

ปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดน้ำมันเมล็ดองุ่นด้วยวิธีการแช่
และการใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด
Factors Affecting on Maceration and Ultrasound-Assisted
Extraction of Unrefined Grape Seed Oil

วรัญญา วงศ์วานิช¹ และกิตติชัย บรรจง¹
Waranya Wongwanich¹ and Kittichai Banjong¹

บทคัดย่อ

เมล็ดองุ่นพันธุ์ชिरาซ (*Vitis vinifera* cv Shiraz) มีปริมาณน้ำมันทั้งหมดร้อยละ 13.61 โดยน้ำหนักแห้ง นำมาสกัด เป็นน้ำมันเมล็ดองุ่น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดน้ำมันเมล็ดองุ่น ได้แก่ อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อผงเมล็ดองุ่น และระยะเวลาในการสกัด เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดด้วยวิธีการแช่ (maceration extraction; ME) และวิธีการใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด (ultrasound-assisted extraction; UAE) ตลอดจนผลของวิธีการสกัดต่อปริมาณผลผลิตและคุณภาพของน้ำมันเมล็ดองุ่น พบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับวิธี ME คือ อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อผงเมล็ดองุ่น 6 ต่อ 1 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก ใช้เวลาในการสกัด 30 นาที ให้ปริมาณผลผลิตร้อยละ 11.13 โดยน้ำหนักแห้ง และวิธี UAE ที่ความถี่ 20 กิโลเฮิรตซ์ กำลังไฟฟ้า 750 วัตต์ ค่าแอมพลิจูดร้อยละ 80 โดยใช้อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อผงเมล็ดองุ่น 2 ต่อ 1 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก และใช้คลื่นเสียงความถี่สูงสกัดตลอดระยะเวลา 15 นาที ให้ปริมาณผลผลิตร้อยละ 11.42 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ โดยช่วยลดปริมาณการใช้ตัวทำละลายได้ถึง 3 เท่าและลดระยะเวลาในการสกัดเป็น 2 เท่าของวิธี ME จากวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำมันที่ได้ซึ่งเป็นน้ำมันดิบ ได้แก่ ความหนืด ค่าเพอร์ออกไซด์ ค่าไอโอดีน และค่าสaponification มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันบริโภค แต่ยังมีค่าความเป็นกรดและค่ากรดไขมันอิสระสูงเกินมาตรฐาน

คำสำคัญ : น้ำมันเมล็ดองุ่น ปริมาณผลผลิตน้ำมัน วิธีการสกัดโดยการแช่ วิธีการสกัดโดยใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด สมบัติทางเคมีกายภาพ

Abstract

Shiraz grape seeds containing the total oil content of 13.61% (w/w on dry weight) were used by commercial hexane. The objectives of this research were to study the effect of solvent to solid ratio and extraction time of the extraction of grape seed oil and to evaluate the optimal condition for maceration extraction (ME) and ultrasound-assisted extraction (UAE). The effect of extraction methods on yield and quality of grape seed oil were determined. It was found that the optimal condition for ME was obtained at solvent to solid ratio of 6:1 (v/w) and maceration time of 30 min gave 11.13% (w/w on dry basis) oil yield. It was showed that the extractive yield increased with solvent to solid ratio and maceration time. The optimal condition for UAE was achieved at 20 kHz 750 W power, 80% amplitude level using solvent to solid ratio of 2:1 (v/w) and ultrasonication time of 15 min provided 11.42% (w/w on dry basis) oil yield. Increasing the amplitude level and ultrasonication time had benefit to improve the oil yield. Thus UAE was efficient extraction process of oil. In addition, it had been found that the application of ultrasound enables

¹ คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ. 10520

reduction of solvent consumption and extraction time by 3 and 2 times of ME respectively. For the physicochemical properties of unrefined grape seed oil were determined as viscosity, peroxide value, iodine value and saponification value, which were complied with the standard edible oil value.

Keywords: grape seed oil, oil yield, maceration extraction, ultrasound-assisted extraction, physicochemical properties

คำนำ

เมล็ดองุ่นเป็นส่วนประกอบหลักในกากองุ่น ซึ่งเป็นส่วนที่เหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตไวน์ กากองุ่นประกอบด้วยเปลือก เมล็ด และก้าน โดยมีปริมาณร้อยละ 20-25 ของน้ำหนักองุ่นที่ใช้ผลิตไวน์ ในส่วนของเมล็ดองุ่นมีปริมาณสูงถึงร้อยละ 40-60 ของกากองุ่น องค์ประกอบภายในของเมล็ดองุ่นมีน้ำมันประมาณร้อยละ 7-20 เยื่อใยร้อยละ 35 โปรตีนร้อยละ 11 แร่ธาตุร้อยละ 3 น้ำร้อยละ 7 และยังอุดมไปด้วยสารประกอบฟีนอลิกร้อยละ 29 (Matthäs, 2008) จึงสามารถนำเมล็ดองุ่นไปสกัดเป็นน้ำมัน หรือสารช่วยเพิ่มคุณค่า ทางโภชนาการให้กับอาหารและยาได้ อีกทั้งยังเป็นการช่วยลดปัญหาในการกำจัดของเสียอีกด้วย เมล็ดองุ่นจึงเป็นวัตถุดิบสำคัญที่สามารถเพิ่มมูลค่าได้

น้ำมันเมล็ดองุ่นเป็นผลิตภัณฑ์อีกหนึ่งทางเลือกที่ดีต่อสุขภาพเนื่องจากภายในเมล็ดองุ่นอุดมไปด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณสูงถึงร้อยละ 90 โดยเฉพาะกรดไลโนเลอิกมีมากกว่าร้อยละ 70 และกรดโอเลอิกร้อยละ 15 (Matthäs, 2008) ซึ่งสามารถป้องกันการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดได้ และมีสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ คือ วิตามินอี (tocopherol) ปริมาณ 5-52 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ซึ่งมีคุณสมบัติในการป้องกันเซลล์ประสาทและต่อต้านเนื้องอก ลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด และมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ (Bail *et al.*, 2008) น้ำมันเมล็ดองุ่นจึงได้รับความสนใจจากผู้บริโภคและนักวิจัย ทำให้มีผู้ศึกษาและทำการวิจัยเกี่ยวกับสารสกัดและน้ำมันเมล็ดองุ่นเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ยา อาหารเพื่อสุขภาพ รวมทั้งเครื่องสำอางด้วย

การสกัดน้ำมันเพื่อต้องการให้ได้ปริมาณผลผลิตน้ำมันสูงเพียงพอ ส่วนใหญ่นิยมสกัดด้วยตัวทำละลาย ซึ่งมีวิธีการสกัดที่หลากหลาย ทั้งสกัดโดยใช้ความร้อนและไม่ใช้ความร้อน ปัจจุบันได้มีการใช้คลื่นอัลตราซาวนด์ (ultrasound) หรือคลื่นอัลตราโซนิก (ultrasonic wave) ซึ่งเป็นคลื่นเสียงความถี่สูงมาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการสกัด เนื่องจากการใช้คลื่นอัลตราซาวนด์กำลังสูงและความถี่ต่ำ (high power and low frequencies) หรือที่เรียกว่า พาวเวอร์อัลตราซาวนด์ (power ultrasound) ความถี่ที่ใช้อยู่ในช่วง 20-100 kHz มาประยุกต์ใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหาร (Baumann *et al.*, 2005) ส่งผลต่อคุณสมบัติทางกลและทางเคมีของอาหาร การสกัดจะประกอบด้วยสองขั้นตอน คือ กระบวนการแพร่ผ่านผนังเซลล์ ของตัวทำละลาย และการชะสารสำคัญออกจากเซลล์ เมื่อผนังเซลล์ถูกทำลายลง อัลตราซาวนด์จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการดังกล่าวได้โดยทำให้เกิดปรากฏการณ์แควิเทชัน (cavitation) เนื่องมาจากคลื่นประกอบด้วยช่วงอัดและช่วงขยาย ในช่วงขยายเมื่อคลื่นเคลื่อนที่ผ่านตัวทำละลายจะทำให้เกิดฟอง (bubble) ของตัวทำละลายขนาดเล็กจำนวนมาก เมื่อฟองเหล่านี้ได้รับแรงจากคลื่นในช่วงอัดจะทำให้ฟองแตกออกและเกิดเป็น microjet ที่มีความแรงมากทำให้พื้นผิวที่บริเวณผนังเซลล์และภายในเซลล์ของพืชถูกทำลาย ตัวทำละลายจะสามารถแทรกซึมเข้าไปในวัตถุดิบที่นำมาสกัดได้ดียิ่งขึ้นและเนื่องจากผนังเซลล์ของพืชแตกออกจะทำให้อัตราการถ่ายเทมวลสาร (mass transfer) เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้เกิดการชะสารสำคัญออกจากเซลล์พืชที่ถูกทำลายได้ง่ายขึ้น (Mason, 1998)

ในกระบวนการผลิตไวน์จะใช้อองุ่นประมาณ 2,500 ตัน ซึ่งในทุก ๆ ปีจะต้องทิ้งเมล็ดที่เหลือจากการผลิต 125 ตัน (ข้อมูลจากโรงงานสยาม ไวน์รี่) ทางโรงงานจึงประสบปัญหาในการจัดการของเสีย โดยปกติแล้วเมล็ดองุ่นเหล่านี้จะถูกนำไปกองทิ้งไว้รวมกัน ทำให้เกิดปัญหาพื้นที่ไม่เพียงพอและเกิดการเน่าเสียในโรงงาน (Vayupharph and

Laksanalamai, 2012)ถึงแม้ว่าจะมีการพัฒนาวิธีการสกัดขึ้นมากมายที่ได้ปริมาณผลผลิตสูงและราคาต่ำ แต่มีการศึกษาอยู่ไม่มากที่สนใจในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดองุ่นที่ได้จากโรงงานผลิตไวน์ในประเทศไทย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะนำเมล็ดองุ่นพันธุ์ชีราซ ซึ่งเป็น สายพันธุ์องุ่นสำหรับทำไวน์แดงที่ปลูกมากที่สุดในประเทศไทยจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตไวน์มาใช้ประโยชน์ เพื่อเพิ่มมูลค่าเป็นผลิตภัณฑ์น้ำมันเมล็ดองุ่น โดยการพัฒนากระบวนการสกัดน้ำมันจากเมล็ดองุ่นเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอัลตราโซนิกหรือคลื่นเสียงความถี่สูงในกระบวนการสกัด และศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสกัด เพื่อให้สามารถนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ต่อยอดในระดับต่อไป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดน้ำมันเมล็ดองุ่น ได้แก่ ระยะเวลาในการสกัด (extraction time) และอัตราส่วนของตัวทำละลายต่อผงเมล็ดองุ่น (solvent to solid ratio) รวมทั้งหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดด้วยวิธีการแช่ (maceration extraction; ME) และวิธีการใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด ultrasound-assisted extraction; UAE) ตลอดจนผลของวิธีการสกัดทั้ง 2 วิธีที่มีต่อปริมาณผลผลิตและคุณภาพของน้ำมันเมล็ดองุ่น

อุปกรณ์และวิธีการ

1. วัตถุดิบ

กากองุ่นสดพันธุ์ชีราซ (*Vitis vinifera* L. cv Shiraz) จากบริษัท สยาม ไวน์อรี่ จำกัด อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร และเฮกเซน (commercial grade)

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 การเตรียมวัตถุดิบและศึกษาองค์ประกอบของเมล็ดองุ่น

นำกากองุ่นสดที่เหลือหลังจากบีบน้ำสำหรับผลิตไวน์ไปอบไล่ความชื้นทันทีด้วยเครื่องอบลมร้อนแบบถาด (tray dryer) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง บรรจุในถุงกระสอบ เก็บไว้ในถุงกระสอบห่อ จนกว่าจะนำไปใช้ในการทดลอง

แยกเมล็ดองุ่นออกจากเปลือก และก้าน จากนั้นนำเมล็ดองุ่นที่ได้มาบดด้วยเครื่องบดหยาบ (hammer mill) ผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร เก็บตัวอย่างเมล็ดองุ่นที่ผ่านการบดแล้วในถุง บรรจุแบบสุญญากาศ เก็บในที่แห้งและเย็น ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำไปใช้ในการทดลอง

2.2 สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันเมล็ดองุ่นด้วยวิธี ME

ชั่งตัวอย่างผงเมล็ดองุ่น 10 กรัมลงใน Erlenmeyer flask ขนาด 125 มิลลิลิตร เติมตัวทำละลายเฮกเซนตามอัตราส่วนของตัวทำละลายต่อผงเมล็ดองุ่นที่กำหนด ปิดฝา ตั้งที่อุณหภูมิห้อง เมื่อครบเวลาที่ควบคุมแล้วนำมารองของสุญญากาศผ่านกระดาษกรอง (Whatman) เบอร์ 1 เพื่อกรองเอาส่วนที่เป็นของแข็งออก จากนั้นนำไปแยกตัวทำละลายออกจากน้ำมันด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระเหยจนกว่าตัวทำละลายจะหมด กรองสุญญากาศด้วยกระดาษกรอง (Whatman) เบอร์ 113 (สำหรับงานกรองน้ำมันโดยเฉพาะ) และคำนวณหาปริมาณผลผลิต (%yield)

การหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสำหรับวิธีการแช่เพื่อให้ได้ผลผลิตสูงเพียงพอ โดยศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อผงเมล็ดองุ่น กำหนดเป็น 3 ระดับ คือ 2:1, 4:1 และ 6:1 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก และระยะเวลา ในการสกัด กำหนดเป็น 7 ระดับ คือ 1, 3, 5, 10, 15, 30 และ 60 นาที เพื่อเลือกอัตราส่วนการสกัดที่ลดการเปลี่ยนแปลงตัวทำละลาย และยังคงให้ปริมาณผลผลิตสูงเพียงพอ และเลือกอัตราส่วนที่ให้ปริมาณผลผลิตต่ำกว่าหรือประมาณร้อยละ 70 ของปริมาณน้ำมันทั้งหมดในเมล็ดองุ่น เพื่อนำไปปรับปรุงโดยใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด (หัวข้อ 2.3) และดูความเป็นไปได้ในการเพิ่มปริมาณผลผลิตของน้ำมันเมล็ดองุ่นที่สกัดด้วยวิธีการแช่

นำน้ำมันเมล็ดงุ่นที่สกัดได้จากสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับวิธี ME เก็บในขวดสีชาปิดสนิท ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันเมล็ดงุ่นต่อไป

2.3 สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันเมล็ดงุ่นด้วยวิธี UAE

ซึ่งตัวอย่างผงเมล็ดงุ่น 10 กรัมลงในบีกเกอร์ขนาด 300 มิลลิลิตร เติมตัวทำละลายเฮกเซน ตามอัตราส่วนของตัวทำละลายต่อผงเมล็ดงุ่น และระยะเวลาในการสกัดที่สรุปจากการศึกษาในหัวข้อ 2.2 (เป็นส่วนของผลการทดลอง) โดยใช้เครื่องอัลตราโซนิกครุ่น Vibra Cell VC-750 ซึ่งให้คลื่นเสียงความถี่สูง 20 กิโลเฮิร์ตซ์ กำลังไฟฟ้า 750 วัตต์ ผ่านโพรบโลหะ (ultrasonic probe) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร สามารถปรับค่าพลังงานของคลื่นได้ในช่วงร้อยละ 1-100 ของค่าแอมพลิจูด (amplitude) สูงสุด เปิดเครื่องอัลตราโซนิกให้สกัดตามเวลาที่กำหนดในแผนการทดลอง จากนั้นนำไป สกัดต่อโดยการแช่ตั้งทิ้งไว้จนครบเวลากัดทั้งหมด เมื่อครบเวลาที่ควบคุมแล้วนำมากรองสุญญากาศ ระเหยตัวทำละลาย และคำนวณหาปริมาณผลผลิต (%yield)

2.3.1 ค่าแอมพลิจูด (amplitude) ของคลื่นเสียงความถี่สูงที่เหมาะสมสำหรับการสกัดน้ำมันเมล็ดงุ่น

โดยการทดลองใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัดด้วยเฮกเซน ที่อุณหภูมิห้อง ใช้เวลาในการสกัด 15 นาที ปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ ค่าแอมพลิจูด 5 ระดับ คือ ร้อยละ 20, 40, 60, 80, และ 100 (ชุดิมา และคณะ, 2556)

2.3.2 ระยะเวลาที่ใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัดร่วมกับวิธีการแช่

โดยนำสภาวะที่ได้เลือกได้จากการทดลองในหัวข้อ 2.2 คือ อัตราส่วนตัวทำละลายต่อผงเมล็ดงุ่น 2:1 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก และระยะเวลาในการสกัด 15 นาที ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการปรับปรุงการสกัดเพื่อเพิ่มปริมาณผลผลิตด้วยการใช้คลื่นเสียงความถี่สูง ปรับค่าแอมพลิจูดตามที่ได้จากการศึกษาในหัวข้อ 2.3.1 โดยการทดลองใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัดก่อนนำไปสกัดต่อด้วยการแช่ทิ้งไว้ ที่อุณหภูมิห้อง ปัจจัยในการศึกษา ได้แก่ ระยะเวลาที่ใช้คลื่นเสียงความถี่สูงสกัด ซึ่งกำหนดเป็น 6 ระดับ คือ 0, 3, 6, 9, 12, และ 15 นาที จากนั้นนำไปแช่ตั้งทิ้งไว้จนครบเวลาในการสกัดทั้งหมดดัง Figure 1

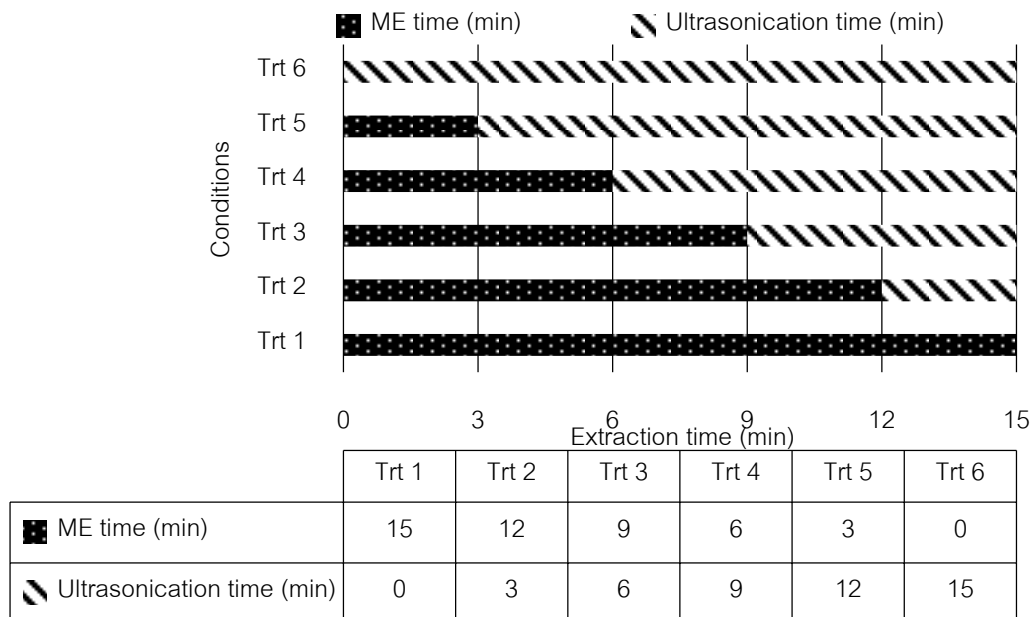


Figure 1 Experiment of ultrasonication time with maceration time for the total extraction time of 15 min.

นำน้ำมันเมล็ดองุ่นที่สกัดได้จากสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับวิธี UAE เก็บในขวดสีชาปิดสนิท ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันเมล็ดองุ่นต่อไป

3. การวิเคราะห์

3.1 วิเคราะห์องค์ประกอบของเมล็ดองุ่นแห้ง

ได้แก่ ปริมาณความชื้น (moisture) ไขมัน (crude fat) โปรตีน (crude protein) เถ้า (ash) เยื่อใย (crude fiber) และ คาร์โบไฮเดรต (crude carbohydrate) ตามวิธี AOAC (2011) 3.2 วิเคราะห์ปริมาณของน้ำมันเมล็ดองุ่นนำน้ำมันเมล็ดองุ่นที่สกัดได้จากวิธีสกัดทั้ง 2 วิธี คือ วิธี ME โดยสกัดตามสภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการทดลองในหัวข้อ 2.2 และ วิธี UAE โดยสกัดตามสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในหัวข้อ 2.3 มาเปรียบเทียบปริมาณผลผลิตน้ำมัน (%yield) และความสามารถในการสกัดน้ำมันได้ (%recovery) นอกจากนี้ยังเปรียบเทียบปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อวิธีการสกัด ได้แก่ อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อผงเมล็ดองุ่น เวลาในการสกัด และอุณหภูมิที่ใช้ โดยปริมาณผลผลิตน้ำมันคำนวณตามสมการ (1)

$$\text{Oil yield (\%db)} = \frac{\text{weigh of oil (g)}}{\text{weigh of dry matter (g)}} \times 100 \quad (1)$$

3.3 วิเคราะห์คุณภาพน้ำมันเมล็ดองุ่น

นำน้ำมันเมล็ดองุ่นที่ได้จากการสกัดทั้ง 2 วิธี วิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำมันเมล็ดองุ่น ได้แก่

3.3.1 วิเคราะห์ความหนืด โดยใช้เครื่อง Brookfield viscometer วัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส, 100 rpm

3.3.2 วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด และกรดไขมันอิสระ (acid value; AV และ free fatty acid value; FFA)

ตามวิธี AOCS (1997)

3.3.3 วิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value; PV) ตามวิธี AOCS (1997)

3.3.4 วิเคราะห์ค่าไอโอดีน (iodine value; IV) วิธีการ Wijs ตามวิธี AOCS (2009)

3.3.5 วิเคราะห์ค่าสaponification value; SV) ตามวิธี AOCS (2009)

4. แผนการทดลอง

4.1 หัวข้อ 2.2 วางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลในบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (3×7 factorial in RCBD) โดยจัดการทดลองเป็น 3 วัน (บล็อก)

4.2 หัวข้อ 2.3.1 วางแผนการทดลองเป็นแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (randomized completed block design; RCBD) โดยจัดการทดลองเป็น 3 วัน (บล็อก)

4.3 หัวข้อ 2.3.2 วางแผนการทดลองเป็นแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (RCBD) โดยจัดการทดลองเป็น 3 วัน (บล็อก)

4.4 หัวข้อ 3.1, 3.2 และ 3.3 วางแผนการทดลองเป็นแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design; CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติสำเร็จรูป โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance; ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยผลการทดลองด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ยกเว้นหัวข้อ 3.2 และ 3.3 ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของผลการทดลองด้วย T-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. องค์ประกอบของเมล็ดองุ่น

การวิเคราะห์องค์ประกอบของเมล็ดองุ่นพันธุ์ชirazที่ใช้ในงานวิจัยนี้พบว่าปริมาณของน้ำมันร้อยละ 13.61 และมีปริมาณความชื้น โปรตีน เยื่อใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 4.93, 11.94, 37.32, 2.79 และ 34.35 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Kamel *et al.* (1985) ซึ่งศึกษาน้ำมันเมล็ดองุ่นที่สกัดด้วยตัวทำละลายคลอโรฟอร์ม/เมทานอล (ในอัตราส่วน 2:1, โดยปริมาตร) มีปริมาณของน้ำมันเมล็ดองุ่นร้อยละ 14 และมีปริมาณโปรตีน เยื่อใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 8.2, 38.6, 2.2 และ 37 (โดยน้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ และ Fernandes *et al.* (2013) ได้ศึกษาลักษณะของน้ำมันเมล็ดองุ่นจากองุ่น 10 สายพันธุ์ของประเทศโปรตุเกส สกัดด้วยตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ พบว่าปริมาณน้ำมันอยู่ในช่วงร้อยละ 6-13 โดยขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ขององุ่น และสภาพแวดล้อมของแหล่งที่ปลูกองุ่น

Table 1 Proximate composition of dry grape seed (*Vitis vinifera* cv Shiraz).

Constituent	Percent wet weight basis (%wb)	Percent dry weight basis (%db)
Moisture content	4.70 ± 0.04	4.93 ± 0.04
Protein content	11.38 ± 0.17	11.94 ± 0.18
Oil content	12.96 ± 0.12	13.61 ± 0.13
Fiber content	35.56 ± 0.65	37.32 ± 0.68
Ash content	2.66 ± 0.03	2.79 ± 0.03
Carbohydrate content	32.74 ± 0.00	34.35 ± 0.00

Each data represents the mean of three replicates (±SD).

2. ผลของสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันเมล็ดองุ่นด้วยวิธี ME

จาก Table 2 แสดงผลของอัตราส่วนของตัวทำละลายต่อผงเมล็ดองุ่นและระยะเวลาในการสกัดด้วยวิธี ME ที่มีต่อปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดองุ่น พบว่าทั้ง 2 ปัจจัย คือ อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อผงเมล็ดองุ่น และเวลาที่ใช้ในการสกัด มีผลต่อปริมาณผลผลิตน้ำมัน ($p \geq 0.05$) โดยที่อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อผงเมล็ดองุ่นมากหรือปริมาณตัวทำละลายในการสกัดมาก จะทำให้สามารถสกัดน้ำมันออกมาได้มากกว่า เพราะตัวทำละลายจะสามารถแพร่เข้าไปในของแข็งได้ง่ายขึ้น เพื่อละลายเอาตัวถูกละลายออกมา (Zhang *et al.*, 2008; Goula, 2013) ซึ่งในที่นี้คือน้ำมัน และตัวถูกละลายจะแพร่ออกมาจากของแข็งที่อิมัลชันด้วยตัวทำละลายไปยังเฟสของตัวทำละลาย ทั้งนี้อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อของแข็งต้องมากพอ ที่จะทำให้ระดับของตัวถูกละลายที่ต้องการละลายออกมา สมดุลที่เกิดขึ้นจะเป็นสภาวะที่ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในเฟสของของแข็งและเฟสของตัวทำละลายเท่ากัน ดังนั้นความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายที่อยู่ในของแข็งจะเท่ากับ ในเฟสของของเหลวหรือตัวทำละลาย แต่เมื่อปริมาณของตัวทำละลายไม่เพียงพอต่อการละลายตัวถูกละลายทั้งหมดที่มีอยู่ สมดุลจะพิจารณาว่าเป็นสภาวะที่ความเข้มข้นของตัวถูกละลาย ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอีกต่อไปในทั้งสองเฟส ไม่ว่าจะเป็นการสัมผัสที่นานขึ้นก็ตาม แต่เพื่อให้สมดุลเกิดขึ้นจำเป็นต้องให้เฟสของแข็งและตัวทำละลายได้สัมผัสกันเป็นเวลานานพอ (Jadhav *et al.*, 2009) ดังนั้นอัตราส่วนของตัวทำละลายต่อของแข็งถือเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพในกระบวนการสกัด (Pinelo *et al.*, 2005) Table 2 จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดจะทำให้ปริมาณผลผลิตมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเวลาที่ใช้ในการสกัดจะต้องใช้เวลาที่เหมาะสม เพื่อให้ตัวทำละลายสามารถสกัดน้ำมันออกมาให้ได้มากที่สุด หรือในปริมาณที่เพียงพอ นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณตัวทำละลาย จะทำให้ปริมาณผลผลิตเพิ่มสูงขึ้น โดยที่อัตราส่วนตัวทำละลายต่อผงเมล็ดองุ่นเท่ากับ

4:1 และ 6:1 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก ให้ปริมาณผลผลิตสูงกว่าที่อัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก ในทุกระยะเวลาการสกัด แต่ผลการวิเคราะห์ปัจจัยร่วมพบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราส่วนตัวทำละลายต่อผงเมล็ดองุ่นและระยะเวลาในการสกัดต่อปริมาณผลผลิตน้ำมัน ($p>0.05$)

ผลการทดลองใน Table 2 พบว่าปริมาณผลผลิตน้ำมันที่ได้จากวิธี ME อยู่ในช่วงร้อยละ 8.34-11.31 โดยน้ำหนักแห้ง และพบว่าปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดองุ่นที่อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อผงเมล็ดองุ่นเท่ากับ 6:1, 4:1 และ 2:1 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) โดยการสกัดที่อัตราส่วน 6:1 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก และเวลาสกัด 60 นาที ให้ปริมาณผลผลิตสูงสุดที่สุด คือ ร้อยละ 11.31 โดยน้ำหนักแห้ง และมีความสามารถในการสกัดได้ (%recovery) คิดเป็นร้อยละ 83.10 เมื่อเทียบกับการสกัดด้วยวิธีซอกซ์เลต (ร้อยละ 13.61) ที่เป็นการวิเคราะห์ปริมาณไขมันทั้งหมดซึ่งคิดเป็น ร้อยละ 100 แต่เลือกที่อัตราส่วน 6:1 และเวลาสกัด 30 นาที เพราะให้ผลผลิตไม่แตกต่างจาก 60 นาที และถือว่าการให้ผลผลิตเพียงพอต่อความต้องการ คือ มีความสามารถในการสกัดได้มากกว่าร้อยละ 80 ส่วนที่อัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก พบว่ายังไม่สามารถสกัดได้ผลผลิตสูงเท่ากับที่อัตราส่วน 6:1 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก และมีความสามารถในการสกัดได้อยู่ในช่วงร้อยละ 64-78 ซึ่งยังไม่เพียงพอต่อความต้องการ จึงตั้งสมมติฐานว่า ที่อัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก สามารถนำไปปรับปรุงปริมาณผลผลิตได้โดยใช้วิธี UAE ร่วมกับวิธี ME และคาดว่าจะการใช้เสียงความถี่สูงจะสามารถช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตให้สูงขึ้นได้อีกทั้งสาเหตุที่เลือกอัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก และที่ระยะเวลา ในการสกัดทั้งหมด 15 นาที เพราะสามารถลดการสิ้นเปลืองตัวทำละลายและเวลาในการสกัด

Table 2 Effect of solvent to solid ratio and maceration time on grape seed oil yield (%db).

Maceration time (min)	Oil yield (%db) Solvent to solid ratio (v/w)		
	2:1	4:1	6:1
1	^A 8.34 ± 0.13 ^a	^B 9.04 ± 0.25 ^a	^B 9.43 ± 0.37 ^a
3	^A 8.59 ± 0.16 ^a	^B 9.12 ± 0.26 ^a	^C 9.74 ± 0.51 ^a
5	^A 8.70 ± 0.15 ^a	^B 9.45 ± 0.43 ^{ab}	^B 9.93 ± 0.33 ^{ab}
10	^A 9.50 ± 0.19 ^b	^{AB} 9.78 ± 0.29 ^{bc}	^B 10.20 ± 0.36 ^{bc}
15	^A 9.97 ± 0.13 ^{bc}	^{AB} 10.10 ± 0.15 ^{cd}	^B 10.56 ± 0.45 ^{cd}
30	^A 10.07 ± 0.16 ^c	^A 10.37 ± 0.04 ^{de}	^B 10.92 ± 0.27 ^{de}
60	^A 10.19 ± 0.27 ^c	^B 10.78 ± 0.32 ^e	^C 11.31 ± 0.44 ^e

Each data represents the mean value of three replicates (±SD).

^{A-C} Different letters in the same row mean significant differences ($p\leq 0.05$).

^{a-e} Different letters in the same column mean significant differences ($p\leq 0.05$).

3. ผลของสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันเมล็ดองุ่นโดยใช้วิธี UAE

3.1 ค่าแอมพลิจูดของคลื่นเสียงความถี่สูงที่เหมาะสมสำหรับการสกัดน้ำมันเมล็ดองุ่น

จากผลการทดลองใน Table 3 เป็นการศึกษาค่าแอมพลิจูดของคลื่นเสียงความถี่สูงที่เหมาะสมสำหรับการสกัดน้ำมันเมล็ดองุ่น พบว่าการใช้ระดับแอมพลิจูดต่างกันมีผลต่อปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดองุ่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) โดยปริมาณผลผลิตน้ำมันเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับแอมพลิจูด สามารถอธิบายได้ว่าคลื่นเสียงความถี่สูงที่มีแอมพลิจูดสูงกว่า จะผ่านไปยังของเหลวได้ดีและฟองอากาศที่เกิดจากปรากฏการณ์แคปิลารีเทชันจะแตกอย่างรุนแรง

กว่าซึ่งช่วยในการทำลายเนื้อเยื่อเซลล์และทำให้สารที่อยู่ภายในเซลล์ออกมายังตัวทำละลายได้ง่ายขึ้นเนื่องจากผนังเซลล์ถูกทำลาย นอกจากนี้ยังช่วยให้โมเลกุลของสารผสมเข้ากันได้ดีขึ้นทำให้เพิ่มอัตราการถ่ายเทมวลสาร ดังนั้นจึงเป็นการช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพในการสกัดด้วย (Hemwimol *et al.*, 2006; Zhang *et al.*, 2008) นอกจากนี้ Table 3 ยังทำให้ทราบว่า การใช้ระดับแอมพลิจูดร้อยละ 20-60 ให้ผล ไม่แตกต่างกัน แต่ระดับแอมพลิจูดร้อยละ 80-100 ให้ปริมาณน้ำมันสูงสุด และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังนั้นจึงเลือกค่าแอมพลิจูดที่เหมาะสมสำหรับใช้ในสกัด คือ ร้อยละ 80 เพราะให้ปริมาณผลผลิตสูงเพียงพอ และเนื่องจากการใช้แอมพลิจูดสูงเกินไปทำให้เกิดความร้อนสูงมาก ซึ่งอาจส่งผลต่อสารประกอบต่าง ๆ ในน้ำมันที่ไม่คงทนต่อความร้อนเกิดการสลายตัวได้

Table 3 Effect of amplitude levels (%) on grape seed oil yield (%db).

Amplitude (%)	Oil yield (%db)
20	9.10 ± 0.07 ^a
40	9.35 ± 0.25 ^{ab}
60	9.70 ± 0.33 ^b
80	10.80 ± 0.13 ^c
100	11.03 ± 0.33 ^c

Each data represents the mean value of three replicates (±SD).

^{a-c} Different letters in the same column mean significant differences ($p\leq 0.05$).

3.2 ระยะเวลาที่ใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัดร่วมกับวิธี ME

จากผลการทดลองใน Table 2 ทำให้ทราบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด คือ ที่อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อผงเมล็ดองุ่น 2:1 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก เพื่อเป็นการลดการใช้เฮกเซน ซึ่งจะลดต้นทุนการสกัดน้ำมัน และลดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมได้ และใช้ระยะเวลาในการสกัดทั้งหมด 15 นาที เช่นเดียวกับ Malićanin *et al.* (2014) ที่ศึกษาผลของการใช้คลื่นอัลตราซาวนด์ช่วยสกัดน้ำมันเมล็ดองุ่น โดยต้องการลดปริมาณตัวทำละลายให้น้อยที่สุด เพราะตัวทำละลายอินทรีย์ไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จึงเลือกใช้อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อผงเมล็ดองุ่น 2:1 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก

ผลของเวลาที่ใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัดที่มีต่อปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดองุ่น โดยเวลาในการสกัดทั้งหมด 15 นาที แสดงใน Table 4 พบว่าเวลาที่ใช้คลื่นเสียงความถี่สูงมีผลต่อปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดองุ่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) โดยปริมาณผลผลิตน้ำมันเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการใช้คลื่นเสียงความถี่สูง เนื่องจากคลื่นอัลตราโซนิกทำให้เกิดปรากฏการณ์แควิเทชันในตัวทำละลาย ส่งผลให้ตัวทำละลายแทรกซึมเข้าไปในวัสดุที่นำมาสกัดได้ดียิ่งขึ้น และยังทำให้การผสมได้ผลดีขึ้น โดยจะไปเร่งทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทมวลสาร (mass transfer) เพิ่มสูงขึ้น นอกจากนั้นคลื่นอัลตราโซนิกยังไปทำลายพื้นผิวที่บริเวณผนังเซลล์และภายในเซลล์ทำให้สารที่ต้องการสกัดสามารถออกมาได้ง่ายขึ้นซึ่งแตกต่างกับการสกัดด้วยตัวทำละลายแบบธรรมดา (Hemwimol *et al.*, 2006) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhang *et al.* (2008) ได้สกัดน้ำมันจากเมล็ดแฟลก (flaxseed) พบว่าระยะเวลาในการใช้คลื่นอัลตราโซนิกมีอิทธิพลในเชิงบวกต่อปริมาณผลผลิตน้ำมัน เพราะคลื่นอัลตราโซนิกจะช่วยทำลายเนื้อเยื่อเซลล์ ทำให้เพิ่มพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับตัวทำละลายมากขึ้น สามารถเห็นภาพได้ชัดเจนผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscopy) จึงทำให้เพิ่มอัตราการแพร่จากของแข็งมายังของเหลว ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัด

ผลการทดลองใน Table 4 พบว่าปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดงุ่นอยู่ในช่วงร้อยละ 9.66-11.57 โดยน้ำหนักแห้ง และการใช้คลื่นเสียงความถี่สูง พบว่ามีผลช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตได้เพิ่มขึ้นจากการไม่ใช้คลื่นเสียงความถี่สูง ร้อยละ 5.49, 8.90, 13.66, 15.42 และ 19.77 สำหรับเวลาในการใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัดที่ 3, 6, 9, 12 และ 15 นาที ตามลำดับ โดยที่การใช้คลื่นเสียงความถี่สูงตลอดระยะเวลาสกัด 15 นาทีให้ปริมาณผลผลิตสูงสุดที่สุด คือ ร้อยละ 11.57 โดยน้ำหนักแห้ง และให้ปริมาณผลผลิตที่เพิ่มขึ้นจากการไม่ใช้คลื่นเสียงความถี่สูง (วิธีแช่เพียงอย่างเดียวตลอดระยะเวลาสกัด 15 นาที) สูงถึงร้อยละ 19.77 และมีความสามารถในการสกัดได้ (recovery) ร้อยละ 85.01 ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับวิธีนี้ คือ การสกัดด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง ความถี่ 20 กิโลเฮิร์ตซ์ ค่าแอมพลิจูดร้อยละ 80 ที่อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อผงเมล็ดงุ่น 2:1 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก และใช้คลื่นเสียงความถี่สูงสกัดตลอดระยะเวลา 15 นาที

Table 4 Percentages increased productivity of the yield from UAE compared with ME throughout the extraction time of 15 min.

Extraction time (min)		Oil yield	Oil yield increasing	Recovery
ME	UAE	(%db)	(%)	(% of total oil)
15	0	9.66 ± 0.10 ^a	-	70.99
12	3	10.19 ± 0.18 ^b	5.49	74.88
9	6	10.52 ± 0.07 ^c	8.90	77.31
6	9	10.98 ± 0.08 ^d	13.66	80.69
3	12	11.15 ± 0.11 ^d	15.42	81.91
0	15	11.57 ± 0.10 ^e	19.77	85.01

Each data represents the mean of three extraction replicates (±SD)

^{a-f} Different letters in the same column mean significant differences (p<0.05)

4 ผลของวิธีการสกัดที่มีต่อปริมาณผลผลิตและคุณภาพของน้ำมันเมล็ดงุ่น

4.1 ปริมาณผลผลิตของน้ำมันเมล็ดงุ่น

การเปรียบเทียบปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดงุ่นจากวิธีการสกัด 2 วิธี ได้แก่ วิธี ME และวิธี UAE แสดงใน Table 5 พบว่าวิธี ME เป็นวิธีการสกัดโดยให้ตัวทำละลายละลายน้ำมันออกมาจากของแข็งในภาชนะปิดโดยตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องตามระยะเวลาที่ต้องการ ซึ่งปกติแล้วจะใช้เวลาสกัดนานหลายชั่วโมง แต่ในการทดลองนี้ พบว่าการสกัดที่อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อผงเมล็ดงุ่น 6:1 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก และใช้เวลาในการสกัด 30 นาที ก็ให้ผลเพียงพอต่อความต้องการ คือ มีความสามารถในการสกัดได้มากกว่าร้อยละ 80 เนื่องจากวิธีการนี้ไม่ใช้ความร้อน จึงไม่มีพลังงานไฟฟ้าเข้ามาเกี่ยวข้อง ส่วนวิธี UAE พบว่ามีความสามารถในการสกัดได้ร้อยละ 83.91 เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าทั้งสองวิธีให้ปริมาณผลผลิต ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) นอกจากนี้ยังพบว่าวิธีการนี้สามารถลดปริมาณการใช้ตัวทำละลายได้ถึง 3 เท่า และสามารถลดระยะเวลาในการสกัดได้ถึง 2 เท่าของวิธีการแช่ ถึงแม้ว่าวิธีการนี้จะทำที่อุณหภูมิห้อง แต่ในระหว่างที่คลื่นอัลตราโซนิกทำงานอาจจะเกิดความร้อนขึ้นเล็กน้อย และเนื่องจากวิธีการนี้มีการใช้เครื่องอัลตราโซนิกเป็นแหล่งกำเนิดคลื่น จึงมีการใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมด้วย

Table 5 Comparison of yield and other factors for grape seed oils extracted by ME and UAE methods.

	Extraction methods	
	ME	UAE
Solvent to solid ratio (v/w)	6:1	2:1
Extraction time (min)	30	15
Oil yield (%db) ^{ns}	11.13 ± 0.13	11.42 ± 0.13
Recovery (% of total oil)	81.78	83.91

Each data represents the mean value of three extraction replicates (±SD).

^{ns} mean values in the row are not significant differences ($p > 0.05$).

4.2 คุณภาพของน้ำมันเมล็ดองุ่น

ผลของสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำมันเมล็ดองุ่นที่สกัดด้วยวิธี ME และวิธี UAE แสดงใน Table 6 พบว่ามีค่า ความหนืดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยที่ความหนืดของน้ำมันที่สกัดด้วยวิธี UAE มีค่าสูงกว่าที่สกัดด้วยวิธี ME เล็กน้อย ค่าความเป็นกรดและกรดไขมันอิสระ จากน้ำมันที่สกัดได้จากทั้งวิธี ME และ UAE มีค่า 1.34 และ 1.19 mg KOH/ g ตามลำดับ ถึงแม้ว่าจะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่มีความแตกต่างกันเชิงคุณภาพ มากนัก และพบว่าค่าสูงเกินเกณฑ์มาตรฐาน Codex Alimentarius (1918) มาตรฐานสำนักงานอุตสาหกรรม (2533) และประกาศกระทรวงสาธารณสุข (2543) ซึ่งใช้เกณฑ์เดียวกัน คือ กำหนดให้ไม่เกิน 0.6 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำมัน 1 กรัม ประมาณ 2 เท่า อาจเป็นเพราะยังไม่ได้ผ่านการทำให้บริสุทธิ์โดยการทำให้เป็นกลางด้วยด่างก่อนสอดคล้องกับรายงานของพงษ์ศิริ และวารุณี (2550) ที่สกัดน้ำมันเมล็ดเสาวรสด้วยเฮกเซน ปีโตรเลียมอีเทอร์ และการบีบอัด พบว่ามีค่า 0.75, 1.02 และ 1.22 mg KOH/ g ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานเช่นเดียวกัน และได้กล่าวว่าน้ำมันที่ได้ยังมีค่าเป็นกลางที่เหมาะสมสำหรับเป็นน้ำมันเพื่อการบริโภคได้ หรือนำไปใช้ในงานเครื่องสำอางได้ ส่วนปริมาณกรดไขมันอิสระมีค่าสูงเล็กน้อย (ร้อยละ 0.60-0.67) ซึ่งน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระประมาณร้อยละ 0.5-15 ในรูปกรดโอเลอิกจะเริ่มสังเกตการณ์เห็นได้ (นิธิยา, 2548) ค่าเพอร์ออกไซด์ของน้ำมันที่สกัดได้จากทั้ง 2 วิธี ($2.66 \text{ meq O}_2 / \text{kg oil}$) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน คือ น้ำมันใหม่ (fresh oil) จะมีค่าต่ำกว่า 10 มิลลิสมมูลเพอร์ออกไซด์ออกซิเจนต่อน้ำมัน 1 กิโลกรัม (มอก.47-2533) ค่าไอโอดีนของน้ำมันทั้ง 2 วิธี ($114.17\text{-}114.76 \text{ g I}_2 / 100 \text{ g oil}$) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีค่าใกล้เคียงกับรายงานของจิระวัฒน์ และคณะ (2557) ซึ่งค่าไอโอดีนของน้ำมันเมล็ดองุ่นที่สกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต (SC-CO_2) เท่ากับ $112.41 \text{ g I}_2 / 100 \text{ g oil}$ โดยค่าไอโอดีนเป็นตัวบ่งชี้ว่าน้ำมันมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวหรือจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไตรเอซิลกลีเซอรอลที่ผสมรวมกันอยู่ในน้ำมัน ถ้าค่าไอโอดีนสูงแสดงว่ามีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบมากและจะเกิดการหืนเนื่องจาก oxidative stability ได้ง่าย ส่วนค่าสaponification พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยน้ำมันที่สกัดด้วยวิธี ME และ UAE เท่ากับ 202.62 และ 212.73 mg KOH/ g oil ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างกันในเชิงคุณภาพมากนัก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Akhter *et al.* (2006) ที่สกัดน้ำมันจากเมล็ดองุ่น 6 สายพันธุ์ ด้วยวิธีการเขย่าที่อุณหภูมิห้อง ค่าสaponification อยู่ในช่วง 188.24-210.00 mg KOH/ g oil แสดงให้เห็นว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันเมล็ดองุ่นมีน้ำหนักโมเลกุลใกล้เคียงกันซึ่งค่าสaponification เป็นตัวบ่งชี้ขนาดของโมเลกุลหรือน้ำหนักโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในไตรเอซิลกลีเซอรอล ในน้ำมัน และงานวิจัยของ Abdulkarim *et al.* (2005) รายงาน

ว่าวิธีการสกัดน้ำมันเมล็ดมะรุมด้วยเอนไซม์และการสกัดด้วยวิธีการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ไม่มีความแตกต่างกัน หรืออาจกล่าวได้ว่าวิธีการสกัดที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อค่าสaponification ดังนั้นจากการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมัน พบว่าวิธีการสกัดน้ำมันทั้งสองวิธี ให้ผลของสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำมัน ไม่แตกต่างกันมาก หรืออาจกล่าวได้ว่าวิธีการสกัดไม่มีผลต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำมันเมล็ดองุ่น

Table 6 Physicochemical properties of grape seed oil from different extraction methods.

Physicochemical properties	Extraction methods	
	ME	UAE
Viscosity (cP)	26.13 ± 0.29 ^a	29.67 ± 0.06 ^b
Acid value (mg KOH/ g oil)	1.34 ± 0.02 ^a	1.19 ± 0.00 ^b
Free fatty acid (as % oleic acid)	0.67 ± 0.01 ^a	0.60 ± 0.00 ^b
Peroxide value (meq O ₂ / kg oil) ^{ns}	2.66 ± 1.15	2.66 ± 1.15
Iodine value (g I ₂ / 100 g oil) ^{ns}	114.17 ± 0.71	114.76 ± 0.63
Saponification value (mg KOH/ g oil)	202.62 ± 0.19 ^a	212.73 ± 0.62 ^b

Each data represents the mean of three extraction replicates (±SD).

^{a-b} Different letters in the same row mean significant differences (p≤0.05).

^{ns} mean values in the row are not significant differences (p>0.05).

สรุปผลการวิจัย

เมล็ดองุ่นพันธุ์ราชมีปริมาณน้ำมันทั้งหมดร้อยละ 13.61 โดยน้ำหนักแห้ง เมื่อนำมาสกัดน้ำมันเมล็ดองุ่นในสภาวะที่เหมาะสมด้วยวิธี ME ที่อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อผงเมล็ดองุ่นเท่ากับ 6 ต่อ 1 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก ใช้เวลาในการสกัด 30 นาที ให้ปริมาณผลผลิตร้อยละ 11.13 โดยน้ำหนักแห้ง และวิธี UAE ที่ความถี่ 20 กิโลเฮิร์ตซ์ กำลังไฟฟ้า 750 วัตต์ค่าแอมพลิจูดร้อยละ 80 โดยใช้อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อผงเมล็ดองุ่นเท่ากับ 2 ต่อ 1 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก และใช้คลื่นเสียงความถี่สูงสกัดตลอดระยะเวลา 15 นาที ให้ปริมาณผลผลิตร้อยละ 11.42 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งทั้งสองวิธีมีความสามารถในการสกัดประมาณร้อยละ 80 ของปริมาณน้ำมันทั้งหมด ในการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมัน โดยพิจารณาสมบัติทางเคมีกายภาพ ได้แก่ ค่าความหนืด ค่าเพอร์ออกไซด์ ค่าไอโอดีน และค่าสaponification อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันบริโภค แต่ยังมีค่าความเป็นกรดและค่ากรดไขมันอิสระสูงเกินมาตรฐานเนื่องจากน้ำมันเมล็ดองุ่นที่สกัดในการศึกษานี้เป็นน้ำมันดิบ (crude oil หรือ unrefined oil) จึงต้องผ่านการทำให้บริสุทธิ์ (refine) โดยการทำให้เป็นกลางด้วยด่างก่อนจะนำไปบริโภค และพบว่าน้ำมันที่สกัดทั้งสองวิธีมีค่าเหล่านี้แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย การใช้เสียงความถี่สูงช่วยสกัดเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมันเมล็ดองุ่น โดยจะช่วยลดปริมาณการใช้ตัวทำละลายได้ถึง 3 เท่า และลดระยะเวลาในการสกัดได้ถึง 2 เท่าของวิธีการแช่ ดังนั้นการใช้คลื่นเสียงความถี่สูงหรืออัลตราโซนิกจึงเป็นอีกหนึ่งเทคโนโลยีทางเลือกสำหรับกระบวนการสกัดน้ำมัน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดินประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2559 คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงสาธารณสุข. 2543. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับ 205 พ.ศ.2543 เรื่อง น้ำมันและไขมัน.
- จิระวัฒน์ เขียมวัฒน์ ปารมี เฟิงปรีชา ภัทรนันท์ กมลนัทร และ กนกวรรณ ไพรรพนาพงศ์. 2557. การสกัดและลักษณะน้ำมันจากเมล็ดองุ่นไทย ที่สกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือสภาวะวิกฤต. ว.วิทย์.เกษตร. 45(2)(พิเศษ): 157-160.
- ชุติมา วันเพ็ญ บุษราภรณ์ งามปัญญา พิมพ์ชนก จตุรพิริย และ ปราโมทย์ คูวิจิตรจากร. 2556. ผลของการพรีทรีตเมนต์ด้วยอัลตราซาวด์ต่อการสกัดอินูลินจากหัวแก่นตะวัน. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. 36: 249-258.
- นิธิยา รัตนานนท์. 2548. วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ. 256 น.
- พงษ์ศิริ วินิจัย และ วาฤทธิ์ ธนะพลย์. 2550. การศึกษาวิธีการสกัดและการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีในน้ำมันเมล็ดเสาวรส. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. หน้า 664-672.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2533. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำมันและไขมันสำหรับบริโภค. มอก.47-2533.
- Abdullah, M. and A.B. Koc. 2013. Kinetic of ultrasound-assisted oil extraction from black seed (*Nigella Sativa*). J Food Process Preserv. 37: 814-823.
- Akhter, H., Hamid, S. and Bashir, R., 2006. Variation in lipid composition and physico-chemical constituent among six cultivars of grape seeds. J Chem Soc Pakistan. 28(1): 97-100.
- AOAC. 2011. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 19th ed. Association of Official Analytical Chemists Inc., Arlington, Virginia.
- AOCS. 1997. Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society 5th ed. Champaign Illinois, USA.
- AOCS. 2009. Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society 6th ed. Champaign Illinois, USA.
- Bail, S., G. Stuebiger, S. Krist, H. Unterweger and G. Buchbauer. 2008. Characterisation of various grape seed oils by volatile compounds, triacylglycerol composition, total phenols and antioxidant capacity. Food Chem. 108: 1122-1132.
- Baumann, A.R., S.E. Martin and H. Feng. 2005. Power ultrasound treatment of *Listeria monocytogenes* in apple cider. J Food Prot. 11: 2333-2340.
- Codex alimentarius, 1981. Food standard codex.19 -1981.
- Fernandes, L., S. Casal, R. Cruz, J.A. Pereira and E. Ramalhosa. 2013. Seed oils of ten traditional Portuguese grape varieties with interesting chemical and antioxidant properties. Food Res Int. 50: 161-166.
- Goula, A.M. 2013. Ultrasound-assisted extraction of pomegranate seed oil - Kinetic modeling. J Food Eng. 117: 492-498.
- Hemwimol, S., P. Pavasant and A. Shotipruk. 2006. Ultrasound-assisted extraction of anthraquinones from roots of *Morinda citrifolia*. Ultrason Sonochem. 13: 543-548.
- Jadhav, D., R. B.N, P.R. Gogate, and V.K. Rathod. 2009. Extraction of vanillin from vanilla pods: A comparison study of conventional soxhlet and ultrasound assisted extraction. J Food Eng. 93: 421-426.
- Kamel, B., H. Dawson and Y. Kakuda. 1985. Characteristics and composition of melon and grape seed oils and cakes. J Am Oil Chem Soc. 62: 881-883.
- Malićanin, M., V. Rac, V. Antić, M. Aćnti, L.M. Palade, P. Kefalas and V. Rakić. 2014. Content of antioxidants, antioxidant capacity and oxidative stability of grape seed oil obtained by ultrasound assisted extraction. J Am Oil Chem Soc. 91: 989-999.
- Mason, T.J. 1998. Power ultrasound in food processing—The way forward, pp.105-126. In M.J.W. Povey and T.J. Mason, eds. Ultrasound in Food Processing. Blackie Academic and Professional, London. 282p.
- Matthäs, B. 2008. Virgin grape seed oil: Is it really a nutritional highlight?. Eur J Lipid Sci Tech. 110: 645-650.
- Pinelo, M., M. Rubilar, M. Jerez, J. Sineiro and M.J. Núñez. 2005. Effect of solvent, temperature, and solvent-to-solid ratio on the total phenolic content and antiradical activity of extracts from different components of grape pomace. J Agric Food Chem. 53: 2111-2117.

-
- Vayupharp, B. and V. Laksanalamai. 2012. Recovery of antioxidants from grape seeds and its application in fried food. J Food Process Technol. 3: 152.
- Zhang, Z.-S., L.-J. Wang, D. Li, S.-S. Jiao, X.D. Chen and Z.-H. Mao. 2008. Ultrasound-assisted extraction of oil from flaxseed. Sep Purif Technol. 62: 192-198.