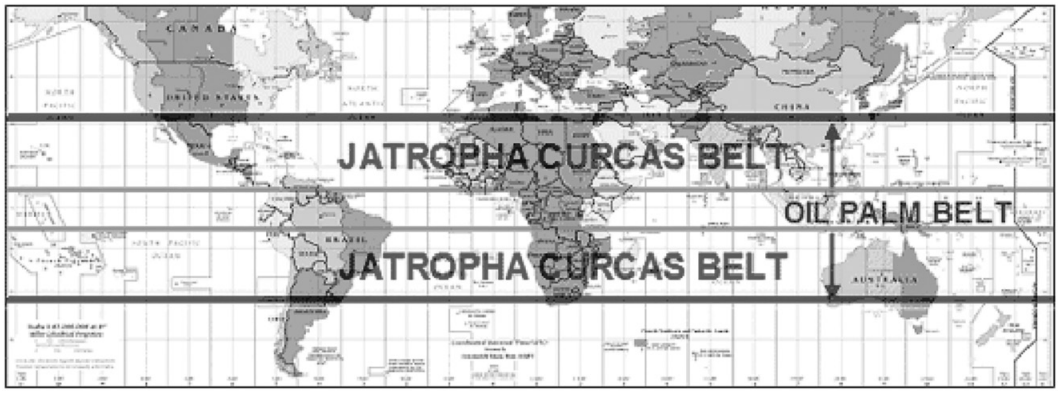
สบู่ดำ สารฟอร์บอลเอสเทอร์
กับคุณประโยชน์ที่มากกว่าพลังงานทดแทน

ณภัสนันท์ พสุการัชต์ชัย[1]

[1]คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

สบู่ดำ

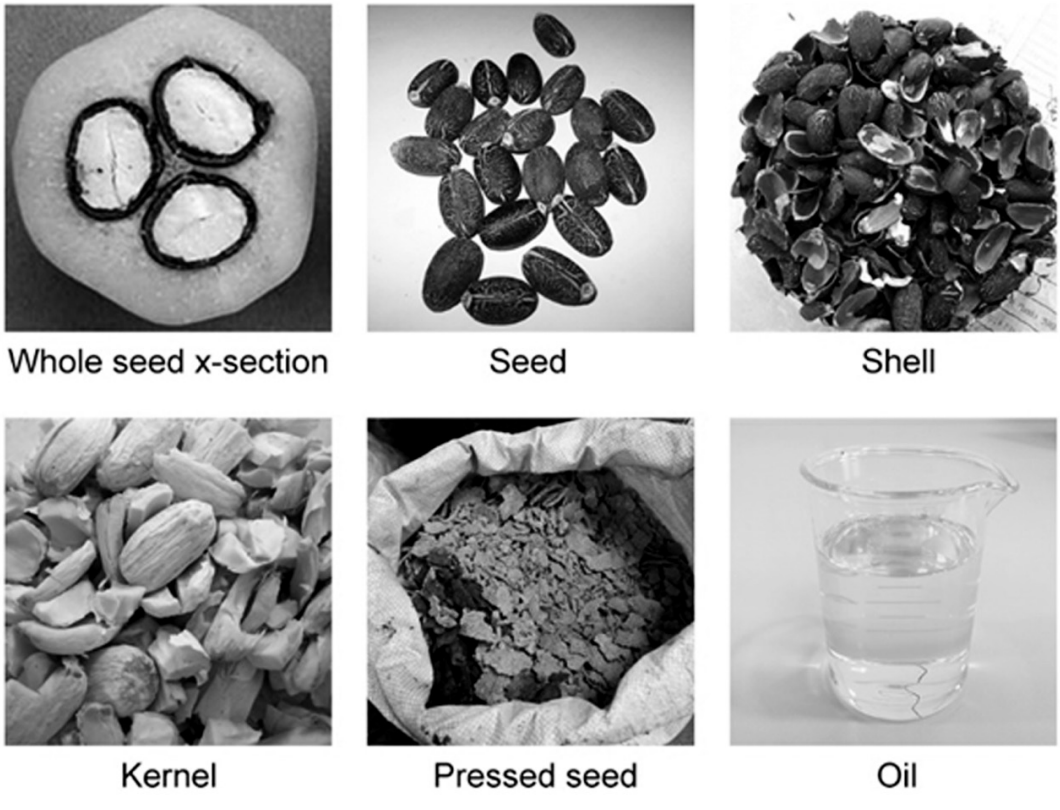
สบู่ดำ (Physic nut) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Jatropha curcas* L. เป็นพืชในวงศ์ยาง Euphorbiaceae มีถิ่นกำเนิดแถบอเมริกากลางและอเมริกาใต้ เป็นพืชที่สามารถขึ้นในพื้นที่แห้งแล้ง มีความทนทานสูง สามารถเจริญเติบโตได้ในพื้นที่กว้างกว่าปาล์มน้ำมัน [1] โดยมีพื้นที่ที่สามารถเพาะปลูกได้ ดังแสดงในรูปที่ 1 มีคุณลักษณะของลำต้น ใบ ดอก ผล และเมล็ดที่หลากหลายขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์และแหล่งที่เจริญเติบโต (ตัวอย่างต้นสบู่ดำดังแสดงในรูปที่ 2) ซึ่งโดยทั่วไปในเมล็ดจะมีน้ำมันประมาณร้อยละ 30 – 40 โดยน้ำหนัก และเป็นน้ำมันที่ไม่ได้ใช้ในการบริโภค ด้วยคุณสมบัตินี้จึงทำให้น้ำมันจากสบู่ดำเป็นที่สนใจในการใช้เป็นพลังงานทดแทน



รูปที่ 1 *เขตพื้นที่ที่สบู่ดำสามารถเจริญเติบโตได้เปรียบเทียบกับเขตพื้นที่ปาล์มน้ำมัน [1]*

รูปที่ 2 *ต้นสบู่ดำและเมล็ดสบู่ดำ (จ.น่าน อ.เวียงสา)*

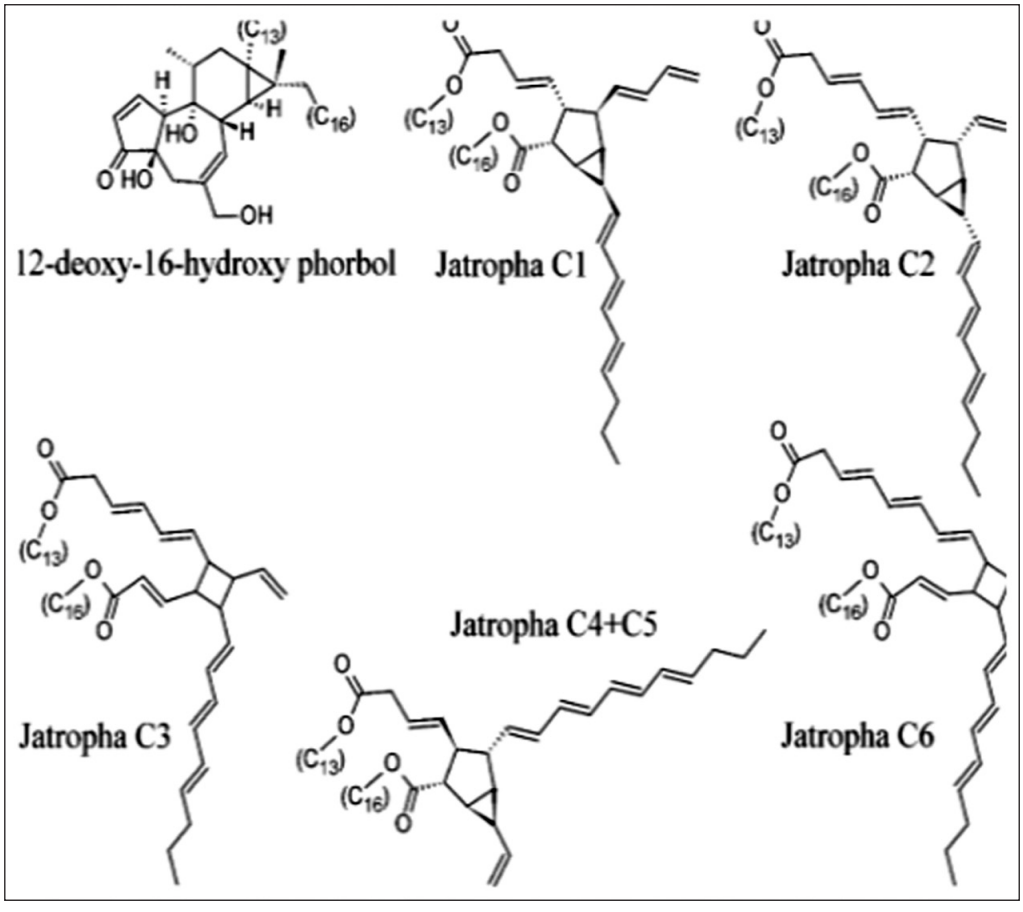
การแยกน้ำมันออกจากเมล็ดสบู่ดำ โดยทั่วไปแล้วนิยมใช้วิธีทางกายภาพ ด้วยการใช้เครื่องบีบอัดเชิงกล เมล็ดสบู่ดำ 4 กิโลกรัม จะได้น้ำมัน 1 ลิตร โดยเฉลี่ย [1] ส่วนกากสบู่ดำที่เหลือถึงแม้จะมีปริมาณโปรตีนอยู่ค่อนข้างมาก ประมาณร้อยละ 26 โดยน้ำหนัก [2] และมีปริมาณที่มากกว่าโปรตีนในถั่วเหลือง [3] (องค์ประกอบของผลสบู่ดำดังแสดงในรูปที่ 3) เนื่องด้วยสบู่ดำมีความเป็นพิษจึงไม่สามารถใช้ประโยชน์เป็นอาหารสัตว์ได้เหมือนเช่นถั่วเหลือง กากเมล็ดสบู่ดำที่เหลือจากกระบวนการหีบน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำออกจึงมักใช้ในการทำปุ๋ย หรือใช้เป็นพลังงานชีวมวลแทน หากพิจารณาถึงส่วนประกอบของสารที่เป็นพิษในเมล็ดสบู่ดำแล้วพบว่ามีหลากหลายชนิด [2, 4, 5] แต่มีสารหนึ่งที่มีความสำคัญ คือ สารฟอร์บอลเอสเทอร์ เนื่องจากไม่สามารถทำลายหรือยับยั้งฤทธิ์ได้ด้วยการใช้ความร้อนสูงเหมือนสารที่มีความเป็นพิษอื่นๆ [6] โดยสารฟอร์บอลเอสเทอร์พบในน้ำมันที่ได้จากการบีบอัดถึง 1.1 มิลลิกรัมต่อกรัม และในกากเมล็ดสบู่ดำ 1.45 มิลลิกรัมต่อกรัม [7] แต่เมื่อนำน้ำมันสบู่ดำไปผ่านกระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยวิธีการทำทรานเอสเทอร์จะไม่พบสารนี้ [8]



รูปที่ 3 *องค์ประกอบของผลสบู่ดำ*

สารฟอร์บอลเอสเทอร์

สารฟอร์บอลเอสเทอร์ เป็นสารอินทรีย์ที่พบในพืชวงศ์ยาง Euphorbiaceae เช่นใน *Croton* sp. และ *Jatropha* sp. [1, 9] มีโครงสร้างเป็นอนุพันธ์ของเตตราไซคลิกไดเทอร์พีน ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งสารนี้เป็นสารกระตุ้นให้เกิดเนื้องอก และพบว่าก่อการระคายเคืองต่อผิวหนังหากเกิดการสัมผัสกับร่างกาย [1] เนื่องด้วยความเป็นอันตรายนี้ จึงมีการพยายามที่จะกำจัดสารนี้ออกจากน้ำมันสบู่ดำและกากเมล็ดสบู่ดำ เพื่อลดความเป็นพิษ และเพิ่มคุณค่าของกากสบู่ดำในแง่ของการนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงปศุสัตว์ ซึ่งในการกำจัดฟอร์บอลเอสเทอร์นั้นไม่สามารถทำลายได้ด้วยความร้อน [6] จึงจำเป็นต้องใช้วิธีการสกัดออกจากน้ำมันซึ่งมักใช้เมทานอล ส่วนการกำจัดจากกากสบู่ดำโดยมากใช้การทำลายด้วยปฏิกิริยาเคมีกับด่าง ตามด้วยการล้างด้วยแอลกอฮอล์ ซึ่งพบประสิทธิภาพสูงถึง 99 เปอร์เซ็นต์ และเทียบเท่ากับเมล็ดสบู่ดำชนิดไม่มีพิษจากประเทศเม็กซิโก [5, 10]



รูปที่ 4 *โครงสร้างของสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในเมล็ดสบู่ดำ [11]*

ประโยชน์ของสารฟอร์บอลเอสเทอร์

แม้ว่าฟอร์บอลเอสเทอร์จะมีผลกระทบทางลบในการศึกษาด้านพิษวิทยา แต่ก็มีงานวิจัยพบว่าสามารถใช้คุณสมบัติความเป็นพิษเหล่านี้ให้เกิดประโยชน์ได้ทั้งด้านเกษตรกรรมและด้านเภสัชกรรม โดยมีนักวิจัยพบว่าสารฟอร์บอลเอสเทอร์ที่สกัดจากน้ำมันสบู่ดำด้วยเมทานอลนั้น มีคุณสมบัติในการควบคุมปริมาณหอยทากซึ่งเป็นพาหะของตัวอ่อนของพยาธิใบไม้ schistosomes โดยมีค่าความเข้มข้นที่ทำให้หอยทากจำนวนครึ่งหนึ่งของกลุ่มประชากรที่ศึกษาตายที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าความเข้มข้นที่ทำให้หอยทากตายทั้งหมดที่ 25 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับยากำจัดศัตรูพืชที่มีการค้าทางพานิชย์ซึ่งมีความเข้มข้นที่เป็นพิษที่ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร [12] รวมทั้งยังสามารถใช้ในการกำจัดปลวกได้โดยมีค่าความเข้มข้นที่ทำให้ปลวกตายทั้งหมดที่ 0.5 กรัมต่อมิลลิลิตร ภายในระยะเวลา 12 ชั่วโมง [13] ส่วนในด้านประโยชน์ต่อการเกษตร สารฟอร์บอลเอสเทอร์สามารถใช้กำจัดตัวอ่อนระยะที่สามของหนอนกระทู้ผัก *Spodoptera frugiperda* ซึ่งเป็นศัตรูต่อข้าวโพดได้ โดยมีค่าความเข้มข้นที่เป็นพิษที่ทำให้หนอนกระทู้ผักตายครึ่งหนึ่งของกลุ่มประชากรที่ศึกษาที่ 0.83 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อพ่นบนผิวใบข้าวโพด [14]

นอกจากนี้สารฟอร์บอลเอสเทอร์ยังออกฤทธิ์ที่อาจใช้ในการบำบัดโรคที่เกี่ยวข้องกับความผิดปกติของเม็ดเลือดขาวได้ เช่น ลูคีเมีย [15-17] รวมถึงมีฤทธิ์ในการต้านไวรัสและมีผู้วิจัยทดสอบใช้สารฟอร์บอลเอสเทอร์เป็นสารตั้งต้นในการผลิตสารโพรสตาทิน (Prostratin) ซึ่งออกฤทธิในการต้านไวรัสเอดส์ และสารโพรสตาทินนี้ยังไม่ใช่สารที่กระตุ้นให้เกิดเนื้องอกเหมือนในสารฟอร์บอลเอสเตอร์ที่เป็นสารตั้งต้น [18] ดังนั้น การเพิ่มมูลค่าให้สายการผลิตเชื้อเพลิงทดแทนจากสบู่ดำอาจทำได้โดยการสกัดสารฟอร์บอลเอสเทอร์ออกจากน้ำมันที่หีบได้ และจากกากสบู่ดำซึ่งเหลือทิ้งจากกระบวนการหีบ ซึ่งเป็นการแยกสารที่มีความเป็นพิษออกจากโปรตีนที่เหลืออยู่ จึงอาจนำกากสบู่ดำที่มีโปรตีนไปใช้ประโยชน์ในการผลิตอาหารสัตว์เพิ่มเติมได้ และยังอาจนำสารที่สกัดได้ไปผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์เพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตสารอื่นๆ ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

การสกัดสารฟอร์บอลเอสเทอร์

สำหรับการแยกสารฟอร์บอลเอสเทอร์ออกจากน้ำมันสบู่ดำและกากเมล็ดสบู่ดำนั้นมีผู้ศึกษาด้วยกันหลายวิธี ในการแยกสารนี้จากน้ำมันโดยส่วนมากใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ที่ระเหยง่ายในการสกัดแยก [19, 20] หรือใช้ตัวดูดซับ [10] ซึ่งหลายงานวิจัยพบว่าเมทานอลให้ประสิทธิภาพการสกัดสารฟอร์บอลเอสเทอร์ออกจากน้ำมันสบู่ดำสูงที่สุด [6, 20, 21] โดยสามารถสกัดให้ความเข้มข้นสารฟอร์บอลเอสเทอร์ลดลงจากกากสบู่ดำเริ่มต้นที่ 1.78 มิลลิกรัมต่อกรัมของกากสบู่ดำเหลือ 0.09 มิลลิกรัมต่อกรัมของกากสบู่ดำ แต่ต้องใช้การสกัดด้วยเมทานอลถึง 4 ครั้ง [6] แต่อย่างไรก็ตาม การใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ที่ระเหยง่ายมักมีความเสี่ยงทางด้านสารเคมีในแง่ของความเป็นพิษต่อสุขภาพ และความเสี่ยงต่อการเกิดเพลิงไหม้ อีกทั้งยังต้องทำการสกัดภายใต้ระบบ

ปิดเพื่อป้องกันการรั่วระเหยของตัวทำละลายออกจากกระบวนการสกัด แต่สารฟอร์บอลเอสเทอร์ไม่สามารถสกัดได้ด้วยน้ำเนื่องจากมีองค์ประกอบทางโมเลกุลของส่วนไม่มีขั้วหรือส่วนที่ไม่ชอบน้ำเป็นหลัก [22] จึงมีการพัฒนาสารละลายของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้น้ำเป็นหลักในการสกัดสารจากพืชเนื่องจากไม่มีสารระเหย และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่า [23-26] และมีประสิทธิภาพในการสกัดสารฟอร์บอลเอสเทอร์ได้ 80 – 90 เปอร์เซ็นต์ [25, 26] ทั้งนี้สารฟอร์บอลเอสเทอร์สกัดที่ละลายในสารละลายลดแรงตึงผิวยังไม่มีการนำไปทดสอบคุณสมบัติการออกฤทธิ์เพื่อเปรียบเทียบกับสารฟอร์บอลเอสเทอร์ที่สกัดได้จากเมทานอลว่ามีความเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

การสลายตัวของสารฟอร์บอลเอสเทอร์

ในการศึกษาเรื่องการสลายตัวของสารฟอร์บอลเอสเทอร์นั้นมีประโยชน์ทั้งในแง่มุมที่หากเมื่อคำนึงถึงความเป็นพิษของสารนี้แล้ว เมื่อมีการนำสารนี้ไปใช้งานในการเกษตรจะมีความคงทนในสิ่งแวดล้อมได้นานเท่าใด ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาวหรือไม่ หรือหากคำนึงถึงความคงสภาพในระหว่างการเก็บรักษาสารก่อนนำไปใช้งานจะต้องเก็บที่สภาวะใดที่ทำให้สารฟอร์บอลเอสเทอร์ไม่สลายไป ซึ่งมีผู้วิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการสลายตัวของสารฟอร์บอลเอสเทอร์ทั้งที่เป็นสารที่สกัดได้จากละหุ่งและเมล็ดสบู่ดำ [27] และการสลายตัวของสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในกากสบู่ดำเมื่อนำไปใช้ประโยชน์เป็นปุ๋ย [28] หรือใช้กากสบู่ดำในการหมักเพื่อผลิตพลังงาน [29] รวมถึงยังมีการทดสอบการคงตัวของสารฟอร์บอลเอสเทอร์ที่ละลายในตัวทำละลายต่างๆ ซึ่งเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่างๆ [30]

โดยทั่วไปแล้วสารฟอร์บอลเอสเทอร์บริสุทธิ์สามารถสลายตัวได้เองที่อุณหภูมิห้อง และยิ่งมีอัตราการสลายตัวที่สูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น [30] และสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในรูปผงจะสลายตัวได้ง่ายและไวกว่าสารที่ละลายในตัวทำละลาย โดยเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสจะมีการสลายตัวที่ช้ามาก และไม่สลายตัวเลยที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส [30]

สารฟอร์บอลเอสเทอร์ในน้ำมันสบู่ดำสามารถสลายตัวได้เมื่อถูกแสงแดดทั้งโดยตรง และถูกแสงแดดผ่านกระจก และสลายตัวได้หมดภายใน 9 วันภายใต้แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสงสูงสุดประมาณ 80,000 ลักซ์ ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 25 องศาเซลเซียส [27]

สำหรับการนำกากสบู่ดำไปใช้เป็นปุ๋ยผสมกับดินนั้น สารฟอร์บอลเอสเทอร์สามารถสลายตัวได้หมดภายใน 12 – 23 วัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านสภาวะแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ และความชื้น แต่ตัวอย่างดินผสมกากสบู่ดำที่ผ่านการฆ่าเชื้อจุลินทร์ชีพด้วยหม้อนึ่งแรงดันไอน้ำกลับไม่พบการสลายตัวของสารฟอร์บอลเอสเทอร์ ซึ่งบ่งชี้ว่าการย่อยสลายสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในกากสบู่ดำที่ผสมดินเกิดจากกลไกทางชีวภาพเป็นส่วนสำคัญ [28] โดยวิธีทางชีวภาพทั้งจากกิจกรรมของแบคทีเรียภายใต้สภาวะการหมักภายใน 9 วัน [28, 29, 31] และย่อยสลายได้ด้วยเชื้อราภายใต้สภาวะที่มีอากาศภายในระยะเวลา 30 วัน [32]

โดยสรุปนั้น หากเอ่ยถึงสบู่ดำโดยทั่วไปมักนึกถึงการใช้เป็นพลังงานทางเลือกหรือพลังงานทดแทนหนึ่ง แต่การปลูกสบู่ดำเพื่อเก็บเกี่ยวน้ำมันจากเมล็ดในปัจจุบันสำหรับประเทศไทยนั้น ยังคงไม่คุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์โดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันจากเมล็ดปาล์มน้ำมัน เนื่องจากผลสบู่ดำจะเจริญเติบโตไม่พร้อมกัน ทำให้การเก็บเกี่ยวต้องใช้แรงงานคนในการค่อยๆ เก็บเฉพาะผลที่สุกถึงระยะที่ให้น้ำมันได้มาก อีกทั้งผลผลิตน้ำมันที่ได้ต่อพื้นที่ก็ยังน้อยกว่าปาล์มน้ำมัน แต่ข้อได้เปรียบของสบู่ดำคือสามารถเพาะปลูกได้ในพื้นที่วงกว้างกว่า และปลูกได้ในพื้นที่ที่ไม่เหมาะสมต่อเกษตรกรรม นอกจากนี้หากพิจารณาถึงการสกัดแยกสารพิษหรือสารฟอร์บอลเอสเทอร์ออกจากเมล็ด น้ำมัน และกากเมล็ดที่เหลือจากกระบวนการหีบน้ำมันออกมาได้ ก็อาจเพิ่มมูลค่าให้กับกระบวนการโดยรวมทั้งหมดได้ แต่เนื่องจากสารฟอร์บอลเอสเทอร์สามารถสลายตัวได้ที่อุณหภูมิสูงเมื่อสัมผัสอากาศหรือแสงสว่าง ดังนั้นการนำสารไปใช้ประโยชน์ควรคำนึงถึงสภาวะที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาทั้งตัววัตถุดิบตั้งต้น และสารที่สกัดออกมาแล้ว เพื่อรักษาคุณสมบัติทางเคมีของสารให้คงอยู่ก่อนนำไปใช้งาน ในแง่ของการนำไปใช้ทางเภสัชกรรมนั้นยังอยู่ในขั้นการทดสอบในห้องปฏิบัติการ จึงยังไม่สามารถนำไปใช้งานจริงได้ เนื่องจากยังไม่มีการศึกษาให้ครอบคลุมถึงผลข้างที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้สารฟอร์บอลเอสเทอร์เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตสารต้านไวรัสอื่นๆ

เอกสารอ้างอิง

Jongschaap, R.E.E., et al., *Claims and facts on Jatropha curcas L.*, in *Global Jatropha curcas evaluation, breeding and propagation programme. Report 158*. 2007, Plant Research International: Wageningen. p. 66.

Makkar, H.P.S., et al., *Studies on nutritive potential and toxic constituents of different provenances of Jatropha curcas.* Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1997. **45**(8): p. 3152-3157.

Chivandi, E., B. Kachigunda, and F. Fushai, *A comparison of the nutrient and antinutrient composition of industrially processed Zimbabwean Jatropha curcas and Glycine max meals.* Pakistan Journal of Biological Sciences, 2005. **8**(1): p. 49-53.

Makkar, H.P.S., A.O. Aderibigbe, and K. Becker, *Comparative evaluation of non-toxic and toxic varieties of Jatropha curcas for chemical composition, digestibility, protein degradability and toxic factors.* Food Chemistry, 1998. **62**(2): p. 207-215.

Martínez-Herrera, J., et al., *Chemical composition, toxic/antimetabolic constituents, and effects of different treatments on their levels, in four provenances of Jatropha curcas L. from Mexico.* Food Chemistry, 2006. **96**(1): p. 80-89.

Aregheore, E.M., K. Becker, and H.P.S. Makkar, *Detoxification of a toxic variety of Jatropha curcas using heat and chemical treatments, and preliminary nutritional evaluation with rats.* The South Pacific Journal of Natural and Applied Sciences, 2003. **21**(1): p. 51-56.

Chaichodkunchai, K., *Phorbol esters extraction from Jatropha curcas residue kernel meals using surfactant solution*, in *Master's Thesis, NCE-EHWM (Interdisci plinary Program), Graduated School*. 2008, Chulalongkorn University. p. 27-32.

Haas, W. and M. Mittelbach, *Detoxification experiments with the seed oil from Jatropha curcas L.* Industrial Crops and Products, 2000. **12**(2): p. 111-118.

Devappa, R., H.S. Makkar, and K. Becker, *Jatropha Diterpenes: a Review.* Journal of the American Oil Chemists' Society, 2011. **88**(3): p. 301-322.

Nokkaew, R., V. Punsuvon, and P. Vaithanomsat, *Eliminated phorbol esters in seed oil and press cake of Jatropha curcas L.*, in *Proceedings of Pure and Applied Chemistry International Conference 30th Jan - 1st Feb 2008*. 2008, Kasetsart University: Sofitel Centara Grand Hotel Bangkok. p. 202-206.

Phasukarratchai, N., S. Damrongsiri, and C. Tongcumpou, *Solubilization Behavior of Phorbol Esters from Jatropha Oil in Surfactant Micellar Solutions.* Journal of Surfactants and Detergents, 2015: p. 1-9.

Rug, M. and A. Ruppel, *Toxic activities of the plant Jatropha curcas against intermediate snail hosts and larvae of schistosomes.* Tropical Medicine and International Health, 2000. **5**(6): p. 423-30.

Verma, M., et al., *Efficacy of karanjin and phorbol ester fraction against termites (Odontotermes obesus).* International Biodeterioration & Biodegradation, 2011. **65**(6): p. 877-882.

Devappa, R.K., et al., *Potential of using phorbol esters as an insecticide against Spodoptera frugiperda.* Industrial Crops and Products, 2012. **38**: p. 50-53.

Chang, R.L. and Z.T. Han, *Phorbol esters as anti-neoplastic and white blood cell elevating agents*, in *U.S. Patent 6,063,814*. 2000, 16 May 2000: USA.

Scher, W., et al., *Phorbol ester-treated human acute myeloid leukemia cells secrete G-CSF, GM-CSF and erythroid differentiation factor into serum-free media in primary culture.* Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular Cell Research, 1990. **1055**(3): p. 278-286.

Mihalik, R., et al., *Possible involvement of protein kinase C-epsilon in phorbol ester-induced growth inhibition of human lymphoblastic cells.* The International Journal of Biochemistry & Cell Biology, 1996. **28**(8): p. 925-33.

Devappa, R.K., et al., *Pharmaceutical potential of phorbol esters from Jatropha curcas oil.* Natural Product Research, 2013. **27**(16): p. 1459-1462.

Devappa, R., et al., *Quality of biodiesel prepared from phorbol ester extracted Jatropha curcas oil.* Journal of the American Oil Chemists' Society, 2010. **87**(6): p. 697-704.

Devappa, R.K., H.P.S. Makkar, and K. Becker, *Optimization of conditions for the extraction of phorbol esters from Jatropha oil.* Biomass and Bioenergy, 2010. **34**(8): p. 1125-1133.

Guedes, R.E., et al., *Detoxification of Jatropha curcas seed cake using chemical treatment: Analysis with a central composite rotatable design.* Industrial Crops and Products, 2014. **52**: p. 537-543.

Makkar, H.P.S., G. Francis, and K. Becker, *Protein concentrate from Jatropha curcas screw-pressed seed cake and toxic and antinutritional factors in protein concentrate.* Journal of the Science of Food and Agriculture, 2008. **88**(9): p. 1542-1548.

Ribeiro, B.D., D.W. Barreto, and M.A.Z. Coelho, *Use of micellar extraction and cloud point preconcentration for valorization of saponins from sisal (Agave sisalana) waste.* Food and Bioproducts Processing, 2015. **94**: p. 601-609.

Ribeiro, B., D. Barreto, and M. Coelho, *Recovery of Saponins from Jua (Ziziphus joazeiro) by Micellar Extraction and Cloud Point Preconcentration.* Journal of Surfactants and Detergents, 2014. **17**(3): p. 553-561.

Phasukarratchai, N., V. Tontayakom, and C. Tongcumpou, *Reduction of phorbol esters in Jatropha curcas L. pressed meal by surfactant solutions extraction.* Biomass and Bioenergy, 2012. **45**: p. 48-56.

Phasukarratchai, N., S. Damrongsiri, and C. Tongcumpou, *Recovery of phorbol esters from pressed jatropha seeds by surfactant extraction and cloud-point separation.* Industrial Crops and Products, 2017. **95**: p. 549-557.

Yunping, B., et al., *Light induced degradation of phorbol esters.* Ecotoxicology and Environmental Safety, 2012. **84**: p. 268-273.

Devappa, R.K., H.P. Makkar, and K. Becker, *Biodegradation of Jatropha curcas phorbol esters in soil.* Journal of the Science of Food and Agriculture, 2010. **90**(12): p. 2090-2097.

Joshi, C., P. Mathur, and S.K. Khare, *Degradation of phorbol esters by Pseudomonas aeruginosa PseA during solid-state fermentation of deoiled Jatropha curcas seed cake.* Bioresource Technology, 2011. **102**(7): p. 4815-4819.

Schmidt, R. and E. Hecker, *Autoxidation of phorbol esters under normal storage conditions.* Cancer Research, 1975. **35**: p. 1375-1377.

Phengnuam, T. and W. Suntornsuk, *Detoxification and anti-nutrients reduction of Jatropha curcas seed cake by Bacillus fermentation.* Journal of Bioscience and Bioengineering, 2013. **115**(2): p. 168-172.

de Barros, C.R.M., et al., *The potential of white-rot fungi to degrade phorbol esters of Jatropha curcas L. seed cake.* Engineering in Life Sciences, 2011. **11**(1): p. 107-110.