สารอนุพันธ์ที่มี

คุณสมบัติเป็นพิษ คือ goitrin หรือ goitrogenic substances โดยจะไปยับยั้งกระบวนการ iodine-oxidizing enzyme หรือกระบวนการ iodination ของไทโรซีน ทำให้ปริมาณไทรอยด์ฮอร์โมนลดลง มีการหลั่ง thyroid stimulating hormone (TSH) เพิ่มขึ้น เป็นเหตุให้ต่อมไทรอยด์ขยายใหญ่ขึ้น (Zarrow *et al.*, ๑๙๖๔)

๔. เลกติน

เป็นสารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีนอีกชนิดหนึ่ง และเนื่องจากมีคุณสมบัติที่สามารถทำให้เม็ดเลือดในสัตว์หลายชนิดเกาะกันเป็นก้อน (agglutinate) จึงมักเรียกว่า Phytohemagglutinin หรือ Hemagglutinins ลักษณะของ Hemagglutinins เป็นสารจำพวกไกลโคโปรตีน ซึ่งประกอบด้วย ๔.๕% แมนโนส และ ๑% กลูโคซามีน มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ ๑๑๐,๐๐๐ การที่สาร Hemagglutinins ทำให้เกิดเป็นก้อนเลือดได้นั้นยังไม่มีรายงานการยืนยันว่าเกิดจากการได้รับสาร Hemagglutinins เข้าไป ทั้งนี้เพราะว่าสารนี้จะถูกทำลายอย่างรวดเร็วโดยน้ำย่อยเปปซิน ทำให้ไม่มีโอกาสตกไปถึงลำไส้ได้ และการที่จะเข้าสู่กระแสเลือดได้ก็ต้องถูกดูดซึมที่ลำไส้เล็ก จึงมีผลทำให้เม็ดเลือดจับตัวกันเป็นก้อน ลักษณะของสาร Hemagglutinins ในความเป็นจริงเกิดขึ้นได้ยากมาก เนื่องจากมีขนาดโมเลกุลค่อนข้างสูง และสามารถทำลายได้ง่ายโดยความร้อน (ที่อุณหภูมิ ๑๒๐°ซ หรือโดยการนึ่งด้วยหม้อความดัน; Herkelman *et al.*, ๑๙๙๑)

๕. ซาโปนีน

เป็นสารกลุ่ม complex glycoside ของ Triterpenoid alcohols ละลายน้ำได้อย่างดี แต่เมื่อมีการเขย่าจะเกิดฟอง สารนี้สามารถใช้เป็น emulsifying agent และทำเป็นสารซักล้าง (detergent) แทนสบู่ได้ มีรสเผ็ด กลิ่นฉุน ถ้าอยู่ในรูปผงจะทำให้จาม สูตรโมเลกุลทั่วไปคือ $C_nH_{2n-8}O_{10}$ สารซาโปนีนสามารถยับยั้งการทำงานเอนไซม์ต่างๆ เช่น Cholinesterase และ Chymotrypsin ได้ (Herkelman *et al.*, ๑๙๙๑)

ตารางที่ ๒ ปริมาณสารต้านโภชนะในของเมล็ดและกากสบู่ดำ เทียบกับกากถั่วเหลือง (% DM)

ที่มา	Trypsin inhibitor activity (TIA, mg/g meal)[๑/]	Saponin (%diosgenin equivalent in meal)[๑/]	Phorbol esters (mg/g kernel)
Makkar *et al.* (๑๙๙๘)			
-Cape Verde	๒๑.๓	๒.๖	๒.๗/
-Nicaragua	๒๑.๑	๒.๐	๒.๑๗/
-Ife-Nigeria	๑๘.๔	๒.๐	๒.๓
-Non-toxic Mexico	๒๖.๕	๓.๔	๔.๗/
-Soybean meal	๓.๙/	๔.๗/	-
Belewu M.A. and Sam R.(๒๐๑๐)			
-JTM	๒๐.๕๑	๒.๔๗/	๐.๐๐๑๓
- JTM[๒/] + *Penicillium*	๘.๒๓	๐.๕๓	๐.๐๑๑
-JTM[๒/] + *R.oligosporus*	๘.๑๕	๐.๓๓	๐.๐๑๒
-JTM[๒/] + *R.nigricans*	๘.๐๑	๐.๒๒	๐.๐๑๐
-JTM[๒/] +*A.niger*	๖.๕๐	๐.๑๓	๐.๐๐๓
-JTM[๒/] + *T.longibrachitum*	๗.๙๘	๐.๔๓	๐.๐๑๑
กากถั่วเหลือง			
NRC (๑๙๙๔)	๔๙.๔	๐.๙/	-

[๑/] on DM

[๒/] กากสบู่ดำหมัก

๖. ไฟเตท

ไฟเตทมีความสามารถดึงดูดแร่ธาตุหรือสารประกอบที่มีประจุ โดยเฉพาะพวกที่มีประจุ +๒ หรือ +๓ เกิดเป็นเกลือของสารประกอบที่มีคุณสมบัติการละลายตัวต่ำ แร่ธาตุเหล่านี้ได้แก่ Cu^{2+}, Zn^{2+}, Co^{2+}, Mn^{2+}, Fe^{3+} และ Ca^{2+} ทำให้สัตว์แสดงอาการขาดแร่ธาตุได้ โดยเฉพาะ Ca^{2+} และ Zn^{2+} จึงมักจะใช้ Zn^{2+} เป็นตัวบ่งชี้ปริมาณไฟเตท และการที่ไฟเตทมีอิทธิพลต่อการใช้ประโยชน์ได้ของสังกะสี จึงทำให้อัตราการเจริญพันธุ์ลดต่ำลง (Reddy et al., ๑๙๘๙)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

องค์ประกอบทางเคมีของกากสบู่ดำ

เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ด และกากสบู่ดำจากรายงานต่างๆ แสดงไว้ในตาราง ๓ จะพบว่า ในส่วนเมล็ดมีไขมันจำนวน ๕๓.๙–๕๘.๕% DM ส่วนโปรตีน มีจำนวน ๒๒.๒–๒๗.๓% DM เมื่อนำเมล็ดไปสกัดน้ำมันออกด้วยวิธีบีบอัด และใช้สารเคมีสกัดน้ำมัน จะได้กากที่มีโปรตีนอยู่ในช่วง ๔๕.๘–๖๓.๘% DM ในขณะที่มีไขมันต่ำเหลือเพียง ๐.๘–๒.๓% DM จะเห็นได้ว่า กากสบู่ดำมีโปรตีนและไขมัน ใกล้เคียงกับกากถั่วเหลือง

สำหรับสัดส่วนของกรดอะมิโนที่จำเป็นของกากสบู่ดำเทียบกับกากถั่วเหลือง แสดงไว้ในตาราง ๔ ปรากฏว่า กรดอะมิโนที่จำเป็นส่วนใหญ่ของกากสบู่ดำมีปริมาณน้อยกว่าโดยเฉพาะไลซีน พบว่ามีเพียงครึ่งหนึ่งของกากถั่วเหลืองเท่านั้น (๑.๓๓–๑.๖๗ vs. ๓.๓๓% DM) แต่มีอาร์จินีนสูงกว่ากากถั่วเหลืองเล็กน้อย

ตาราง ๓ องค์ประกอบทางเคมี ของเมล็ดและกากสบู่ดำ เทียบกับกากถั่วเหลือง (% DM)

ที่มา	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	NDF	วัตถุแห้ง
เมล็ดสบู่ดำ					
Aderibigbe *et al.* (๑๙๙๗)					
– Capoverde	๒๒.๗	๕๗.๘	๓.๖	๓.๘	๙๖.๖
– Nicaragua	๒๕.๖	๕๖.๘	๓.๖	๓.๕	๙๖.๙
Makkar *et al.* (๑๙๙๘)					
– Ife–Nigeria	๒๗.๗	๕๓.๙	๕.๐	๔.๑	๙๕.๗
– Non–toxic Maxico	๒๗.๒	๕๘.๕	๔.๓	๓.๘	๙๔.๒
Gübitz *et al.* (๑๙๙๙)	๒๒.๒–๒๗.๒	๕๖.๘–๕๘.๔	๓.๖–๔.๓	๓.๕–๓.๘	๙๔.๒–๙๖.๙
กากสบู่ดำ					
Aderibigbe *et al.* (๑๙๙๗)					
– Capoverde					
กากอัดน้ำมัน	๔๕.๘	๒.๓	๙.๒	๗.๐	–
กากสกัดน้ำมัน	๕๖.๔	๑.๕	๙.๖	๙.๐	–
– Nicaragua					
กากอัดน้ำมัน	๔๖.๖	๒.๕	๙.๐	๖.๒	–
กากสกัดน้ำมัน	๖๑.๒	๑.๒	๑๐.๔	๘.๑	–
Makkar *et al.* (๑๙๙๘)					
– Ife–Nigeria	๕๕.๗	๐.๘	๙.๖	๘.๙	–
– Non–toxic Maxico	๖๓.๘	๑.๐	๙.๘	๙.๑	–
Gübitz *et al.* (๑๙๙๙)	๕๖.๔–๖๓.๘	๑.๐–๑.๕	๙.๖–๑๐.๔	๘.๑–๙.๑	–
กากถั่วเหลือง					
NRC (๑๙๙๔)	๔๙.๔	๐.๙	–	๗.๙	๘๙.๐

ตาราง ๔ สัดส่วนกรดอะมิโน ของกากสบู่ดำเทียบกับกากถั่วเหลือง (% DM; Makkar *et al.*, ๑๙๙๘)

กรดอะมิโน	กากสบู่ดำ			กากถั่วเหลือง
	Cape Verde	Nicaragua	Non-toxic Mexico	(NRC, ๑๙๙๔)
ไลซีน	๑.๖๗	๑.๔๖	๑.๓๓	๓.๓๓
เมทไธโอนีน	๐.๗๕	๐.๖๑	๐.๖๙	๐.๗๐
ซีสตีน	๐.๘๘	๐.๖๙	๐.๖๒	๐.๗๔
ทริปโตเฟน	๐.๕๑	๐.๔๘	n.a.	๐.๘๓
ทรีโอนีน	๑.๕๕	๑.๔๕	๑.๔๐	๑.๙๓
ลิวซีน	๒.๗๑	๒.๗๕	๒.๙๓	๓.๘๑
ไอโซลิวซีน	๑.๗๗	๑.๗๔	๑.๘๙	๒.๒๐
วาลีน	๒.๐๓	๒.๐๕	๒.๐๗	๒.๓๓
ฮิสติดีน	๑.๒๙	๑.๒๕	๑.๒๐	๑.๓๑
เฟนิลอะลานีน	๑.๗๐	๑.๗๗	๑.๙๑	๒.๔๓
ไทโรซีน	๑.๑๗	๑.๐๙	๑.๔๘	๒.๑๕
อาร์จินีน	๔.๖๑	๕.๑๖	๕.๐๔	๓.๕๓

n.a. = No data available.

วิธีการลดสารพิษในกากสบู่ดำ

จากการศึกษาของ Aderibigbe *et al.* (๑๙๙๗) ได้นำกากสบู่ดำไปผ่านความร้อนที่ ๑๓๐ °ซ เป็นเวลา ๓๐ นาที (ความชื้น ๘๐%) ปรากฏว่า จะได้ค่าอินทรียวัตถุ และ ME เท่ากับ ๘๒.๙% และ ๑๑.๘ MJ kg^{-1} ตามลำดับ และยังมีผลทำให้ค่า Trypsin inhibitor activity ลดลงต่ำกว่า ๕ มก./ก. สอดคล้องกับรายงานของ Aregheore *et al.* (๑๙๙๘) ที่ระบุว่า การใช้ความร้อน ๑๒๑ °ซ ร่วมกับความชื้น ๖๖% เป็นเวลา ๓๐ นาที ทำให้สารเลกตินอยู่ในรูปที่ไม่สามารถทำงานได้

Haas and Mittelbuch (๒๐๐๐) ได้กำจัดสารฟอร์บอลเอสเทอร์ด้วยวิธีการต่างๆ ดังนี้ ๑) กำจัดกัม (degumming) โดยใช้ ๓% ของน้ำกลั่น ร่วมกับ ๐.๒% ของกรดออร์โทฟอสฟอริก (ortho-phosphoric acid; ๘๕%) นำไปต้มที่อุณหภูมิ ๙๐ °ซ เป็นเวลา ๑ ชั่วโมง ๒) ทำน้ำมันให้เป็นกลาง (neutralization) ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในช่วงความเข้มข้น ๑-๓

M เป็นเวลา ๑๐-๖๐ นาที ๓) ทำการฟอกสี (bleaching) โดยเติม bleaching reagent ความเข้มข้น ๒% ทิ้งไว้ ๓๐ นาที หลังจากนั้นทำให้เย็น และ ๔) กำจัดกลิ่น โดยใช้ไอน้ำที่อุณหภูมิ ๒๐๐°ซ เป็นเวลา ๒ ชั่วโมง ผลปรากฏว่า วิธีการกำจัดกัม และกำจัดกลิ่นไม่สามารถลดปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ได้ แต่วิธีการฟอกสีและทำให้เป็นกลาง สามารถลดสารฟอร์บอลเอสเทอร์ลงได้ถึง ๕๕%

Aregheore *et al.* (๒๐๐๓) รายงานว่าเมื่อใช้ความร้อนร่วมกับการใช้เมทธานอล (methanol) ล้างเมล็ดสบู่ดำ สามารถทำให้สารฟอร์บอลเอสเทอร์ลดลงจาก ๑.๓๘ เหลือ ๐.๐๙ มก./ก. หรือลดลงถึง ๙๕% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ต่ำที่หนูทดลองรับได้ คือไม่เกิน ๐.๑๓ มก./ก. และยังพบอีกว่ากากที่เหลือมีปริมาณโปรตีนสูงถึง ๖๘% ซึ่งสูงกว่ากากถั่วเหลือง วิธีการนี้จึงเป็นวิธีกำจัดสารพิษในสบู่ดำได้อย่างดี

Martinez-Herrera *et al.* (๒๐๐๖) ได้ศึกษาวิธีการลดสารพิษในกากสบู่ดำด้วยวิธีการต่างๆ ปรากฏว่า สารยับยั้งทริปซินสามารถลดลงได้โดยการใช้ไอน้ำที่อุณหภูมิ ๑๒๑°ซ เป็นเวลา ๒๐ นาที ส่วนไฟเตทลดลงได้ด้วยการฉายรังสีแกมมาที่ ๑๐ kGy ซาโปนีนลดลงได้ด้วยการใช้เอทธานอล ๙๐% ร่วมกับการฉายรังสีแกมมาที่ ๑๐ kGy สารเลกติน และฟอร์บอลเอสเทอร์ลดลงได้โดยการใช้เอทธานอล ๙๐% ร่วมกับ ๐.๐๗% โซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) นำไป autoclave ที่อุณหภูมิ ๑๒๑ °ซ เป็นเวลา ๒๐ นาที

รยากร และคณะ (๒๕๕๐) ได้ศึกษาความสามารถในการดูดซับสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในน้ำมันสบู่ดำ โดยใช้ตัวดูดซับห้าชนิด คือ ถ่านกัมมันต์ แป้งฟอกสีเบอร์ ๑๕๐ แป้งฟอกสีเบอร์ ๒๐๐ ไคติน และไคโตซาน ผลปรากฏว่า แป้งฟอกสีเบอร์ ๒๐๐ มีความสามารถในการดูดซับสารฟอร์บอลเอสเทอร์ได้ดีที่สุด รวมทั้งยังพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับโดยแป้งฟอกสีเบอร์ ๒๐๐ คือ ใช้ความเข้มข้นของแป้งฟอกสีที่ ๓.๒% โดยน้ำหนัก ระยะเวลาในการดูดซับ ๑๕ นาที อัตราเร็วในการกวน ๑๐๐ รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ ๒๕ °ซ จะสามารถลดปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในน้ำมันสบู่ดำได้ถึง ๙๖-๙๘%

Anandan *et al.* (๒๐๐๕) ได้ศึกษาการลดสาร riacin ในกากละหุ่งเพื่อนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ด้วยวิธีการใช้น้ำปูนใสที่ความเข้มข้น ๔๐ ก.ของ $Ca(OH)_2$ /กก.และใช้ไอน้ำที่ความดัน ๑๕ psi นาน ๖๐ นาที ทำให้สามารถลดปริมาณสาร riacin ในกากละหุ่งได้ถึง ๑๐๐%

Belewu and Sam (๒๐๑๐) ได้ศึกษาการลดสารพิษกากสบู่ดำด้วยการหมักร่วมกับเชื้อรา ๕ ชนิด (*Aspergillus niger, Penicillium chrysogenum, Rhizopus oligosporus, Rhizopus nigricans* และ *Trichoderma longibrachitum*) เป็นเวลา ๗ วัน พบว่า กากสบู่ดำที่หมักร่วมกับเชื้อรา ๕ ชนิดนี้ มีปริมาณโปรตีนสูงกว่ากากสบู่ดำที่ไม่ผ่านการหมัก โดยเฉพาะกากสบู่ดำ

ร่วมกับ *A.niger* มีปริมาณโปรตีนสูงถึง ๖๕.๗๕% และนอกจากนั้นการหมักกากสบู่ดำร่วมกับ *A.niger* ยังสามารถลดสารพิษและสารต้านโภชนะ ไม่ว่าจะเป็นสารยับยั้งทริปซิน ซาโปนิน และฟอร์บอลเอสเทอร์ได้สูงที่สุด

Ehsan (๒๐๑๑) ได้ทำการศึกษาการลดสารพิษในกากสบู่ดำโดยวิธีการคว้าร้อนร่วมกับใช้สารเคมี ($Na(OH)$, $Ca(OH)_2$, KOH, NaOH+NaOCl, $Ca(OH)_2$+NaOCl, KOH+NaOCl และ NaOCl) พบว่า สามารถลดสารยับยั้งทริปซินได้ ๓๔.๒๐ มก./ก. เหลือ ๐.๑๐-๐.๖๐ มก./ก.(ค่าเฉลี่ยเท่ากับ ๐.๒๗ มก./ก.) และพบว่าวิธีการใช้ความร้อน ร่วมกับการใช้ $Ca(OH)_2$ สามามรถลดสารยับยั้งทริปซินได้มากที่สุด (๐.๑๐ มก./ก.)

การใช้เมล็ดและกากสบู่ดำในสัตว์

Adam (๑๙๗๔) ได้ศึกษาในหนู โดยให้อาหารที่ประกอบด้วยเมล็ดสบู่ดำดิบ ปรุงสุก และเผาย่างในสัดส่วนแตกต่างกัน หนูที่ได้รับเมล็ดสบู่ดำซึ่งไม่ได้ผ่านกระบวนการใดๆ หรือกินเมล็ดดิบ จะตายภายใน ๒๓ วัน ส่วนหนูที่ได้รับอาหารที่ผสมกับเมล็ดสบู่ดำปรุงสุก ทำให้หนูตายภายใน ๖๘ วัน แต่ถ้าให้กินเมล็ดที่เผาย่าง หนูจะตายภายใน ๑๔ วัน

Ahmed and Adam (๑๙๗๙) ได้ให้อาหารที่มีเมล็ดสบู่ดำกับลูกวัว จำนวน ๖ ตัว อายุ ๑๔ วัน ในอัตรา ๒.๕, ๑.๐ และ ๐.๒๕ ก./กก. น้ำหนักลูกวัว เป็นเวลาครั้งเดียว และให้กับลูกวัว ๒ ตัวในอัตรา ๐.๐๒๕ ก./กก. น้ำหนักลูกวัว โดยให้อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา ๑๔ วัน ผลปรากฏว่า ในการทดลองชุดแรก (ให้เมล็ดสบู่ดำครั้งเดียว) ลูกวัวแสดงอาการเป็นพิษและตายภายใน ๑๙ ชั่วโมง ส่วนลูกวัวชุดที่สองที่ได้รับอาหารมีเมล็ดสบู่ดำในอัตราต่ำทุกวัน แสดงอาการเป็นพิษและตายภายใน ๑๐-๑๔ วัน อาการทางคลินิกที่เห็นชัด คือ ท้องเดิน การหายใจติดขัด มีการสูญเสียน้ำของร่างกาย และสูญเสียการควบคุมตัวเอง เมื่อตรวจดูสรีรวิทยาภายในร่างกายพบว่า วัวที่ได้รับพิษมีสาร aspartate, aminotransferase, ammonia และ potassium เพิ่มขึ้นในซีรัม แต่ระดับโปรตีนทั้งหมดและแคลเซียมในซีรัมของลูกวัวลดลง

Badwi *et al.* (๑๙๙๕) ได้ใช้กากสบู่ดำที่ผ่านการลดสารพิษด้วยความร้อนแบบ autoclave (๑๒๑°ซ; ๑๕ psi. เป็นเวลา ๒๕ นาที) ผสมในอาหารลูกไก่เนื้อเพศผู้ตั้งแต่แรกเกิด โดยมีกากสบู่ดำเป็นแหล่งโปรตีนเดียวเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ให้เคซีนเป็นแหล่งโปรตีนเพียงอย่างเดียวเช่นกัน พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน โดยใน ๔ วันแรก กลุ่มที่ได้รับกากสบู่ดำที่ผ่านการลดสารพิษและกลุ่มควบคุมมีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นเท่ากับ ๑.๙ vs. ๑.๘ ก. กินอาหารได้ต่อวันเท่ากับ ๑๙.๐ vs. ๒๐.๔ ก. ส่วนที่อายุ ๙ วัน มีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ ๕๕.๑ vs. ๕๗.๖ ก. ตามลำดับ เมื่อนำลูกไก่ที่อายุ ๑๐ วัน ไปผ่าพิสูจน์ซาก ไม่พบความแตกต่างของอวัยวะภายใน

Makkar and Becker (๑๙๙๗) เปรียบเทียบการใช้กากสบู่ดำที่ไม่ผ่านและผ่านความร้อน (๑๒๑ °ซ, ความชื้น ๖๖%; เป็นเวลา ๑๕, ๓๐ และ ๔๕ นาที) ในอาหารหนูและปลา พบว่า ในหนูกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมโปรตีนเคซีนมีน้ำหนักตัวเพิ่มสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับกากสบู่ดำที่ผ่านและไม่ผ่านความร้อน โดยประสิทธิภาพการใช้โปรตีนในกลุ่มที่ได้รับกากสบู่ดำที่ไม่ผ่านและผ่านความร้อน มีค่าเท่ากับ ๓๗ และ ๘๖% ตามลำดับ สำหรับผลในปลา พบว่า น้ำหนักตัวเพิ่ม ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และอัตราแลกน้ำหนัก ให้ผลไม่แตกต่างกันทั้งในกลุ่มที่ได้รับกากสบู่ดำที่ผ่านความร้อน (๑๕, ๓๐ และ ๔๕ นาที) และไม่ผ่านความร้อน (๕.๕–๘.๐ vs. ๘.๐ ก., ๒๖.๙–๓๓.๐ vs. ๓๐.๕% และ ๑.๒๔–๑.๕๖ vs. ๑.๓๔ ตามลำดับ)

พลังงานใช้ประโยชน์และวิธีการหา

พลังงานรวม (Gross Energy, GE) เป็นค่าพลังงานทั้งหมดของอาหารที่สัตว์กินเข้าไป สามารถวัดได้ โดยการนำอาหารไปเผาในเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb calorimeter) แล้ววัดความร้อนที่เกิดขึ้น แต่ค่าพลังงานรวมไม่สามารถบอกปริมาณพลังงานที่สัตว์นำไปใช้ประโยชน์ได้ ทั้งนี้เนื่องจากพลังงานในอาหารจะสูญเสียในมูลเป็นส่วนแรก ซึ่งนับว่าเป็นส่วนที่สำคัญมากที่สุด ในวัวและแกะอาจสูงถึง ๔๐–๕๐% เมื่อกินอาหารหยาบ แต่ถ้ากินอาหารข้นจะสูญเสียประมาณ ๒๐–๓๐% ในสุกรประมาณ ๒๐% ของพลังงานรวม ดังนั้นเมื่อนำพลังงานในมูลมาหักออกจากพลังงานทั้งหมดในอาหารจะได้ค่าพลังงานย่อยได้ปรากฏ (apparent digestible energy; ADE)

$$ADE = \frac{[(I \times GE_i) - (E \times GE_e)]}{I}$$

เมื่อ I = ปริมาณอาหารที่กิน (g. DM)

E = ปริมาณมูล (g. DM)

GE_i = พลังงานรวมของอาหาร (kcal/g DM)

GE_e = พลังงานรวมของมูล (kcal/g DM)

ในสัตว์ปีกเนื่องจากมูลและปัสสาวะถูกขับออกร่วมกันทาง cloaca จึงทำให้หาค่าพลังงานย่อยได้ยุ่งยาก เพราะจะต้องหาวิธีแยกมูลออกจากปัสสาวะ ดังนั้นค่าพลังงานย่อยได้จึงไม่นิยมใช้ในสัตว์ปีก

พลังงานใช้ประโยชน์ (Metabolizable energy, ME) เป็นพลังงานที่หักการสูญเสียในมูล และปัสสาวะออกแล้ว โดยสัตว์ที่กินอาหารหยาบจะมีการสูญเสียพลังงานไปในปัสสาวะมากกว่าการกินอาหารข้น นอกจากนี้ในกรณีของสัตว์เคี้ยวเอื้องยังมีพลังงานที่สูญเสียไปในรูปของแก๊สมีเทนด้วย แต่ในสัตว์กระเพาะเดี่ยวไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงปริมาณที่สูญเสียไปในรูปของมีเทน เพราะว่ามีน้อยมากไม่ถึง ๑% ของพลังงานรวม โดยทั่วไปพบว่า ME ในอาหารสุกรจะมีค่าประมาณ ๙๐–๙๗% Digestible energy

นอกจากนี้ค่า ME ยังขึ้นอยู่กับสมดุลของไนโตรเจนที่เกิดขึ้นเนื่องจากอาหารนั้นด้วยคือ ถ้าสัตว์กินอาหารนั้นแล้ว มีสมดุลไนโตรเจนเป็นลบ แสดงว่าสัตว์ขับไนโตรเจนออกทางมูลและปัสสาวะมากกว่าปริมาณที่กินเข้าไป ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอาหารนั้นมีพลังงานต่ำ ไม่เพียงพอกับความต้องการของร่างกาย ทำให้ต้องดึงเอาเนื้อเยื่อในร่างกายมาเผาผลาญเป็นพลังงานและมีการสลายเอากลุ่มอะมิโนของโปรตีนในเนื้อเยื่อออก นั่นคือปริมาณไนโตรเจนในปัสสาวะมิได้มาจากอาหารทั้งหมด ถ้านำพลังงานในปัสสาวะไปลบออกจากพลังงานที่ย่อยได้ทันทีก็จะทำให้ค่า ME ที่ได้ไม่ถูกต้อง ควรหักพลังงานในปัสสาวะส่วนที่ไม่ได้มาจากอาหารออกเสียก่อน ในทางตรงกันข้ามถ้าสัตว์กินอาหารนั้นแล้ว มีสมดุลไนโตรเจนเป็นบวก แสดงว่าสัตว์ขับไนโตรเจนออกมาน้อยกว่าที่กินเข้าไปคือ ไนโตรเจนส่วนหนึ่งจากอาหารจะถูกสะสมไว้ในร่างกายแทนที่จะถูกขับออก ทำให้พลังงานในปัสสาวะต่ำกว่าความเป็นจริง (บุญล้อม, ๒๕๓๒)

ดังนั้นจึงต้องมีการปรับค่า ME ให้อยู่ในระดับที่มีสมดุลไนโตรเจนเป็นศูนย์ (zero nitrogen balance) โดยหักค่าพลังงานต่อกรัมไนโตรเจนส่วนที่ต่ำหรือสูงกว่าศูนย์ออก ซึ่งในสุกรค่านี้จะเท่ากับ ๗.๐ kcal/g N ในวัวเท่ากับ ๗.๔๕ kcal/g N และในสัตว์ปีกเท่ากับ ๘.๒๒ kcal/g N การที่ค่าต่างกันนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณไนโตรเจนในปัสสาวะที่ขับออกมาในรูปยูเรียหรือกรดยูริค ค่าที่ปรับไนโตรเจนแล้วเรียกว่า nitrogen-corrected metabolic energy (ME_n) ดังนี้

ME_n = DE – [UE – (NB × ๓๔.๔ KJ)] ในกรณีที่สมดุลไนโตรเจนเป็นลบ

ME_n = DE – [UE + (NB × ๓๔.๔ KJ)] ในกรณีที่สมดุลไนโตรเจนเป็นบวก

การหาค่าพลังงานใช้ประโยชน์โดยการคำนวณ

การคำนวณ ME ที่กล่าวมาข้างต้นนั้นจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลที่ได้มาจากการศึกษาทดลองโดยให้สัตว์ได้รับอาหารนั้นๆ เป็นระยะเวลานานพอควร ทำการเก็บมูล ปัสสาวะ และวัดปริมาณมีเทนในกรณีของสัตว์เคี้ยงเอื้องด้วย นอกจากนี้ยังต้องทำการวัดพลังงานในอาหาร และในสิ่งขับถ่ายนั้นๆ ซึ่งการวัดพลังงานในอาหาร และในมูลทำได้ไม่ยากนัก แต่การวัดพลังงานในปัสสาวะมักต้องใช้กรรมวิธีที่ยุ่งยาก ทั้งนี้เพราะปัสสาวะของสัตว์ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็น

ของเหลว ดังนั้นเพื่อตัดปัญหาต่างๆ รวมทั้งปัญหาที่ไม่มีเครื่องวัดพลังงาน จึงอาจทำการคำนวณค่าพลังงานได้โดยอาศัยองค์ประกอบของโภชนะดังนี้ (Gohl, ๑๙๘๑)

ในสุกร ME = ๕.๐๑ DP + ๘.๙๕ DEE + ๓.๔๔ DFi + ๔.๐๘ DNFE

ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง ME = ๔.๓๒ DP + ๗.๗๓ DEE + ๓.๕๙ DFi + ๓.๖๓ DNFE

เมื่อ ME = ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ (kcal/kg)

DP = ปริมาณโปรตีนที่ย่อยได้ (ก./กก.)

DEE = ปริมาณไขมันที่ย่อยได้ (ก./กก.)

DFi = ปริมาณเยื่อใยที่ย่อยได้ (ก./กก.)

DNFE = ปริมาณ nitrogen free extract ที่ย่อยได้ (ก./กก.)

นอกจากนี้ค่า ME ในอาหารสุกร ยังคำนวณได้โดยใช้สูตร Asplund and Harris (๑๙๖๙) ซึ่งอ้างอิงโดย NRC (๑๙๗๙) ดังนี้

ME = DE × [๙๖ – (๐.๒๐๒ × crude protein%) / ๑๐๐]

การย่อยได้และวิธีการหา

การหาค่าการย่อยได้ อาจทำการวัดโดยทดลองกับสัตว์ (*in vivo* method) หรือใช้วิธีในห้องปฏิบัติการ (*in vitro* method) โดยการทดลองกับสัตว์ มีวิธีที่นิยมกัน ๒ วิธี ดังนี้

๑. Conventional method

๒. Indicator หรือ Indirect method

หลักการทั่วไปของทั้ง ๒ วิธี คือ ทำการคัดเลือกสัตว์ทดลองที่มีอายุ ขนาด และน้ำหนักที่ใกล้เคียงกัน รวมทั้งต้องเป็นสัตว์ที่มีสุขภาพดี ไม่ตื่นตกใจง่าย ปกตินิยมใช้สัตว์ตัวผู้ที่โตเต็มที่ เพื่อสะดวกในการเก็บมูล และแยกปัสสาวะไม่ให้ปะปนกับมูลได้ง่าย จำนวนสัตว์ที่ใช้ในการทดลองอย่างน้อยไม่ควรต่ำกว่า ๔ ตัว ทั้งนี้เพราะแม้สัตว์สายพันธุ์ อายุ และเพศเดียวกัน ความสามารถในการย่อยได้ก็อาจต่างกัน การแยกมูลและปัสสาวะทำโดยการใช้ตะแกรง แต่ในแกะนิยมใช้เครื่องผูกรัด มีถุงยางรับมูล สำหรับสัตว์ปีกนั้นการหาค่าการย่อยได้เป็นเรื่องยุ่งยาก เพราะมูลและปัสสาวะถูกขับออกมาทางเดียวกันคือ Cloaca การแยกมูลและปัสสาวะออกจากกัน

อาจทำได้โดยการวิเคราะห์ทางเคมีโดยอาศัยหลักที่ว่า ไนโตรเจนในปัสสาวะส่วนใหญ่อยู่ในรูปกรดยูริค ส่วนไนโตรเจนในมูลส่วนใหญ่อยู่รูป True protein หรืออาจทำได้โดยการผ่าตัดแยกท่อมูลกับปัสสาวะออกจากกันก็ได้

อาหารที่ใช้ในการทดลอง ควรทำการผสมให้ทั่วและเตรียมไว้เพียงพอก่อนเริ่มการทดลอง เพื่อว่าองค์ประกอบจะได้สม่ำเสมอ อาหารนี้จะต้องให้อย่างน้อย ๑ สัปดาห์ก่อนที่จะทำการทดลองเก็บมูล เพื่อว่าสัตว์จะได้เคยชินกับอาหารนั้นๆ และในทางเดินอาหารจะได้ไม่มีอาหารเก่าตกค้างอยู่ ระยะนี้เรียกว่า ระยะก่อนการทดลอง (preliminary period) จากนั้นจะถึงระยะทดลองจริง (experimental period หรือ collection period) ระยะเวลาที่ใช้ในแต่ละช่วงมักผันแปรไปตามชนิดของสัตว์ สำหรับสุกรและสัตว์ปีก ควรใช้เวลาแต่ละช่วงนาน ๔–๗ วัน ส่วนในสัตว์เคี้ยวเอื้องควรใช้เวลาช่วงละ ๑๐–๑๔ วัน ในการทดลองหาค่าการย่อยได้โดยวิธี Conventional method จำเป็นต้องทราบปริมาณที่แน่นอนของอาหารที่กินและมูลที่ขับออก ดังนั้นในระยะทดลองจริงจะต้องทำการบันทึกข้อมูลดังกล่าวทุกวัน

การหาค่าการย่อยได้ คำนวณได้จาก ๒ วิธี คือ

๑. Different method ควรใช้เมื่อไม่มี interaction ระหว่างวัตถุดิบอาหาร ซึ่งในกรณีของสัตว์กระเพาะเดี่ยวไม่ค่อยมีปัญหา (ยกเว้นในกรณีที่อาหารนั้นมีสารพิษหรือสารยับยั้งการย่อยได้ เป็นต้น) แต่ในสัตว์เคี้ยวเอื้องมักพบบ่อยๆ ว่าการย่อยได้ของอาหารผสมไม่เท่ากับผลรวมของการย่อยได้ขององค์ประกอบ เมื่อใช้เลี้ยงเดี่ยวๆ ดังนั้นจึงไม่ควรใช้วิธีดังกล่าว แต่ควรใช้ regression method แทน โดยสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะแต่ละชนิดในอาหารหยาบและอาหารข้น สามารถคำนวณได้โดยอาศัยสมการถดถอย

$$Y = a + bX$$

เมื่อ Y คือ การย่อยได้ของโภชนะในอาหาร (%)
a คือ ค่าคงที่
b คือ regression coefficient
X คือ ปริมาณโภชนะในอาหาร (%)

๒. Indicator method ใช้เมื่ออยู่ในสภาพที่ขาดเครื่องมือที่เหมาะสม หรือในสภาพการทดลองบางชนิดที่ไม่สามารถวัดปริมาณอาหารที่กินหรือมูลที่ขับออกมาได้ โดย indicator อาจเป็น

สิ่งที่มีอยู่ในอาหารนั้นตามธรรมชาติ เช่น ลิกนิน และ acid insoluble ash เป็นต้น หรืออาจเป็นสารที่เติมลงไป สารที่นิยมมากได้แก่ Chromic oxide, Ferric oxide และ Polyethylene glycol ซึ่งสารที่ใช้เป็น indicator ควรมีคุณสมบัติ คือ ไม่ถูกย่อย ไม่ถูกดูดซึม ผ่านทางเดินอาหารสม่ำเสมอ ไม่มีฤทธิ์เป็นยาและจะต้องวิเคราะห์ทางเคมีได้ง่าย

การใช้ indicator นี้เราไม่จำเป็นต้องทราบน้ำหนักของอาหารที่กิน และมูลที่ขับออกมาก็ได้ เพราะถ้าเราสามารถทราบความเข้มข้นของ indicator ในอาหารและในตัวอย่างมูลของสัตว์แต่ละตัว สัดส่วนของความเข้มข้นนี้จะบ่งถึงการย่อยได้ เช่น ถ้าความเข้มข้นของ indicator ในอาหารเท่ากับ ๑% และในมูล ๒% อาหารนั้นก็จะถูกย่อยได้ ๕๐% ดังสมการ

$$\text{\% การย่อยได้ของวัตถุแห้ง} = \frac{\text{\% indicator ในมูล} - \text{\% indicator ในอาหาร}}{\text{\% indicator ในมูล}} \times ๑๐๐$$

ตัวอย่างผลการศึกษาค่า ME และการย่อยได้ในสัตว์ปีก บุญล้อม และคณะ (๒๕๓๔) ได้ศึกษาในใบถั่วมะแฮะ พบว่า เมื่อเพิ่มสัดส่วนของใบถั่วมะแฮะแทนที่ส่วนของอาหารฐานสูงขึ้นค่า ME ของสูตรอาหารมีแนวโน้มลดลง เมื่อนำค่า ME ของอาหารผสม ที่มีใบถั่วมะแฮะแต่ละระดับไปเข้าสมการคาดคะเนเส้นตรง เพื่อทำนายค่า ME ของใบถั่วมะแฮะ (๑๐๐%) พบว่าค่าที่ได้จากสมการเท่ากับ ๑.๓๓๐ kcal/g DM [Y = ๓.๒๒๖ + (-๐.๐๑๘)X] ส่วนค่าการย่อยได้ของโภชนะต่างๆ ในใบถั่วมะแฮะ ปรากฏว่า เยื่อใยไม่สามารถย่อยได้ วัตถุแห้ง ย่อยได้ต่ำมากเพียง ๑.๑% โปรตีนและ อินทรียวัตถุย่อยได้ ๔-๙% ส่วน NFE และไขมันย่อยได้ ๒๗-๔๔%