



สารสกัดน้ำจากแก่้นตะวัน : การสกัดและการใช้ทดแทนน้ำมันในระบบอิมัลชันจำลอง

Water-Soluble Jerusalem Artichoke Extracts : Extraction and

Use as Oil Substitutes in an Emulsion Model

สุภักชนม์ คล่องดี* และ วราภรณ์ ประเสริฐ

Supakchon Klongdee* and Waraporn Prasert

ฝ่ายกระบวนการผลิตและแปรรูป สถาบันคั้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ประเทศไทย

Department of Food Processing and Preservation, Institute of Food Research and Product Development,

Kasetsart University, Thailand

Received : 24 April 2024, Received in revised form : 28 May 2024, Accepted : 28 May 2024

Available online : 1 July 2024

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์และที่มา : แก่นตะวันเป็นพืชหัวที่มีอินูลินเป็นองค์ประกอบ ซึ่งอินูลินมีคุณสมบัติเป็นใยอาหารแบบพรีไบโอติกที่ช่วยลดการสังเคราะห์ไขมันและป้องกันการเกิดโรคต่างๆ ในการสกัดอินูลินจากแก่นตะวันมีปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพของสารสกัดที่ได้ เช่น เวลาในการสกัด อัตราส่วนระหว่างตัวทำละลายและวัตถุดิบ อุณหภูมิในการสกัด เป็นต้น ดังนั้นการเลือกสภาวะในขั้นตอนการสกัดที่เหมาะสมจึงเป็นเรื่องสำคัญ สารสกัดที่มีอินูลินเป็นองค์ประกอบสามารถนำไปใช้ทดแทนน้ำมันในผลิตภัณฑ์อาหารระบบอิมัลชันได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาการเตรียมสารสกัดน้ำจากแก่นตะวันและนำมาใช้ทดแทนน้ำมันในระบบอิมัลชัน

วิธีดำเนินการวิจัย : ในงานวิจัยนี้ศึกษาผลของการเตรียมสารสกัดน้ำจากแก่นตะวันด้วยการใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิแตกต่างกัน (80 และ 100 องศาเซลเซียส) และใช้อัตราส่วนแก่นตะวันและน้ำร้อนต่างกัน (1:1 และ 1:1.5) ที่มีต่อค่าดัชนีการดูดซับน้ำและน้ำมัน และดัชนีการละลายน้ำ จากนั้นนำสารสกัดจากแก่นตะวันที่ทำแห้งและบดเป็นผงมาใช้ทดแทนน้ำมันถั่วเหลืองในระบบอิมัลชัน 2 ชนิด คือ อิมัลชันชนิดปริมาณน้ำมันต่ำ (น้ำมันร้อยละ 10) ที่อัตราส่วนการทดแทนน้ำมันร้อยละ 0, 2, 4 และ 6 และอิมัลชันชนิดปริมาณน้ำมันสูง (น้ำมันร้อยละ 75) ที่อัตราส่วนการทดแทนน้ำมันร้อยละ 0, 2.5, 5 และ 7.5 โดยศึกษาขนาดอนุภาคและสมบัติวิทยากระแสของระบบอิมัลชัน

ผลการวิจัย : ผลการวิจัยพบว่า การสกัดแก่นตะวันด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิและอัตราส่วนของแก่นตะวันต่อน้ำที่แตกต่างกันส่งผลให้สารสกัดมีค่าดัชนีการดูดซับน้ำ (3.58-3.99 g/g) และค่าดัชนีการดูดซับน้ำมัน (2.04-2.10 g/g) ดัชนีการละลายน้ำ (ร้อยละ 56.23-59.53) และร้อยละของผลได้ (ร้อยละ 11.48-13.46) ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่สารสกัดน้ำจากแก่นตะวันที่สกัดด้วยน้ำร้อน 100 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนของแก่นตะวันต่อน้ำเท่ากับ 1:1.5 มีร้อยละของผลได้มากที่สุด (ร้อยละ 13.46 $\pm$ 1.75) และมีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด (ร้อยละ 5.12 $\pm$ 0.41) ($P<0.05$) สภาวะการสกัดดังกล่าวจึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแก่นตะวัน จากนั้นนำสารสกัดจากแก่นตะวันไปทดแทนน้ำมันในระบบอิมัลชัน พบว่าตัวอย่างอิมัลชัน

ทั้ง 2 ชนิด แสดงผลที่คล้ายคลึงกัน โดยเมื่อเพิ่มปริมาณสารสกัดแก่ต้นอิมัลชันจะมีขนาดอนุภาคลดลงและมีความหนืดเพิ่มมากขึ้น ยกเว้นในตัวอย่างอิมัลชันชนิดปริมาณน้ำมันต่ำที่ปริมาณสารสกัดแก่ต้นที่ร้อยละ 2 มีขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้น อิมัลชันชนิดปริมาณน้ำมันต่ำมีพฤติกรรมการไหลแบบนิวโตเนียน ส่วนอิมัลชันชนิดปริมาณน้ำมันสูงมีพฤติกรรมการไหลแบบ shear thinning การเพิ่มอัตราส่วนสารสกัดน้ำจากแก่นตะวันไม่ส่งผลต่อพฤติกรรมการไหลของตัวอย่างอิมัลชันแต่ส่งผลต่อความหนืดที่เพิ่มขึ้น

สรุปผลการวิจัย : สารสกัดน้ำจากแก่นตะวันที่สกัดด้วยน้ำร้อนสามารถนำไปใช้ทดแทนน้ำมันในระบบอิมัลชันได้ โดยปริมาณสารสกัดแก่ต้นที่ที่เหมาะสม คือร้อยละ 6 และร้อยละ 2.5 สำหรับระบบอิมัลชันชนิดปริมาณน้ำมันต่ำ และชนิดปริมาณน้ำมันสูง ตามลำดับ

คำสำคัญ : สารสกัดหยาบแก่นตะวัน ; การสกัด ; อิมัลชัน ; ขนาดอนุภาค ; สมบัติทางวิทยากระแส

Abstract

Background and Objectives : Jerusalem artichoke is a tuberous plant that contains inulin as a component. Inulin has a prebiotic dietary fiber property that helps lower carcinogen formation and inhibit the development of various diseases. In the inulin extraction from the Jerusalem artichoke tuber, there are important variables that influence the amount and quality of the extract, such as extraction time, the ratio of solvent to raw materials, extraction temperature, and others. Therefore, selecting the appropriate conditions for the extraction process is important. Inulin-containing extracts can be used as an oil substitute in food emulsion systems. Hence, this study aims to investigate the water-soluble extraction process from Jerusalem artichoke and its application as an oil substitute in emulsion systems.

Methodology : This study investigated the effect of extracting water-soluble extracts from Jerusalem artichoke using hot water at varying temperatures (80 and 100 °C) and different ratios of Jerusalem artichoke to hot water (1:1 and 1:1.5) on the water and oil absorption index, as well as the water solubility index. Then, dried and ground Jerusalem artichoke extract was used to replace soybean oil in two types of emulsion systems: a low-oil content emulsion (10% oil) with oil replacements of 0, 2, 4, and 6%, and a high-oil content emulsion (75% oil) with oil replacements of 0, 2.5, 5, and 7.5%. The particle size and rheological properties of each emulsion system were studied.

Main Results : The results indicated that the extraction of Jerusalem artichoke using different hot water temperatures and ratios of Jerusalem artichoke to water had no significantly different effect on the water absorption index (3.58–3.99 g/g), oil absorption index (2.04–2.10 g/g), water solubility index (56.2–59.53%), and yield (11.48–13.46%). However, the water-soluble extract that was extracted using hot water at 100 °C and the ratio of Jerusalem artichoke to water being 1:1.5 showed the highest yield (13.46±1.75%) and the lowest moisture content (5.12±0.41%)

($P < 0.05$). Thus, these were the appropriate conditions for the Jerusalem artichoke extraction process. Then, the extract was used as an oil replacement in emulsion systems. The results for both emulsion types were similar. Increasing the quantity of extract caused the particle size tend to decrease while the viscosity increased, except for the low-oil emulsion with 2% Jerusalem artichoke extract, whose particle size increased. Emulsions with low oil concentrations exhibited Newtonian flow characteristics, whereas emulsions with high oil content show shear-thinning flow behavior. Increasing a water-soluble extract from the Jerusalem artichoke tuber did not change the flow characteristics of the emulsion samples, but it did lead to an increase in viscosity.

Conclusions : Hot-water Jerusalem artichoke extract could be used as an oil replacement in emulsion systems. The optimal amount of the extract was 6 and 2% for low- oil content emulsions and high- oil content emulsions, respectively.

Keywords : water soluble extract ; extraction ; emulsion ; particle size ; rheological properties

*Corresponding author. E-mail : ifrsck@ku.ac.th

บทนำ

ปัจจุบันกระแสของผู้บริโภคที่หันมาใส่ใจในเรื่องสุขภาพมีมากขึ้น อาหารเพื่อสุขภาพหรืออาหารเชิงหน้าที่ (Functional food) จึงมีบทบาทมากขึ้นในอุตสาหกรรมอาหาร แก่นตะวันเป็นพืชที่กำลังเป็นที่นิยมในผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพ เนื่องจากส่วนหัวของแก่นตะวันมีอินูลินเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณร้อยละ 63-75.5 โดยน้ำหนักแห้ง (Saengkanuk *et al.*, 2011) แก่นตะวันเป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดในแถบทวีปอเมริกาเหนือ ในต่างประเทศมีการปลูกอย่างแพร่หลายเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอินูลิน การใช้ประโยชน์ของหัวแก่นตะวันนั้นเนื่องจากในหัวแก่นตะวันเป็นแหล่งของอินูลิน ซึ่งเป็นโพลีเมอร์ของฟรุคโตส (Fructose) โดยมีองค์ประกอบของน้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 10-20 ของน้ำหนักสด โดยมีส่วนประกอบของฟรุคโตสเป็นหลักอยู่ร้อยละ 75-98 จึงสามารถใช้เป็นแหล่งในการผลิตน้ำตาลฟรุคโตส เพื่อใช้เป็นสารให้ความหวานในอุตสาหกรรมอาหาร นอกจากนี้หัวสดยังสามารถนำมารับประทานสดได้ โดยอินูลินเป็นสารโพลีแซคคาไรด์ที่พืชเก็บไว้เป็นอาหาร ซึ่งเป็นโมเลกุลขนาดเล็กอยู่ในกลุ่มของโอลิโกฟรุคโตส อินูลินมีคุณสมบัติในการเป็นใยอาหารแบบพรีไบโอติก (Prebiotic) ช่วยลดการสร้างสารก่อมะเร็ง ช่วยในการดูดซึมแร่ธาตุ ป้องกันการเกิดโรคต่างๆ และลดการย่อยอาหาร (Delzenne *et al.*, 2005) การใช้ประโยชน์อินูลินที่สำคัญอีกแนวทางหนึ่งคือ ใช้เป็นสารทดแทนไขมันหรือน้ำมันในผลิตภัณฑ์อาหารหลายประเภท อาทิเช่น ไอศกรีม ไขมันเทียม ขนมปัง เป็นต้น (Akalin & Erişir, 2008; Akin *et al.*, 2007; Archer *et al.*, 2004; Devereux *et al.*, 2003; El-Nagar *et al.*, 2002; Tárrega & Costell, 2006) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นอาหารในระบบอิมัลชัน คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่มีการทดแทนน้ำมันที่ดีคือ ยังคงมีลักษณะปรากฏ ลักษณะเนื้อสัมผัส และรสชาติที่คล้ายคลึงกับผลิตภัณฑ์ก่อนการทดแทนน้ำมัน ซึ่งอินูลินสามารถให้ลักษณะที่เป็นความรู้สึกในปากและลำคอ (Mouth feel) ในผลิตภัณฑ์จากนมที่มีการทดแทนน้ำมัน และให้

ความชุ่มฉ่ำในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกไขมันต่ำ ซึ่งอินูลินใช้สมบัติการเกิดเจลและความหนืดเป็นตัวช่วยให้เกิดความคงตัวในระบบอิมัลชันที่มีการทดแทนไขมัน (El-Nagar *et al.*, 2002; Franck, 2002)

การใช้สารทดแทนไขมันในระบบอิมัลชันควรใช้ในปริมาณที่เหมาะสมเพราะอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านกายภาพและด้านวิทยาการะแสของระบบอิมัลชัน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้อาจส่งผลกระทบต่อลักษณะปรากฏและการยอมรับของผู้บริโภคได้ จากเหตุข้างต้นจึงมีความสนใจศึกษาการใช้สารสกัดน้ำจากแก่นตะวันมาใช้เป็นสารทดแทนไขมันในระบบอิมัลชันที่มีปริมาณไขมันต่ำและสูง ซึ่งใช้เป็นรูปแบบของอาหารอิมัลชันที่พบได้ทั่วไป อาทิเช่น ผลิตภัณฑ์นมหรือเครื่องดื่มที่มีปริมาณไขมันหรือน้ำมันในระบบอิมัลชันต่ำ และมายองเนส น้ำสลัดที่เป็นอาหารอิมัลชันที่มีปริมาณไขมันหรือน้ำมันสูง โดยระบบอิมัลชันยังคงมีความคงตัวที่ดี มีลักษณะทางกายภาพและสมบัติด้านวิทยาการะแสที่ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ก่อนการทดแทนไขมันหรือน้ำมัน องค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

วิธีดำเนินการวิจัย

ศึกษาการสกัดสารสกัดน้ำจากแก่นตะวัน

แก่นตะวันที่ศึกษาในครั้งนี้เป็นสายพันธุ์ JA 2 (สถานีวิจัยกาญจนบุรี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์) นำแก่นตะวันมาล้างทำความสะอาด ปอกเปลือกและหั่นเป็นชิ้นขนาดเล็ก จากนั้นนำมาปั่นด้วยเครื่องปั่น (Waring blender, Waring Products, Torrington, Conn., USA) กับน้ำที่อุณหภูมิ 80 และ 100 องศาเซลเซียส และควบคุมอุณหภูมิในการสกัดให้ได้ตามอุณหภูมิดังกล่าวนาน 20 นาที โดยใช้อัตราส่วนระหว่างแก่นตะวันและน้ำ 1:1 และ 1:1.5 นำตัวอย่างที่ได้มาทำการปั่นเหวี่ยง (Sorvall Legend X1R, Thermo Fisher Scientific, MA, USA) ที่ 3000 g นาน 10 นาที นำส่วนใสที่ได้มาทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (Memmert, Germany) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง และทำการบดให้เป็นผง (ขนาด 80 mesh) นำตัวอย่างสารสกัดน้ำจากแก่นตะวันที่ได้มาทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพ

ร้อยละของผลได้ (%yield)

คำนวณร้อยละผลได้ของสารสกัดน้ำจากห้วแก่นตะวันโดยการเปรียบเทียบน้ำหนักของสารสกัดที่ได้ภายหลังจากการทำแห้งและน้ำหนักเริ่มต้นของห้วแก่นตะวันที่ใช้ในการสกัด และคำนวณเป็นร้อยละของผลได้

$$\text{ร้อยละของผลได้} = \frac{\text{น้ำหนักของสารสกัดที่ผ่านการทำแห้ง} \times 100}{\text{น้ำหนักห้วแก่นตะวันก่อนการสกัด}} \quad (1)$$

ปริมาณความชื้น

โดยใช้วิธี AACC Standard Approved Methods (1995) ซึ่งนำน้ำหนักตัวอย่าง 2 กรัม ใส่ในถ้วยอลูมิเนียมพร้อมฝาที่ทราบน้ำหนักคงที่แล้ว นำไปเข้าตู้อบลมร้อน (Memmert, Germany) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมงหรือ

จนกว่าน้ำหนักคงที่ นำออกมาใส่ในโถดูดความชื้น 1 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนัก นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาร้อยละของความชื้น (%wet basis)

$$\text{ร้อยละความชื้น} = \frac{(W1 - W2) \times 100}{\text{น้ำหนักสารสกัดเริ่มต้น}} \quad (2)$$

W1 คือ น้ำหนักถ้วยอบ + น้ำหนักสารสกัดก่อนอบ

W2 คือ น้ำหนักถ้วยอบ + น้ำหนักสารสกัดหลังอบ

วิเคราะห์ค่าความหนาแน่นรวม (Bulk density)

ดัดแปลงตามวิธีของ Sablania *et al.* (2018) นำตัวอย่างสารสกัดจำนวน 1 กรัม ใส่ลงในกระบอกตวงที่ทราบปริมาตรที่แน่นอน ขนาดปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากนั้นสังเกตถึงปริมาตรของตัวอย่างในกระบอกตวง คำนวณค่าความหนาแน่นรวมจากค่าน้ำหนักของสารสกัดต่อปริมาตรที่สังเกตได้ (Sablania *et al.*, 2018)

วิเคราะห์ดัชนีการละลายน้ำ (Water solubility index: WSI) และดัชนีการดูดซับน้ำ (Water absorption index: WAI)

ตามวิธีของ Anderson *et al.* (1969) ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 2.5 กรัม ลงในหลอดหมุนเหวี่ยงขนาด 50 มิลลิลิตร ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน เติมน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน โดยคนทุก 5 นาที นาน 30 นาที นำหลอดไปปั่นเหวี่ยง (Sorvall Legend X1R, Thermo Fisher Scientific, MA, USA) ที่ 3000 g นาน 10 นาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แยกส่วนใสและส่วนตะกอนด้านล่าง ดูดส่วนใสตอนบนใส่ในถ้วยออลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนักแน่นอน โดยดูดน้ำส่วนใสให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ นำไปเข้าตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ประมาณ 3 ชั่วโมงหรือจนกว่าน้ำหนักจะคงที่ บันทึกน้ำหนักไว้ ส่วนตะกอนนั้นนำไปชั่งน้ำหนักให้ทราบค่าที่แน่นอน

$$\text{ดัชนีการละลายน้ำ (WSI)} = \frac{\text{น้ำหนักส่วนที่ละลายที่ผ่านการอบแห้ง} \times 100}{\text{น้ำหนักสารสกัดเริ่มต้น}} \quad (3)$$

$$\text{ดัชนีการดูดซับน้ำ (WAI)} = \frac{\text{น้ำหนักหลอดหมุนเหวี่ยงพร้อมตะกอน} - \text{น้ำหนักหลอดหมุนเหวี่ยง}}{\text{น้ำหนักสารสกัดเริ่มต้น}} \quad (4)$$

ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (Oil absorption capacity : OAC)

ดัดแปลงวิธีของ Chandra *et al.* (2015) ชั่งน้ำหนักสารสกัด 1 กรัม ลงในหลอดหมุนเหวี่ยงขนาด 50 มิลลิลิตร ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน เติมน้ำมันข้าวโพด 10 มิลลิลิตร ผสมเข้าด้วยกันด้วย vortex mixer นาน 30 วินาที ในทุก 5 นาที

จนครบ 30 นาที นำหลอดไปหมุนเหวี่ยงที่ 4000 รอบต่อนาที นาน 20 นาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จากนั้นแยกส่วนน้ำมันออกจากหลอด ซึ่งน้ำหนักส่วนตะกอนที่ได้

$$\text{ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (OAC)} = \frac{\text{น้ำหนักหลอดหมุนเหวี่ยงพร้อมตะกอน} - \text{น้ำหนักหลอดหมุนเหวี่ยง}}{\text{น้ำหนักสารสกัดเริ่มต้น}} \quad (5)$$

วัดค่าสี

ทำการวัดสีโดยใช้เครื่องวัดสี Spectraflash 600 plus (Datacolor International, USA) บันทึกค่าสี L^* , a^* และ b^* ในระบบ CIE Lab โดยค่า L^* คือค่าความสว่าง (0= สีดำ, 100= สีขาว) ค่า a^* คือค่าสีแดง-เขียว (+ = สีแดง, - = สีเขียว) และค่า b^* คือค่าสีเหลือง-น้ำเงิน (+ = สีเหลือง, - = สีน้ำเงิน) และค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ที่คำนวณจากความแตกต่างในทุกค่าสีรวมกันระหว่างตัวอย่างสองตัวอย่างที่ทำการเปรียบเทียบ (Kovacevic *et al.*, 2021)

$$\text{ความแตกต่างของสี } (\Delta E) = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (6)$$

วิเคราะห์ปริมาณ Fructans และ Fructooligosaccharides (FOS)

วิเคราะห์ด้วย High temperature gas chromatography ดัดแปลงวิธีตาม AOAC method 997 .08 (2005)

ศึกษาการใช้สารสกัดน้ำจากแก่นตะวันทดแทนน้ำมันในระบบอิมัลชัน

เตรียมอิมัลชันต้นแบบ ชนิดปริมาณน้ำมันต่ำ (ร้อยละ 10) นำน้ำมันถั่วเหลืองร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก สารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์ pH 3 ความเข้มข้น 100 มิลลิโมล และใช้เลซิทีน (บริษัท กรุงเทพเคมี จำกัด, กรุงเทพมหานคร) เป็นอิมัลซิฟายเออร์ ร้อยละ 2 ทดแทนน้ำมันในระบบด้วยการเติมสารสกัดน้ำจากแก่นตะวันที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2, 4 และ 6 ของปริมาณทั้งหมด โดยแทนที่ในส่วนปริมาณน้ำมันถั่วเหลืองในอิมัลชัน กวนอย่างสม่ำเสมอ 10 นาที แล้วนำไปผ่านเครื่องไฮโมจิไนเซอร์ (T18 Ultra-Turrax, IKA India Pvt., Ltd.) 13,000 รอบต่อนาที นาน 5 นาที เก็บตัวอย่างไว้ที่ห้องอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง นำตัวอย่างอิมัลชันที่ได้มาทำการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคและสมบัติด้านวิทยาการและ

อิมัลชันชนิดชนิดปริมาณน้ำมันสูงเตรียมโดยใช้โปรตีนเวย์เข้มข้น (Whey protein concentrated) (บริษัท วิกกีเอนเตอร์ไพรส์ จำกัด, กรุงเทพมหานคร) ความเข้มข้นร้อยละ 20 เป็นอิมัลซิฟายเออร์ (ร้อยละ 25) น้ำมันถั่วเหลืองร้อยละ 75 และทดแทนน้ำมันในระบบด้วยการเติมสารสกัดน้ำจากแก่นตะวันที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5 และ 7.5 ของปริมาณทั้งหมด ทำการกวนด้วยเครื่องปั่น ((Philips ProMix Hand Blender, Chaina) ความเร็วสูงนาน 10 นาที เก็บตัวอย่างไว้ที่ห้องอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง นำตัวอย่างอิมัลชันที่ได้มาทำการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคเฉลี่ยและสมบัติด้านวิทยาการและ

วิเคราะห์ขนาดของหยดน้ำมัน

นำตัวอย่างอิมัลชันที่ต้องการวิเคราะห์มาวัดขนาดอนุภาคโดยใช้เครื่องวัดขนาดอนุภาค (Mastersizer 2000 Malvern, UK) เตรียมตัวอย่างโดยชั่งตัวอย่าง 4 กรัม ละลายในสารละลายโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (sodium dodecyl sulphate) ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ปริมาณ 600 กรัม (Refractive index 1.461) วัดค่า $d_{4,3}$ โดยใช้หลักการเลี้ยวเบนของแสง โดยขนาดอนุภาคคือค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคในเชิงปริมาตร (De Brouckere mean diameter $d_{4,3}$)

วิเคราะห์ความหนืดและพฤติกรรมการไหล

วัดคุณสมบัติวิทยากระแสน้ำของตัวอย่างอิมัลชันด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์ (rotational rheometer; Physica MCR 301, Anton Paar) นำตัวอย่างอิมัลชันปริมาตร 20 มิลลิลิตร ใส่ลงในกระบอกวัดแบบเดี่ยว (single gap-measuring cylinder : CC27) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ cup และ bob เท่ากับ 28.92 และ 26.66 มิลลิเมตร ตามลำดับ ทำการวัดโดยเพิ่มอัตราการเฉือน (shear rate) 2-300 วินาที⁻¹ ควบคุมอุณหภูมิระหว่างการวัดที่ 25 ± 0.3 องศาเซลเซียส สังเกตและบันทึกค่าความหนืดและความเค้นเฉือน (shear stress) เมื่อเพิ่มอัตราการเฉือน นำค่าที่ได้มาแทนในสมการ Power Law

$$\sigma = k(\dot{\gamma})^n \quad (7)$$

โดย	σ	คือ ความเค้นเฉือน (หน่วยเป็นปาสคาล, Pa)
	$\dot{\gamma}$	คือ อัตราการเฉือน (หน่วยเป็น วินาที ⁻¹ , s ⁻¹)
	n	คือ ดัชนีพฤติกรรมการไหล (flow behavior index)
	k	คือ สัมประสิทธิ์ความหนืด (consistency index, Pa s ⁿ)

ค่าดัชนีพฤติกรรมการไหล (flow behavior index , n) สามารถนำมาใช้พิจารณาพฤติกรรมการไหลของอิมัลชัน เมื่อดัชนีพฤติกรรมการไหล มีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่าตัวอย่างนั้นมีพฤติกรรมการไหลแบบนิวโตเนียน (Newtonian) ดัชนีพฤติกรรมการไหลมีค่าน้อยกว่า 1 มีพฤติกรรมการไหลแบบนอน-นิวโตเนียน ชนิด shear thinning และดัชนีพฤติกรรมการไหลมากกว่า 1 มีพฤติกรรมการไหลแบบนอน-นิวโตเนียนชนิด shear thickening ส่วนสัมประสิทธิ์ความหนืด (consistency index; k) บ่งบอกความหนืดของตัวอย่างที่อัตราการเฉือนที่ 1 วินาที⁻¹ (Rao & Tattiyakul, 1999)

การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design, CRD) จำนวน 3 ซ้ำ ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลการทดลองโดยใช้ ANOVA (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของทรีดเมนทโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการวิจัย

ผลการทดลองการสกัดสารสกัดน้ำจากแก่นตะวัน

ศึกษาการเตรียมสารสกัดน้ำจากแก่นตะวันจากหัวแก่นตะวันสด โดยทำการศึกษาอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการสกัด (80 และ 100 องศาเซลเซียส) และอัตราส่วนของแก่นตะวันต่อน้ำ (1:1 และ 1:1.5) ซึ่งพบว่า สารสกัดน้ำจากแก่นตะวันที่ได้มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีน้ำตาลอ่อน ค่าร้อยละของผลได้ของสารสกัดมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ โดยอยู่ในช่วงร้อยละ 11.48-13.46 นอกจากนั้นตัวอย่างสารสกัดมีความชื้นที่ต่ำ (ร้อยละ 5.12-7.04) และมีค่าความหนาแน่นใกล้เคียงกัน (0.64-0.74 g/cm³) ซึ่งในตัวอย่างที่สกัดที่อุณหภูมิของน้ำ 100 องศาเซลเซียส และอัตราส่วน 1:1.5 มีร้อยละของผลได้ที่สูงที่สุดและมีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด (Table 1)

Table 1 The moisture content and density of water soluble Jerusalem artichoke extract (JAE) obtained from different extraction conditions.

Water temperature (°C)	Jerusalem artichoke: water	Yield (%)	Moisture content (% wet basis)	Density (g/cm ³)
80	1:1	11.48±0.75a	7.04±0.88c	0.64±0.04a
80	1:1.5	12.09±0.69a	6.49±0.57b	0.74±0.03b
100	1:1	12.33±0.86a	6.05±0.48b	0.72±0.03b
100	1:1.5	13.46±1.75a	5.12±0.41a	0.72±0.05b

Data are presented as mean ± standard deviation and different letters in the same column indicate significant differences

เมื่อนำสารสกัดน้ำจากแก่นตะวันที่สกัดได้มาศึกษาคุณสมบัติด้านการเป็นอิมัลซิฟายเออร์ โดยศึกษาถึงค่าดัชนีการละลายน้ำ ดัชนีการดูดซับน้ำ และความสามารถในการดูดซับน้ำมัน ดังแสดงใน Table 2 ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้สารสกัดน้ำจากแก่นตะวันทั้ง 4 ตัวอย่างมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) มีดัชนีการละลายน้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 56-59 ดัชนีการดูดซับน้ำ อยู่ในช่วง 3.5-3.9 g/g และความสามารถในการดูดซับน้ำมันอยู่ในช่วง 2.0-2.1 g/g

และเมื่อทำการศึกษาค่าสีของสารสกัด พบว่า ตัวอย่างที่สกัดด้วยน้ำ 80 องศาเซลเซียสและอัตราส่วนของน้ำที่ 1:1 มีค่าความสว่างมากที่สุด มีค่าใกล้เคียงกับตัวอย่างสารสกัดน้ำจากแก่นตะวันที่สกัดที่สภาวะการสกัดด้วยน้ำ 100 องศาเซลเซียสและอัตราส่วนของน้ำที่ 1:1 และที่ตัวอย่างนี้มีค่า L^* , a^* , และ b^* แตกต่างจากทุกตัวอย่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่า L^* , a^* และ b^* เท่ากับ 70.45 ± 0.61 , 3.91 ± 0.39 และ 17.06 ± 1.38 ตามลำดับ (Table 3) และมีค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ที่มากกว่า 2 เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างสารสกัดอื่นในทุกตัวอย่าง ซึ่งแสดงถึงมีความแตกต่างของสี (Kovacevic *et al.*, 2021)

Table 2 Water solubility index, water absorption index and oil absorption capacity of water soluble Jerusalem artichoke extract (JAE) obtained from different extraction conditions.

Water temperature (°C)	Jerusalem artichoke: water	Water solubility index ^{NS} (%)	Water absorption index ^{NS} (g/g)	Oil absorption capacity ^{NS} (g/g)
80	1:1	56.23±5.46	3.99±0.73	2.04±0.06
80	1:1.5	57.99±2.87	3.79±0.34	2.10±0.08
100	1:1	59.53±2.82	3.58±0.37	2.07±0.05
100	1:1.5	58.91±4.12	3.67±0.57	2.09±0.09

NS = mean values were not significantly different at $p < 0.05$

Table 3 L*, a*, b* and c* of water soluble Jerusalem artichoke extract (JAE) obtained from different extraction conditions.

Water temperature (°C)	Jerusalem artichoke: water	L*	a*	b*
80	1:1	70.45±0.61b	3.91±0.39a	17.06±1.38b
80	1:1.5	68.94±0.46a	4.09±0.22ab	14.63±0.25a
100	1:1	70.37±0.67b	4.27±0.19b	14.87±0.14a
100	1:1.5	69.70±1.45ab	4.18±0.11ab	14.32±0.23a

Data are presented as mean ± standard deviation and different letters in the same column indicate significant differences

ผลของการใช้สารสกัดน้ำจากแก่นตะวันทดแทนน้ำมันในระบบอิมัลชัน

การทดลองนี้ศึกษาอิทธิพลของปริมาณสารสกัดน้ำจากแก่นตะวันในการทดแทนน้ำมันต่อสมบัติของอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำที่มีปริมาณน้ำมันต่ำ (ปริมาณน้ำมันร้อยละ 10) ที่ทำให้คงตัวด้วยเลซิทีน ที่ระดับความเข้มข้นสารสกัดน้ำจากแก่นตะวันร้อยละ 0-6 โดยน้ำหนัก ซึ่งอิมัลชันที่เตรียมได้มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวคล้ายนม และอิมัลชันชนิดปริมาณน้ำมันสูง (ปริมาณน้ำมันร้อยละ 75) ที่ทำให้คงตัวด้วยโปรตีนเวย์เข้มข้น ที่ระดับความเข้มข้นสารสกัดน้ำจากแก่นตะวันร้อยละ 0-7.5 โดยน้ำหนัก ซึ่งอิมัลชันมีลักษณะคล้ายมายองเนส เป็นเนื้อเดียวกันมีสีขาวขุ่นหนืด โดยอิมัลชันที่มีการทดแทนน้ำมันด้วยสารสกัดน้ำจากแก่นตะวันมีสีเข้มขึ้นเมื่อมีปริมาณสารสกัดน้ำจากแก่นตะวันเพิ่มขึ้นเนื่องจากสีของสารสกัดน้ำจากแก่นตะวัน

เมื่อสังเกตขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยของอิมัลชันชนิดปริมาณน้ำมันต่ำ พบว่า ขนาดอนุภาคในอิมัลชันที่ไม่ได้เติมสารสกัดน้ำจากแก่นตะวันมีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยเท่ากับ 7.70 ± 0.57 ไมโครเมตร ซึ่งเมื่อทดแทนน้ำมันในระบบอิมัลชันด้วยสารสกัดน้ำจากแก่นตะวันที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2, 4 และ 6 พบว่า ขนาดอนุภาคมีขนาดเพิ่มขึ้นที่ปริมาณการทดแทนสารสกัดน้ำจากแก่นตะวันร้อยละ 2 (ขนาดอนุภาค 12.22 ± 0.62 ไมโครเมตร) และมีขนาดอนุภาคลดลงเมื่อทดแทนน้ำมันด้วยสารสกัดน้ำจากแก่นตะวันที่ระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้น (ขนาดอนุภาค 6.59 ± 1.22 และ 4.55 ± 0.06 ไมโครเมตร ตามลำดับ) (Table 4) ส่วนการกระจายตัวของอนุภาคนั้น ในตัวอย่างอิมัลชันที่มีการทดแทนน้ำมันด้วยสารสกัดจะมีการกระจายตัวของอนุภาคแบบ polymodal distribution ที่อนุภาคมีขนาดหลากหลายไม่สม่ำเสมอ ส่วนตัวอย่างที่ไม่มีการเติมสารสกัดนั้นพบว่าการกระจายตัวของอนุภาคแบบ monomodal distribution (Figure 1)

Table 4 Particle size and rheological parameters of low oil content emulsion containing different concentration of JAE after 24 hour storage at 25 °C.

Treatments	Particle size d _{4,3} (μm)	n	R ²	K (Pa.s ⁿ)
0% JAE	$7.70 \pm 0.57b$	0.98905	0.99985	0.0021444ab
2% JAE	$12.22 \pm 0.62c$	0.99441	0.99994	0.0019492b
4% JAE	$6.59 \pm 1.22b$	1.0037	0.99988	0.0019531b
6% JAE	$4.55 \pm 0.06a$	0.98895	0.99994	0.0023675a

Data are presented as mean $\pm$ standard deviation and different letters in the same column indicate significant differences

เมื่อศึกษาสมบัติทางวิทยากระแสของอิมัลชันชนิดปริมาณน้ำมันต่ำ โดยการวัดค่าความหนืดต่ออัตราการเฉือน คำนวณดัชนีพฤติกรรมการไหล และสัมประสิทธิ์ความหนืดด้วยสมการ Power law โดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดน้ำจากแก่นตะวันมากถึงร้อยละ 6 ค่าความหนืดมีค่าเพิ่มขึ้น (Figure 2) สอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดซึ่งแสดงถึงความหนืดของอิมัลชันที่อัตราการเฉือน 1 วินาที⁻¹ โดยการใช้สารสกัดที่ระดับที่น้อยกว่าร้อยละ 6 ค่าความหนืดมีค่าน้อยกว่าตัวอย่างอิมัลชันที่ไม่มีการเติมสารสกัด

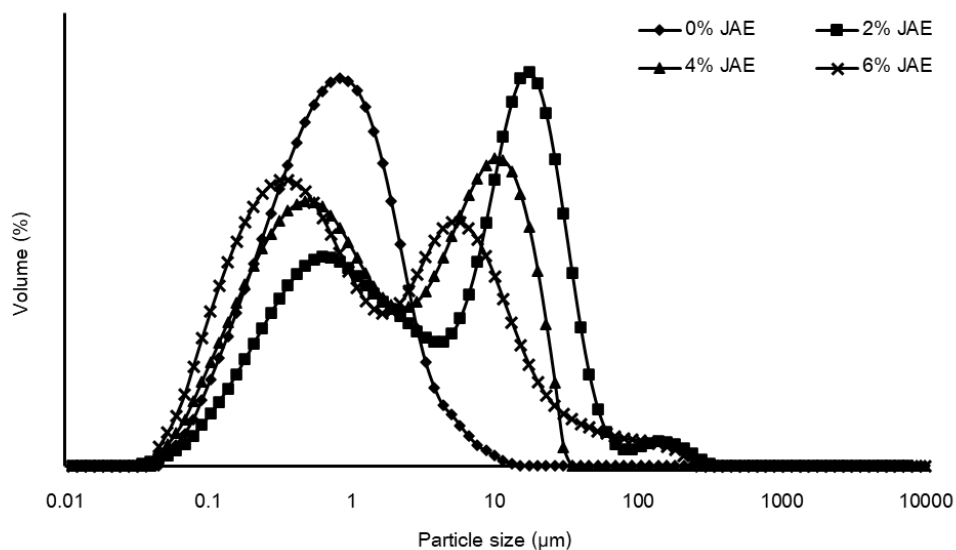


Figure 1 Particle size distribution of low oil content emulsion at the difference of JACE substituted after 24 hour storage at 25 °C

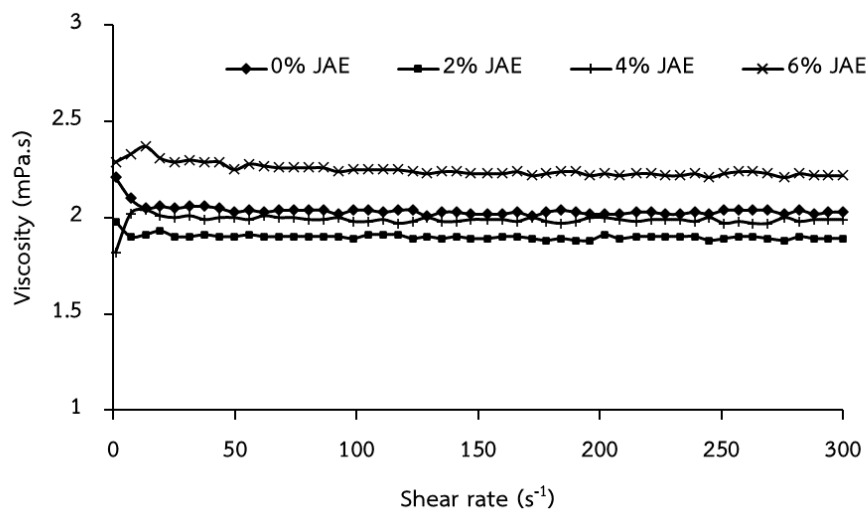


Figure 2 Flow curves of low oil content emulsion with and without JACE containing

เมื่อทำการศึกษถึงผลของการทดแทนน้ำมันด้วยสารสกัดน้ำจากแก่นตะวันในระบบอิมัลชันที่มีปริมาณน้ำมันสูงที่ทำให้คงตัวด้วยโปรตีนเวย์เข้มข้น ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5 และ 7.5 โดยน้ำหนัก พบว่า อิมัลชันในทุกตัวอย่างไม่เกิดการแยกชั้น มีความคงตัวดี อนุภาคในระบบอิมัลชันที่ไม่ทดแทนน้ำมันด้วยสารสกัดน้ำจากแก่นตะวันมีขนาดอนุภาค 35.04 ± 0.02 ไมโครเมตร และเมื่อทดแทนน้ำมันในระบบอิมัลชันด้วยสารสกัดน้ำจากแก่นตะวันที่ระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้น อนุภาคมีขนาดเล็กลงอย่างมีนัยสำคัญที่ความเข้มข้นร้อยละ 95 (Table 5) และอนุภาคในระบบอิมัลชันที่มีปริมาณน้ำมันสูงทุกตัวอย่างมีการกระจายตัวของอนุภาคแบบ monomodal distribution (Figure 3)

Table 5 Particle size and rheological parameters of the high oil emulsion containing different concentration of JAE

Treatments	Particle size d _{4,3} (μm)	n	R ²	K (Pa.s ⁿ)
0% JAE	35.04±0.02d	0.42826	0.98913	10.306d
2.5% JAE	34.77±0.06c	0.45413	0.99364	14.137c
5% JAE	28.08±0.01b	0.42378	0.98148	36.298b
7.5% JAE	20.29±0.02a	0.35352	0.99168	91.681a

Data are presented as mean ± standard deviation and different letters in the same column indicate significant differences

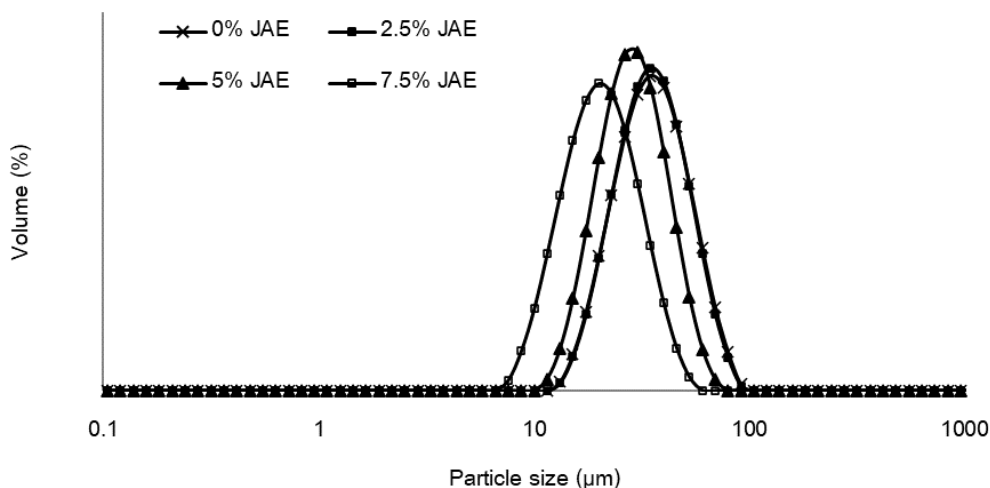


Figure 3 Particle size distribution of high oil content emulsion at the difference of JACE substituted after 24 hour storage at 25 °C

เมื่อศึกษาถึงความหนืดและพฤติกรรมการไหลของอิมัลชันชนิดปริมาณน้ำมันสูง ค่าความหนืดของอิมัลชันนั้นพบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดน้ำจากแก่นตะวันค่าความหนืดจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (Figure 4) เช่นเดียวกับค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด (Table 5) และเมื่อสังเกตถึงค่า n ที่แสดงถึงพฤติกรรมการไหล พบว่าในทุกตัวอย่างมีค่าน้อยกว่า 1

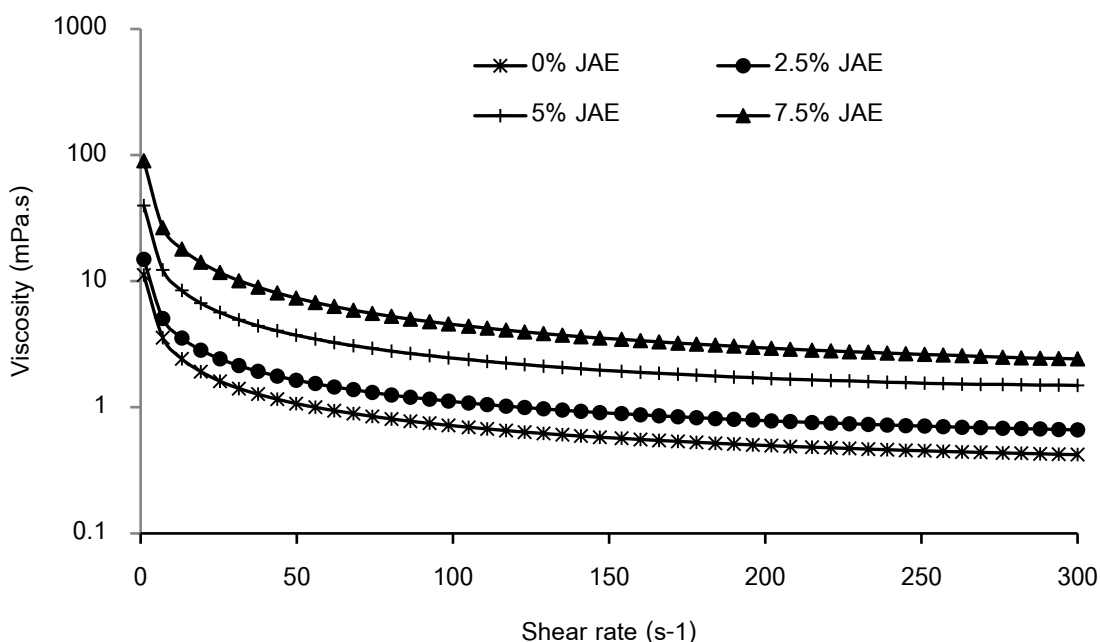


Figure 4 Flow curves of high oil content emulsion with and without JAE containing

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากผลการทดลองตาม Table 1 ค่าร้อยละของผลได้และค่าความหนาแน่นของสารสกัดแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ แต่เมื่อสังเกตถึงค่าร้อยละของผลได้ เมื่ออุณหภูมิและอัตราส่วนของน้ำต่อแก่นตะวันเพิ่มมากขึ้นร้อยละของผลได้มีค่าเพิ่มสูงขึ้นด้วย ซึ่งอาจเนื่องมาจากอุณหภูมิที่สูงส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลที่มากขึ้นทำให้ประสิทธิภาพในการสกัดเพิ่มสูงขึ้นด้วย นอกจากนี้อุณหภูมิที่สูงขึ้นยังมีผลต่อการละลายและความหนืดของอินูลินที่เพิ่มตามขึ้นด้วย (Zhang *et al.*, 2022) ในส่วนอัตราส่วนของแก่นตะวันต่อน้ำในการสกัดนั้น เมื่อปริมาณน้ำในการสกัดเพิ่มมากขึ้นทำให้อัตราการถ่ายเทมวลจะเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพในการสกัดเพิ่มสูงขึ้น (Zhang *et al.*, 2022) ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกันในงานวิจัยของ Gaafar *et al.* (2010) ที่ปริมาณอินูลินเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและอัตราส่วนของน้ำในการสกัดมากขึ้น โดยในการศึกษาของ Zhang *et al.* (2022) พบว่าสภาวะในการสกัดอินูลินจากแก่นตะวันที่เหมาะสมให้ปริมาณอินูลินสูงคือที่อุณหภูมิในการสกัดที่ 74 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการสกัด 65 นาที และอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อของแข็งที่ 4 มิลลิลิตรต่อกรัม

จากผลการทดลองคุณสมบัติทางกายภาพของสารสกัดน้ำจากแก่นตะวันที่ได้ทั้งค่าดัชนีการละลายน้ำ ดัชนีการดูดซับน้ำ และความสามารถในการดูดซับน้ำมัน พบว่า มีค่าแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งหมายความว่าอุณหภูมิของน้ำและอัตราส่วนระหว่างแก่นตะวันและน้ำไม่มีผลต่อค่าสมบัติเหล่านี้ อาจเกิดจากเวลาในการสกัดยังไม่เพียงพอที่จะเห็นถึงความแตกต่างของปัจจัยทั้งสองได้ในการทดลองครั้งนี้

จากสมบัติต่างๆ ข้างต้นและด้วยสารสกัดมีอินูลินเป็นองค์ประกอบ โดยอินูลินมีความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) และเกิดการพองเจลได้ (Afoakwah *et al.*, 2015) ซึ่งสมบัติเหล่านี้ช่วยรักษาความคงตัวหรือคงลักษณะของผลิตภัณฑ์ไว้ได้เมื่อปริมาณน้ำมันหรือไขมันลดลง (Deis, 2001) นอกจากนั้นมียางงานการศึกษาถึงการนำแก่นตะวันมาใช้เป็นสารทดแทนไขมันหรือน้ำมันในผลิตภัณฑ์อาหาร อาทิเช่น ได้กรอก (Afoakwah *et al.*, 2015; Zhu *et al.*, 2020) และ มาการีน (Shahnozaxon *et al.*, 2020) ดังนั้นในการทดลองเพื่อศึกษาถึงการนำสารสกัดน้ำจากแก่นตะวันไปใช้ทดแทนน้ำมัน จึงใช้สารสกัดน้ำจากแก่นตะวันที่ผ่านการสกัดที่สภาวะอุณหภูมิของน้ำ 100 องศาเซลเซียส ที่อัตราส่วนแก่นตะวันต่อน้ำเท่ากับ 1:1.5 เนื่องจากที่สภาวะนี้มีดัชนีการละลายน้ำ ดัชนีการดูดซับน้ำ และความสามารถในการดูดซับน้ำมันสูง นอกจากนั้นยังมีร้อยละของผลได้มากที่สุดและมีค่าความชื้นน้อยที่สุด ซึ่งค่าความชื้นนี้ส่งผลช่วยชะลอการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และการเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพของตัวอย่างด้วยความชื้นในระหว่างการเก็บรักษา เมื่อวิเคราะห์หาปริมาณ Fructans (Inulin+ Oligofructose) และ Fructooligosaccharides (FOS) พบว่าในตัวอย่าง 100 กรัม มี Fructans และ FOS 60.10 และ 24.50 กรัม ตามลำดับ

เมื่อทำการศึกษาถึงผลของการนำสารสกัดน้ำจากแก่นตะวันมาใช้ทดแทนน้ำมันในระบบอิมัลชัน พบว่า ในระบบอิมัลชันที่มีปริมาณน้ำมันต่ำ ขนาดอนุภาคมีขนาดเพิ่มขึ้นที่ปริมาณการทดแทนสารสกัดน้ำจากแก่นตะวันร้อยละ 2 และมีขนาดอนุภาคลดลงเมื่อทดแทนน้ำมันด้วยสารสกัดน้ำจากแก่นตะวันที่ระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ซึ่งขนาดอนุภาคที่เพิ่มขึ้นนี้อาจเกิดจากปริมาณสารสกัดน้ำจากแก่นตะวันที่ทดแทนในระบบอิมัลชันมีปริมาณที่น้อย ไม่ส่งผลต่อการรักษาความคงตัวของระบบอิมัลชันแต่อาจส่งผลให้อนุภาคน้ำมันในอิมัลชันเกิดการเคลื่อนเข้ามาใกล้ชิดและอาจเกิดการหลอมรวมตัวของอนุภาคน้ำมันทำให้มีขนาดเพิ่มขึ้น (Ye *et al.*, 2004) และเมื่อเพิ่มปริมาณของสารสกัดน้ำจากแก่นตะวันความหนืดของระบบอิมัลชันเพิ่มขึ้นและอินูลินในระบบเกิดการพองเจลทำให้เกิดการรักษาความคงตัวของระบบอิมัลชันมีมากขึ้น อนุภาคในระบบอิมัลชันจึงมีขนาดเล็กลง เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Umaña *et al.* (2021) ที่เมื่อปริมาณของแป้งกาบแก่นตะวันที่เพิ่มมากขึ้นช่วยในการรักษาความคงตัวของระบบอิมัลชันต่อการเกาะกลุ่มหรือหลอมรวมตัวของอนุภาค ซึ่งเกิดจากความหนืดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ขัดขวางการเคลื่อนตัวของอนุภาค และโพลีแซคคาไรด์ที่พบในแก่นตะวัน เช่น อินูลินและเพคตินสามารถช่วยในการรักษาความคงตัวของอิมัลชันได้ด้วย steric hindrance ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับค่าความหนืดที่วัดได้ เมื่อสังเกตถึงค่าความหนืดของระบบอิมัลชันนั้น พบว่าการเติมสารสกัดน้ำจากแก่นตะวันส่งผลให้ค่าความหนืดมีค่าเพิ่มมากขึ้น ซึ่งความหนืดส่งผลต่อความคงตัวของระบบอิมัลชันที่เพิ่มมากขึ้นด้วย ความหนืดของระบบอิมัลชันจึงเป็นอีกส่วนสำคัญในการรักษาความคงตัวของอิมัลชัน (Huang *et al.*, 2001; Pocan *et al.*, 2009) เมื่อสังเกตถึงพฤติกรรมการไหลของอิมัลชันชนิดปริมาณน้ำมันต่ำ ความหนืดมีค่าคงที่เมื่อเพิ่มอัตราการเฉือน (2-300 วินาที⁻¹) ซึ่งแสดงว่ามีพฤติกรรมการไหลแบบนิวโตเนียน เนื่องจากอิมัลชันมีปริมาณ

อนุภาคหยดนํ้ามันน้อย จึงจัดเป็นอิมัลชันเจือจาง (diluted emulsion) อนุภาคหยดนํ้ามันมีขนาดเล็ก และไม่เกิดการเกาะกลุ่มกัน มีการเคลื่อนที่อย่างอิสระ (Brownian motion) เมื่อเพิ่มอัตราการเขย่าจึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงความหนืด (McClements, 2005) สอดคล้องกับค่าดัชนีพฤติกรรมการไหลที่คำนวณตามสมการ Power Law มีค่าประมาณ 1 (Table 5) ซึ่งแสดงพฤติกรรมการไหลแบบนิวโตเนียน (San Martin-González *et al.*, 2009) จากผลของร้อยละความเข้มข้นของสารสกัดนํ้าจากแก่นตะวันต่อขนาดอนุภาคและสมบัติทางรีโอโลยีของตัวอย่างอิมัลชันชนิดปริมาณนํ้ามันต่ำ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่น้อยที่สุดและมีค่าความหนืดที่ไม่ต่างจากตัวอย่างอิมัลชันที่ไม่เติมสารสกัดนํ้าจากแก่นตะวัน จึงเป็นระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมในการทดแทนนํ้ามันในระบบอิมัลชันชนิดปริมาณนํ้ามันต่ำ

การศึกษาถึงผลของการทดแทนนํ้ามันด้วยสารสกัดนํ้าจากแก่นตะวันในระบบอิมัลชันที่มีปริมาณนํ้ามันสูงที่ทำให้คงตัวด้วยโปรตีนเวย์เข้มข้น พบว่า อิมัลชันมีความคงตัวดี เมื่อทดแทนนํ้ามันในระบบอิมัลชันด้วยสารสกัดนํ้าจากแก่นตะวัน ที่ระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้นอนุภาคมีขนาดเล็กลง ซึ่งแสดงถึงความคงตัวที่ดีของระบบอิมัลชันเมื่อใช้สารสกัดนํ้าจากแก่นตะวันทดแทนนํ้ามันในระบบ เมื่อศึกษาถึงความหนืดและพฤติกรรมการไหลของอิมัลชันชนิดปริมาณนํ้ามันสูง ค่าความหนืดมีค่ามากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณสารสกัดนํ้าจากแก่นตะวัน ซึ่งอาจเนื่องมาจากในสารสกัดนํ้าจากแก่นตะวันมีอินูลินเป็นส่วนประกอบ อินูลินช่วยเพิ่มความหนืดให้กับระบบเมื่อเกิดการฟอรัมเจล โดยโครงสร้างโมเลกุลที่เป็นสายยาวของอินูลินและความสามารถในการอุ้มนํ้าจึงชะลอการเคลื่อนที่ของโมเลกุลต่างๆ จึงมีความหนืดเพิ่มขึ้น (Afoakwah *et al.*, 2015; Meyer *et al.*, 2011) สอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน และเมื่อสังเกตถึงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและอัตราการเขย่าก็พบว่า ในทุกตัวอย่างมีค่าความหนืดลดลงเมื่ออัตราการเขย่าเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงถึงพฤติกรรมการไหลแบบนอนนิวโตเนียน (non-newtonian) ชนิด shear thinning โดยความหนืดลดลงเมื่อเพิ่มอัตราการเขย่า ซึ่งสอดคล้องกับค่าดัชนีพฤติกรรมการไหล (n) โดยในทุกตัวอย่างมีค่าน้อยกว่า 1 ซึ่งแสดงถึงพฤติกรรมการไหลแบบ shear thinning เช่นเดียวกัน (Table 5) จากผลการศึกษาความเข้มข้นของสารสกัดนํ้าจากแก่นตะวันในการทดแทนนํ้ามันในระบบอิมัลชันชนิดปริมาณนํ้ามันสูง ที่ความเข้มข้นสารสกัดนํ้าจากแก่นตะวันร้อยละ 2.5 มีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยและความหนืดที่ใกล้เคียงกับตัวอย่างอิมัลชันที่ไม่เติมสารสกัดนํ้าจากแก่นตะวัน ซึ่งในการศึกษาวิจัยนี้ได้ศึกษาในระบบอิมัลชันจำลองหากมีการนำไปประยุกต์ในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีความข้นหนืดหรือต้องการความข้นหนืด การเติมสารสกัดนํ้าจากแก่นตะวันที่มีความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 2.5 อาจมีความเหมาะสม ด้วยขนาดอนุภาคที่มีความลดลงซึ่งอาจส่งผลต่อความคงตัวในระหว่างการผลิตและเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ที่มากขึ้น การทดแทนนํ้ามันในระบบอิมัลชันนี้เพื่อลดปริมาณนํ้ามันและเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับผลิตภัณฑ์โดยที่ยังคงมีลักษณะที่ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้เติมสารสกัดในระบบอิมัลชันจำลอง

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของการสกัดสารสกัดนํ้าจากแก่นตะวัน ที่สภาวะในการสกัดที่อุณหภูมิของนํ้า 100 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนของแก่นตะวันต่อนํ้าเท่ากับ 1:1.5 สารสกัดนํ้าจากแก่นตะวันที่ได้มีคุณสมบัติที่ดี มีค่าดัชนีการดูดซับนํ้าและความสามารถในการดูดซับนํ้ามันที่สูง เมื่อนํ้าสารสกัดนํ้าจากแก่นตะวันที่ได้ไปทดแทนนํ้ามันในระบบอิมัลชันชนิดปริมาณ

น้ำมันต่ำ (ร้อยละ 10) และสูง (ร้อยละ 75) พบว่า ที่ความเข้มข้นของสารสกัดน้ำจากแก่นตะวันที่ร้อยละ 6 ให้ขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยที่เล็กกว่าและมีความหนืดที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากตัวอย่างที่ไม่เติมสารสกัดน้ำจากแก่นตะวันในระบบอิมัลชันชนิดปริมาณน้ำมันต่ำ ส่วนระบบอิมัลชันชนิดปริมาณน้ำมันสูง ที่ความเข้มข้นของสารสกัดน้ำจากแก่นตะวันที่ร้อยละ 2.5 มีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยและความหนืดที่ใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ไม่มีการเติมสารสกัดน้ำจากแก่นตะวัน สารสกัดน้ำจากแก่นตะวันซึ่งมีอิโนูลินเป็นส่วนประกอบส่งผลต่อขนาดอนุภาคและความหนืดของอิมัลชัน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และสถาบันคั่นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

- Afoakwah, N. A., Dong, Y., Zhao, Y., Xiong, Z., Owusu, J., Wang, Y., & Zhang, J. (2015). Characterization of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) powder and its application in emulsion-type sausage. *LWT-Food Science and Technology*, 64(1), 74-81.
- Akalın, A., & Erişir, D. (2008). Effects of inulin and oligofructose on the rheological characteristics and probiotic culture survival in low-fat probiotic ice cream. *Journal of Food Science*, 73(4), M184-M188.
- Akın, M., Akin, M., & Kirmaci, Z. (2007). Effects of inulin and sugar levels on the viability of yogurt and probiotic bacteria and the physical and sensory characteristics in probiotic ice-cream. *Food Chemistry*, 104(1), 93-99.
- Anderson, R., Conway, H., Pfeifer, V., & Griffin, E. (1969). Roll and extrusion-cooking of grain sorghum grits. *Cereal Science Today*, 14(11), 372-376.
- Archer, B. J., Johnson, S. K., Devereux, H. M., & Baxter, A. L. (2004). Effect of fat replacement by inulin or lupin-kernel fibre on sausage patty acceptability, post-meal perceptions of satiety and food intake in men. *British Journal of Nutrition*, 91(4), 591-599.
- Chandra, S., Singh, S., & Kumari, D. (2015). Evaluation of functional properties of composite flours and sensorial attributes of composite flour biscuits. *Journal of Food Science and Technology*, 52, 3681-3688.



- Deis, R. C. (2001). Other low-calorie ingredients: fat and oil replacers. *Food Science and Technology-New York-marcel Dekker-*, 519-540.
- Delzenne, N. M., Cani, P. D., Daubioul, C., & Neyrinck, A. M. (2005). Impact of inulin and oligofructose on gastrointestinal peptides. *British Journal of Nutrition*, 93(S1), S157-S161.
- Devereux, H., Jones, G., McCormack, L., & Hunter, W. (2003). Consumer acceptability of low fat foods containing inulin and oligofructose. *Journal of Food Science*, 68(5), 1850-1854.
- El-Nagar, G., Clowes, G., Tudorică, C., Kuri, V., & Brennan, C. S. (2002). Rheological quality and stability of yog-ice cream with added inulin. *International Journal of Dairy Technology*, 55(2), 89-93.
- Franck, A. (2002). Technological functionality of inulin and oligofructose. *British Journal of Nutrition*, 87(S2), S287-S291.
- Gaafar, A.M., El-din, M.F.S., Boudy, E.A. ,& El-Gazar, H.H. (2010). Extraction conditions of inulin from Jerusalem artichoke tubers and its effects on blood glucose and lipid profile in diabetic rats. *Journal of American Science*, 6(5), 36-43.
- Huang, X., Kakuda, Y., & Cui, W. (2001). Hydrocolloids in emulsions: particle size distribution and interfacial activity. *Food Hydrocolloids*, 15(4-6), 533-542.
- Kovačević, Z., Sutlović, A., Matin, A., & Bischof, S. (2021). Natural dyeing of cellulose and protein fibers with the flower extract of *Spartium junceum* L. plant. *Materials*, 14(15), 4091.
- McClements, D. J. (2005). Theoretical analysis of factors affecting the formation and stability of multilayered colloidal dispersions. *Langmuir*, 21(21), 9777-9785.
- Meyer, D., Bayarri, S., Tárrega, A., & Costell, E. (2011). Inulin as texture modifier in dairy products. *Food Hydrocolloids*, 25(8), 1881-1890.



- Pocan, P., İlhan, E., & Öztop, M. H. (2019). Characterization of emulsion stabilization properties of gum tragacanth, xanthan gum and sucrose monopalmitate: A comparative study. *Journal of Food Science*, 84(5), 1087-1093.
- Rao, M., & Tattiyakul, J. (1999). Granule size and rheological behavior of heated tapioca starch dispersions. *Carbohydrate polymers*, 38(2), 123-132.
- Sablania, V., Bosco, S. J. D., Rohilla, S., & Shah, M. A. (2018). Microencapsulation of *Murraya koenigii* L. leaf extract using spray drying. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12, 892-901.
- Saengkanuk, A., Nuchadomrong, S., Jogloy, S., Patanothai, A., & Srijaranai, S. (2011). A simplified spectrophotometric method for the determination of inulin in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers. *European Food Research and Technology*, 233, 609-616.
- San Martin-González, M., Roach, A., & Harte, F. (2009). Rheological properties of corn oil emulsions stabilized by commercial micellar casein and high pressure homogenization. *LWT-Food Science and Technology*, 42(1), 307-311.
- Shahnozaxon, S., Akbarali, R., Dilshod, R., & Zafar, X. (2020). Water-soluble jerusalem artichoke extracts as fat replacer in dietary margarine recipe. *Chemistry and Chemical Engineering*, 2020(3), 11.
- Tárrega, A., & Costell, E. (2006). Effect of inulin addition on rheological and sensory properties of fat-free starch-based dairy desserts. *International Dairy Journal*, 16(9), 1104-1112.
- Umaña, M., Wawrzyniak, P., Rosselló, C., Llavata, B., & Simal, S. (2021). Evaluation of the addition of artichoke by-products to O/W emulsions for oil microencapsulation by spray drying. *LWT*, 151, 112146.
- Ye, A., Hemar, Y., & Singh, H. (2004). Influence of polysaccharides on the rate of coalescence in oil-in-water emulsions formed with highly hydrolyzed whey proteins. *Journal of agricultural and food chemistry*, 52(17), 5491-5498.
- Zhang, X., Zhu, X., Shi, X., Hou, Y., & Yi, Y. (2022). Extraction and purification of inulin from Jerusalem Artichoke with response surface method and ion exchange resins. *ACS omega*, 7(14), 12048-12055.



Zhu, Y., Guo, L., Tang, W., & Yang, Q. (2020). Beneficial effects of Jerusalem artichoke powder and olive oil as animal fat replacers and natural healthy compound sources in Harbin dry sausages. *Poultry science*, 99(12), 7147-7158.