

การเปรียบเทียบวิธีการสกัดอินนูลินจากแก่นตะวัน

The Comparison of Inulin Extraction Methods from Jerusalem

Artichoke (*Helianthus tuberosus*)

ศุภลักษณ์ เกตุตากแดด¹ อุไรลักษณ์ พงษ์เกษ¹ ศุภลักษณ์ คมคาย¹ ทรัพย์มณี บุญญโก² และ นิตยา ภูงาม^{1*}

Supalug Kattakdad¹, Urailuck Pongket¹, Supalug Komkhai¹, Submanee Bunyako² and Nittaya Phungam^{1*}

Received: 4 July 2022, Revised: 29 November 2022, Accepted: 26 January 2023

บทคัดย่อ

การเปรียบเทียบวิธีการสกัดอินนูลินจากแก่นตะวัน 4 วิธี คือ 1) การใช้ น้ำกลั่น อุณหภูมิ 80°C 2) การใช้ เอทานอล 80% (v/v) อุณหภูมิ 80°C 3) การสกัดด้วยไมโครเวฟ (406 วัตต์) เป็นเวลา 60 นาที และ 4) การสกัดด้วย อัลตราโซนิก อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 60 นาที จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผงแก่นตะวัน พบว่า ปริมาณ ความชื้นของผงแก่นตะวัน มีค่าเท่ากับ $14.01 \pm 0.04\%$ และปริมาณ โปรตีน ไขมัน เชื้อใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 2.93 ± 0.09 , 1.27 ± 0.01 , 3.98 ± 0.04 , 1.03 ± 0.05 และ 76.78 ± 0.04 ตามลำดับ การศึกษาปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และปริมาณอินนูลินจากผงแก่นตะวัน ด้วยสารละลายเอทานอล น้ำกลั่น และวิธีการสกัด ไมโครเวฟ และอัลตราโซนิก พบว่า วิธีการสกัดด้วยสารละลายเอทานอล มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และปริมาณ อินนูลินสูงที่สุด เท่ากับ 136.867 ± 10.22 mg/ml และ $66.526 \pm 6.10\%$ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น ๆ การสกัดด้วย ไมโครเวฟส่งผลให้มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงที่สุด (6.689 ± 1.86 mg/ml) ($p \leq 0.05$) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของ สารสกัดอินนูลินที่สกัดด้วยสารละลายเอทานอล น้ำกลั่น และเทคนิคไมโครเวฟ มีค่าสูงกว่าการสกัดด้วยเทคนิค อัลตราโซนิก ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของสารสกัดอินนูลินไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) การ วิเคราะห์ค่าสี L^* a^* และ b^* พบว่า สารสกัดอินนูลินจากวิธีการสกัดด้วยน้ำกลั่นมีค่าความสว่าง (L^*) สูงที่สุด (29.37 ± 0.13) ($p \leq 0.05$) การศึกษาค่าความเป็นสีแดง (a^*) พบว่า วิธีการสกัดทั้ง 4 วิธี ไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) พบว่า สารที่สกัดจากน้ำกลั่นมีค่าสีเหลืองสูงที่สุด (4.79 ± 0.02) ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับ การสกัดด้วยสารละลายเอทานอลและการสกัดด้วยไมโครเวฟ และการสกัดด้วยอัลตราโซนิก (4.55 ± 0.16 , 3.84 ± 0.06 และ 3.74 ± 0.07 ตามลำดับ) ดังนั้นวิธีการสกัดโดยใช้เอทานอล ความเข้มข้น 80% (v/v) ที่อุณหภูมิ 80°C ให้ปริมาณสารสกัดอินนูลินสูงที่สุดและไม่มีผลต่อการทำลายคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของแก่นตะวัน

¹ คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ อำเภอเมือง จังหวัดสุรินทร์ 32000

¹ Faculty of Agriculture and Technology, Rajamangala University of Technology Isan, Surin Campus, Mueang, Surin 32000, Thailand.

² ศูนย์บ่มเพาะวิสาหกิจ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

² Business Incubator, Nakhon Ratchasima Rajabhat University, Mueang, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): nittaya.ph@rmu.ac.th

คำสำคัญ: อินนูลิน, การสกัด, แก่นตะวัน

ABSTRACT

The comparison of inulin extraction methods from Jerusalem artichoke was investigated. The extraction methods consisted of 1) distilled water at 80°C, 2) 80% ethanol (v/v) at 80°C, 3) microwave extraction (406W) for 60 minutes, and 4) ultrasonic extraction at 80°C for 60 minutes. The study of the chemical composition of Jerusalem artichoke powder revealed the moisture content of $14.01 \pm 0.04\%$ with crude protein, crude fat, crude fiber, ash and carbohydrates content of 2.93 ± 0.09 , 1.27 ± 0.01 , 3.98 ± 0.04 , 1.03 ± 0.05 and 76.78 ± 0.04 , respectively. Total sugar, reducing sugar and inulin content of Jerusalem artichoke extract solution were analyzed. It was found that the extraction method using ethanol solution showed the highest of total sugar (136.867 ± 10.22 mg/ml) and the inulin content ($66.526 \pm 6.10\%$) compared to other methods. The microwave extraction resulted in the highest reducing sugar content (6.689 ± 1.86 mg/ml) ($p \leq 0.05$). The total soluble solids (TSS) of inulin extracted using ethanol, distilled water and microwave extraction showed higher than ultrasonic extraction methods ($p \leq 0.05$). However, pH of the inulin extracted solution was non significantly different ($p > 0.05$). Color analysis of L^* , a^* and b^* was also investigated. Inulin extracted solution from distilled water displayed the highest brightness (L^*) (29.37 ± 0.13) ($p \leq 0.05$). The redness value (a^*) of inulin extracted solution using the four extraction methods was not significantly different ($p > 0.05$). Inulin extracted solution using distilled water showed the highest yellowness value (b^*) (4.79 ± 0.02) ($p \leq 0.05$), followed by ethanol, microwave and ultrasonic extraction methods (4.55 ± 0.16 , 3.84 ± 0.06 and 3.74 ± 0.07 , respectively). Therefore, the extraction method using 80% ethanol (v/v) at 80°C provided the highest inulin content and did not eliminate physical and chemical properties of Jerusalem artichoke.

Key words: inulin, extraction, Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus*)

บทนำ

แก่นตะวัน หรือ หัวบัวตอง (Jerusalem artichoke, *Helianthus tuberosus* L.) เป็นพืชล้มลุก อายุสั้น วงศ์เดียวกับเบญจมาศ และเก๊กฮวย สกุลเดียวกับทานตะวัน มีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกาเหนือ ปลูกมากแถบตะวันออกเฉียงใต้ ยุโรป และออสเตรเลีย โดยแก่นตะวันมีดอกสีเหลืองคล้ายดอกบัวตอง แต่มีขนาดเล็กกว่า มีหัวใต้ดินลักษณะคล้ายขิง หรือข้าวเปลือกมีสีน้ำตาลอ่อน เนื้อใน มีสีขาว มีรสหวาน มัน กรอบ คล้ายเห็ดและมันแกว แก่นตะวันเป็นพืชหัวที่มี

มีคุณค่าทางโภชนาการและสรรพคุณทางสมุนไพรหลายอย่าง หัวของแก่นตะวัน มีเส้นใยอาหารสูง มีความหวานกว่าน้ำตาลซูโครส 1.5 เท่า และเป็นแหล่งสะสมของอินนูลิน (Inulin) ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ถูกย่อยในระบบทางเดินอาหาร ในแก่นตะวัน 100 กรัม จะให้พลังงาน 73 กิโลแคลอรี คาร์โบไฮเดรต 17.44 กรัม โปรตีน 2 กรัม ไขมัน 0.01 กรัม ใยอาหาร 1.6 กรัม โฟเลต 13 ไมโครกรัม ไนอาซิน 1.3 มิลลิกรัม กรดแพนโทเทนิค 0.397 มิลลิกรัม บีตาแคโรทีน 12 ไมโครกรัม ไรโบฟลาวิน 0.06 มิลลิกรัม ไทอามีน 0.2

มิลลิกรัม วิตามินเอ 1 ไมโครกรัม วิตามินซี 4 มิลลิกรัม วิตามินอี 0.19 มิลลิกรัม วิตามินเค 0.1 ไมโครกรัม ไพรดอกซิน 0.077 มิลลิกรัม โซเดียม 4 มิลลิกรัม โพแทสเซียม 429 มิลลิกรัม แคลเซียม 14 มิลลิกรัม ทองแดง 0.14 มิลลิกรัม เหล็ก 3.4 มิลลิกรัม แมกนีเซียม 17 มิลลิกรัม แมงกานีส 0.06 มิลลิกรัม สังกะสี 0.12 มิลลิกรัม ซีลีเนียม 0.7 ไมโครกรัม (Phiwsaxad and Sripaya, 2017) จากข้อมูลข้างต้น บ่งชี้ว่าแก่นตะวันเป็นแหล่งสะสมของสารอินนูลิน ซึ่งอินนูลินจะมีคุณสมบัติในการช่วยลดปริมาณของแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคในระบบทางเดินอาหาร เช่น เชื้อ *Escherichia coli* และ Coliforms ช่วยเพิ่มการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย นอกจากการใช้อินนูลินเป็นอาหารเสริมสุขภาพของมนุษย์แล้วยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์อื่น ๆ เช่น เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์ ทำให้จุลินทรีย์ที่เป็นโทษและปริมาณแอมโมเนียในระบบทางเดินอาหารของสัตว์ลดลง มีภูมิคุ้มกันเพิ่มขึ้น จึงช่วยลดการใช้สารปฏิชีวนะและมูลสัตว์มีกลิ่นเหม็นน้อยลง (Changhelik, 2012; Phiwsaxad and Sripaya, 2017) โดยทั่วไปสารอินนูลินจะเป็นสารประกอบของคาร์โบไฮเดรตกลุ่มโพลีแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีสายยาว ร่างกายของมนุษย์ไม่สามารถย่อยสลายได้ เมื่อพิจารณาจากองค์ประกอบทางเคมีของคาร์โบไฮเดรตกลุ่มนี้จะมีโมเลกุลเป็นกลุ่มที่มีขั้ว (Polar) ดังนั้นกระบวนการสกัดสารอินนูลินจากแก่นตะวันจำเป็นต้องใช้ตัวทำละลายที่เป็นกลุ่มมีขั้วเช่นเดียวกัน ทั้งนี้สารสกัดโพลีแซ็กคาไรด์ ส่วนใหญ่ที่ได้มาจากพืชนั้น นิยมใช้ตัวทำละลายที่มีขั้ว เช่น สารละลายเอทานอล (Ethanol) และน้ำ เนื่องจากโพลีแซ็กคาไรด์จัดเป็นคาร์โบไฮเดรตที่สามารถละลายน้ำได้ แต่มีรายงานการวิจัยเลือกใช้ตัวทำละลายเอทานอล เนื่องจากหากใช้น้ำเป็นตัวทำละลายในการสกัดอาจมีการละลาย

สารอื่นที่ละลายในน้ำ เช่น โอลิโกแซ็กคาไรด์ หรือ โปรตีน ร่วมด้วย การสกัดเหล่านี้จึงใช้สารละลายเอทานอลที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นตัวทำละลาย (Johansen *et al.*, 1996) แต่เมื่อพิจารณาจากการใช้น้ำกลั่นในการสกัดอาจจะช่วยลดต้นทุนที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิตอินนูลินได้

นอกจากนี้ ยังมีวิธีการสกัดที่นิยมใช้งานในการสกัดสารสำคัญ ได้แก่ การสกัดด้วยไมโครเวฟ (Microwave extraction) วิธีการสกัดโดยใช้คลื่นไมโครเวฟซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยคลื่นนี้จะเปลี่ยนไปเป็นความร้อนด้วยการทำให้อนุภาค หรือ โมเลกุลที่มีขั้วเสียดสีกันและเกิดความร้อนขึ้น เมื่อนำสารที่จะสกัดไปวางอยู่ในสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและด้วยคุณสมบัติความเป็นขั้วของโมเลกุลภายในสารที่จะสกัดจะเกิดแรงด้านการเคลื่อนที่หรือเสียดสีกันทำให้เกิดความร้อนขึ้น ซึ่งมีผลต่อเซลล์พืชและเกิดการสกัดออกมาของสารสำคัญ (Suedee, 2017) โดยกระบวนการนี้ต้องทำงานร่วมกันกับตัวทำละลาย เช่น น้ำ หรือ ตัวทำละลายอินทรีย์ ในการสกัดอินนูลินจากแก่นตะวัน เมื่อนำสารที่จะสกัดไปวางอยู่ในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ด้วยคุณสมบัติความเป็นขั้วของโมเลกุลภายในสารที่จะสกัดจะเกิดแรงด้านการเคลื่อนที่ทำให้เกิดความร้อนขึ้น ซึ่งมีผลต่อเนื้อเยื่อเซลล์ของสารสกัด และมีผลต่อการละลายของสารสำคัญที่ต้องการและด้วยคุณสมบัติของตัวทำละลายที่แตกต่างกันจึงทำให้มีลักษณะที่แตกต่างกันไปเมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหรืออาจกล่าวได้ว่ากระบวนการทำความร้อนของคลื่นไมโครเวฟเกิดจากกระบวนการถ่ายเทพลังงานจนทำให้สารสกัดที่ต้องการหลุดออกมาจากโครงสร้างภายในของพืช (Afoakwah *et al.*, 2012; Azwanida, 2015) การสกัดด้วยเครื่องอัลตราโซนิก Ultrasound extraction (UAE) หรือ Sonication เป็นการใช้คลื่นเสียงความถี่สูงในช่วง 20 กิโลเฮิร์ตซ์ ถึง 2,000 kHz เพื่อทำให้เกิด

การสันสะท้อนหรือเสียดสีกันเป็นความร้อนทำให้เกิดการสก๊ตและการปลดปล่อยสารสำคัญ เช่น อินนูลินจากแก่นตะวัน ในปัจจุบันมีการนำคลื่นอัลตราซาวด์มาประยุกต์ใช้ร่วมกับการใช้ตัวทำละลาย เช่น น้ำ หรือ สารละลายอินทรีย์ มาใช้ในการสก๊ตตัวอย่าง ซึ่งวิธีการนี้ช่วยลดระยะเวลา และใช้อุณหภูมิต่ำในการสก๊ตเหมาะสำหรับการสก๊ตสารในกลุ่มที่ไม่ทนต่อความร้อน (Rodrigues and Pinto, 2007) ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบวิธีการสกัดอินนูลินจากแก่นตะวันด้วยการใช้ความร้อน โดยใช้น้ำและสารละลายเอทานอลเป็นตัวทำละลายและการสก๊ตด้วยไมโครเวฟและอัลตราโซนิก

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ตัวอย่างและการเตรียมตัวอย่างแก่นตะวัน

แก่นตะวันสด อายุ 12 สัปดาห์ สายพันธุ์ แก่นตะวัน 50-4 (JA 102 x JA 89(8)) จากไร่บ้าน แก่นตะวันทอง ตำบลอรพิมพ์ อำเภอบึงนาราง จังหวัดนครราชสีมา นำมาล้างทำความสะอาด และหั่นตามแนวขวางของหัวแก่นตะวัน ให้มีความหนา 3-5 mm แล้ววางเรียงและเกลี่ยให้บางบนตะแกรงคูบ นำเข้าอบด้วยตู้อบลมร้อน (Hot air oven ยี่ห้อ Binder รุ่น FED 115) ที่อุณหภูมิ 60°C จนมีน้ำหนักคงที่ (ความชื้นร้อยละ 10-12) จากนั้นนำไปบดด้วยเครื่องบดตัวอย่าง (ยี่ห้อ Mitsuta 4 รุ่น MFC301) ทำการร่อน

แยกกากด้วยตะแกรงที่มีขนาดรูพรุน 80 mesh บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟรอยด์ (Nadir *et al.*, 2011) และเก็บในโถสุญญากาศ ก่อนนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้าเยื่อใย และคาร์โบไฮเดรต ตามวิธีการ AOAC (2000) และศึกษาการสกัดอินนูลินต่อไป

2. การศึกษากระบวนการสกัดอินนูลินจากผงแก่นตะวัน

นำผงแก่นตะวันจากหัวข้อที่ 1 มาคัดเลือกกระบวนการสกัดสารอินนูลินที่เหมาะสม ด้วยกระบวนการดังต่อไปนี้ 1) การใช้น้ำกลั่นอุณหภูมิ 80°C 2) การใช้เอทานอล 80% (v/v) อุณหภูมิ 80°C 3) การสก๊ตด้วยไมโครเวฟ 4) การสก๊ตด้วยอัลตราโซนิก

2.1 การใช้น้ำกลั่น สก๊ตที่อุณหภูมิ 80°C

ชั่งน้ำหนักผงแก่นตะวัน 10 g ผสมในน้ำกลั่น ปริมาตร 100 ml บ่มตัวอย่างในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 60 min จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 และทำการหมุนเหวี่ยงสารสกัดอินนูลินที่ความเร็ว 6000 rpm เป็นเวลา 15 min เก็บตัวอย่างส่วนใสเพื่อวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และคำนวณร้อยละการสกัดอินนูลิน โดยคำนวณจากผลต่างของปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดกับปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และคำนวณร้อยละการสกัดอินนูลินจากสมการที่ 1

$$\text{ร้อยละการสกัดอินนูลิน} = \frac{(\text{ผลต่างของปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดกับปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์}) \times (\text{ปริมาณอินนูลินที่สกัดได้/น้ำหนักแห้งของหัวแก่นตะวัน}) \times 100}{1} \quad (1)$$

2.2 การใช้เอทานอล ความเข้มข้น 80% (v/v) สก๊ตที่อุณหภูมิ 80°C

ชั่งน้ำหนักผงแก่นตะวัน 10 g ผสมในสารละลายเอทานอล 80% (v/v) ปริมาตร 100 ml บ่มตัวอย่างในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 60

นาทีก่อนกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 และทำการหมุนเหวี่ยงสารสกัดอินนูลินที่ความเร็ว 6000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที เก็บตัวอย่างส่วนใสเพื่อวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และคำนวณร้อยละการสกัดอินนูลิน โดยคำนวณจากผลต่าง

ของปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดกับปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และคำนวณร้อยละการสกัดอินนูลินจากสมการที่ 1

2.3 การใช้ไมโครเวฟ ในการสกัด

ชั่งน้ำหนักผงแก่นตะวัน 10 g ในน้ำกลั่น ปริมาตร 100 ml บ่มตัวอย่าง ในเครื่องไมโครเวฟ (ยี่ห้อ Beko รุ่น MOC20100W) กำลังไฟ 406 วัตต์ เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 และทำ

2.4 การใช้อัลตราโซนิก ในการสกัด

ชั่งน้ำหนักผงแก่นตะวัน 10 g ผสมในน้ำกลั่น ปริมาตร 100 ml บ่มตัวอย่าง ในเครื่องอัลตราโซนิก (ยี่ห้อ Velvo clear รุ่น VS-32545) อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 60 min จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 และทำการหมุนเหวี่ยงสารสกัดอินนูลินที่ความเร็ว 6000 rpm เป็นเวลา 15 min เก็บตัวอย่างส่วนใสเพื่อวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และคำนวณร้อยละการสกัดอินนูลิน โดยคำนวณจากผลต่างของปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดกับปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และคำนวณร้อยละการสกัดอินนูลิน จากสมการที่ 1

3. ศึกษาคุณสมบัติของสารสกัดอินนูลินจากผงแก่นตะวัน

3.1 ศึกษาลักษณะทางเคมีและกายภาพของสารสกัดอินนูลินจากผงแก่นตะวัน

นำสารสกัดอินนูลินที่ได้ มาทำการวิเคราะห์ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solid) ด้วยเครื่องแซนริเฟ็คโตมิเตอร์ (Refractometer ยี่ห้อ MicroPro รุ่น RHBN-32ACT), ปริมาณค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ด้วยเครื่อง pH meter (ยี่ห้อ W&J รุ่น PHS-25 ดิจิตอล bench top ph meter) และวิเคราะห์ค่าสี L* a* และ b* ด้วยเครื่อง Color meter รุ่น CRM-WR-100 ด้วยยี่ห้อ Precise Color Reader รุ่น WR-100

3.2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี

3,5 Dinitrosalicylic (Chatchawanphan *et al.*, 2010)

3.3 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดด้วยวิธี phenol-sufuric (Sangchoat *et al.*, 2012)

การหมุนเหวี่ยงสารสกัดอินนูลินที่ความเร็ว 6000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที เก็บตัวอย่างส่วนใสเพื่อวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และคำนวณร้อยละการสกัดอินนูลิน โดยคำนวณจากผลต่างของปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดกับปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และคำนวณร้อยละการสกัดอินนูลินจากสมการที่ 1

4. การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลมาหาค่าเฉลี่ย จากนั้นวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completed Randomized Design, CRD) จำนวน 3 ซ้ำ เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan, s New Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 26.0

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

จากผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผงแก่นตะวัน พบว่า ปริมาณความชื้นของผงแก่นตะวัน มีค่าเท่ากับ $14.01 \pm 0.04\%$ (ตารางที่ 1) ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานในการเตรียมแป้ง หรือผลิตภัณฑ์อาหารของแห้งที่เป็นผงจะต้องมีความชื้น ไม่เกิน 14.00% (National Food Institute, 2007) ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์ปริมาณ โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เกล็ด และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 2.93 ± 0.09 , 1.27 ± 0.01 , 3.98 ± 0.04 , 1.03 ± 0.05 และ $76.78 \pm 0.04\%$ ตามลำดับ (ตารางที่ 1) จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผงแก่นตะวัน มีค่าองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกับผงแก่นตะวันจากงานวิจัย ของ Malai *et al.* (2013) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงปริมาณไขมัน เยื่อใย เกล็ด และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 1.00, 5.28, 0.87 และ 73.63% ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด, น้ำตาลรีดิวซ์ และปริมาณอินนูลินจากผงแก่นตะวัน พบว่า การสกัดผงแก่นตะวันด้วยสารละลายเอทานอลทำให้มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

และปริมาณอินนูลินสูงที่สุด เนื่องจากสารสกัดอินนูลินจากผงแก่นตะวัน มีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตกลุ่ม พอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) เป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่มาจัดเป็นเส้นใยอาหาร (Dietary fiber) นอกจากนี้ โครงสร้างโมเลกุลของอินนูลินเป็นเฮเทอโรพอลิแซ็กคาไรด์ (Heteropolysaccharide) กล่าวคือ มีโมเลกุลของน้ำตาลมากกว่า 1 ชนิดมาเชื่อมต่อกัน จึงทำให้มีปริมาณน้ำตาลอยู่ในจำนวนมาก และโมเลกุลของอินนูลินเป็นประเภทที่ละลายได้ในน้ำ (Soluble fiber) ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นประเภทมีขั้ว (Polar) (Phuakrai *et al.*, 2012) ดังนั้นการใช้สารละลายเอทานอลที่เป็นตัวทำละลายที่มีโมเลกุลเป็นประเภทมีขั้วมาใช้ในการสกัดผงแก่นตะวันจึงส่งผลให้สารละลายเอทานอลสามารถละลายอินนูลิน และน้ำตาลทั้งหมดออกมาจากภายใน

โครงสร้างของผงแก่นตะวันได้ (Warinhomhaun *et al.*, 2018) ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการใช้วิธีการสกัดด้วยน้ำกลั่นก็ส่งผลให้ได้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และอินนูลินในปริมาณสูงรองจากการสกัดด้วยสารละลายเอทานอล แม้ว่าอินนูลิน และน้ำตาลทั้งหมดที่เป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทพอลิแซ็กคาไรด์จะมีความสามารถในการละลายน้ำได้ แต่เนื่องจากโมเลกุลของพอลิแซ็กคาไรด์ที่อยู่ในอินนูลินเป็นพวกที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ หรือมวลโมเลกุลสูงจึงจะละลายน้ำได้น้อย (Luthria *et al.*, 2006) ดังนั้นจึงทำให้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และปริมาณอินนูลินที่ได้จากวิธีการสกัดด้วยน้ำกลั่นรวมทั้งวิธีการไมโครเวฟ และอัลตราโซนิก ที่มีการเติมน้ำเข้าไปร่วมด้วย มีปริมาณน้อยกว่าวิธีการที่ใช้สารละลายเอทานอล

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของผงแก่นตะวัน

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (%)
ความชื้น	14.01±0.04
โปรตีน	2.93±0.09
ไขมัน	1.27±0.01
เถ้า	1.03±0.05
เยื่อใย	3.98±0.04
คาร์โบไฮเดรต	76.78±0.04

หมายเหตุ: ค่า Mean±SD

การศึกษาปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Total sugar), ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) และปริมาณอินนูลินจากผงแก่นตะวัน ด้วยการสกัดด้วยสารละลายเอทานอล ความเข้มข้น 80% (v/v) และน้ำกลั่น โดยการบ่มที่อุณหภูมิ 80°C และการสกัดด้วยไมโครเวฟและการสกัดด้วยอัลตราโซนิก พบว่าวิธีการสกัดด้วยสารละลายเอทานอล มีปริมาณน้ำตาล

ทั้งหมด และปริมาณอินนูลินสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เท่ากับ 136.867 ± 10.22 mg/ml และ $66.526\% \pm 6.10$ ตามลำดับ เมื่อเปรียบกับการสกัดด้วยน้ำกลั่น การสกัดด้วยไมโครเวฟ และการสกัดด้วยอัลตราโซนิก โดยการสกัดด้วยน้ำกลั่น มีค่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และปริมาณอินนูลินรองลงมาจากวิธีการสกัดด้วยเอทานอล ซึ่งมีค่าเท่ากับ

80.563±13.14 mg/ml และ 52.792%±2.32 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า การสกัดด้วยไมโครเวฟส่งผลให้มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงที่สุด (6.689±1.86 mg/ml) รองลงมา คือ การสกัดด้วยน้ำกลั่น (5.146±3.77 mg/ml) ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางด้านสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์แสดงให้เห็นว่าการสกัดด้วยไมโครเวฟส่งผลให้ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ เนื่องจากน้ำตาลรีดิวซ์เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เช่น น้ำตาลกลูโคส (Glucose) น้ำตาลกาแล็กโทส (Galactose) และน้ำตาลฟรุกโทส (Fructose) ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มี

โมเลกุลขนาดเล็กที่สามารถละลายน้ำได้ดี (Ponchalermwong and Rattanapanon, 2019) ดังนั้นวิธีการสกัดด้วยไมโครเวฟที่มีการเติมน้ำเพื่อเป็นตัวทำละลาย ส่งผลให้เมื่อนำสารที่จะสกัดไปวางอยู่ในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จากนั้นด้วยคุณสมบัติความเป็นขั้วของโมเลกุลภายในสารที่จะสกัดจะเกิดแรงดันการเคลื่อนที่ทำให้เกิดความร้อนขึ้น ซึ่งมีผลต่อเนื้อเยื่อเซลล์ของสารสกัด และมีผลต่อการละลายของสารสำคัญที่อยู่ภายในเซลล์ออกมาได้มากขึ้น (Afoakwah *et al.*, 2012; Azwanida, 2015) จึงทำให้วิธีการนี้ได้สารสกัดที่มีน้ำตาลรีดิวซ์ในปริมาณสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ

ตารางที่ 2 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด, น้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณอินนูลิน ที่สกัดจากผงแก่นตะวันด้วยวิธีที่แตกต่างกัน

วิธีการสกัด	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์	ปริมาณอินนูลิน
อินนูลินจากผงแก่นตะวัน	(mg/mL)	(mg/mL)	(%)
เอทานอล	136.867±10.22 ^a	3.815±3.51 ^c	66.526±6.10 ^a
น้ำกลั่น	80.563±13.14 ^b	5.146±3.77 ^b	52.792±2.32 ^b
ไมโครเวฟ	51.870±20.11 ^c	6.689±1.86 ^a	51.104±3.86 ^b
อัลตราโซนิก	29.067±2.34 ^d	3.571±0.62 ^c	25.498±3.10 ^c
p-value	0.045	0.043	0.047

หมายเหตุ: ค่า Mean±SD

ตัวอักษร ^{a, b, c และ d} ในตารางแนวดิ่งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของสารสกัดอินนูลินจากผงแก่นตะวัน พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของสารสกัดอินนูลินที่สกัดด้วยวิธีการใช้สารละลายเอทานอล น้ำกลั่น และไมโครเวฟ ไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.02±0.00, 4.04±0.02 และ 4.00±0.00 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดด้วยอัลตราโซนิกซึ่งมีค่าต่ำที่สุด (เท่ากับ 3.93±0.05) ดังแสดงในตารางที่ 3 การสกัดอินนูลินด้วยวิธีการเอทานอล น้ำกลั่นและไมโครเวฟทำให้มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำสูงกว่า

การสกัดด้วยอัลตราโซนิก เนื่องจากสารสกัดอินนูลินมีความสามารถในการละลายน้ำได้ดีและจากวิธีการสกัดด้วยเอทานอล และน้ำกลั่นได้มีกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80°C ร่วมด้วย ซึ่งความร้อนจะส่งผลให้โครงสร้างภายในเนื้อเยื่อเซลล์ของผงแก่นตะวันเกิดความอ่อนตัวและมีความยืดหยุ่นจึงทำให้ตัวทำละลายประเภทเอทานอล และน้ำกลั่นสามารถแทรกซึมเข้าไปและสามารถละลายอินนูลิน และน้ำตาลประเภทต่าง ๆ ออกมาได้ (Khan *et al.*, 2015) สอดคล้องกับการใช้ไมโครเวฟที่มีการเติมน้ำกลั่น

รวมด้วย เมื่อนำสารที่จะสกัดไปวางอยู่ในสนามแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยคุณสมบัติความเป็นขั้วของโมเลกุลภายในสารที่จะสกัดจะเกิดแรงต้านการเคลื่อนที่จึงทำให้เกิดความร้อนขึ้น ซึ่งมีผลต่อเนื้อเยื่อเซลล์ของสารสกัดทำให้อินนูลิน และสารสกัดอื่น ๆ ถูกละลายออกมาส่งผลให้มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในปริมาณที่สูง (Afoakwah *et al.*, 2012; Azwanida, 2015)

การศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่างของสารสกัดอินนูลินจากผงแก่นตะวันที่สกัดด้วยวิธีที่แตกต่างกัน

4 วิธี พบว่า มีค่าไม่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 3 เนื่องจากตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด คือ เอทานอล จะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 6.00-9.00 (Nawakkam *et al.*, 2016) จึงส่งผลให้สารสกัดที่ได้มีค่า pH เท่ากับ 6.47 และการสกัดอีก 3 วิธีการ ใช้ตัวทำละลายเป็นน้ำกลั่น ซึ่ง ค่า pH ของน้ำกลั่นจะอยู่ในช่วง 6.00 (Sasithorn *et al.*, 2008) ดังนั้นจึงทำให้สารสกัดอินนูลินที่ได้จึงมีค่า pH อยู่ในช่วง 6.22-6.26

ตารางที่ 3 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และค่าความเป็นกรด-ด่าง ของสารสกัดอินนูลินที่สกัดจากผงแก่นตะวันด้วยวิธีที่แตกต่างกัน

วิธีการสกัด อินนูลินจากผงแก่นตะวัน	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solid)	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ^{ns}
เอทานอล	4.02±0.00 ^a	6.47±0.02
น้ำกลั่น	4.04±0.02 ^a	6.22±0.10
ไมโครเวฟ	4.00±0.00 ^a	6.26±0.03
อัลตราโซนิก	3.93±0.05 ^b	6.24±0.04
p-value	0.050	0.061

หมายเหตุ: ค่า Mean±SD

ตัวอักษร ^a และ ^b ในตารางแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษร ^{ns} ในตารางแนวตั้งแสดงถึงความไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางด้านสถิติ ($p > 0.05$)

จากการวิเคราะห์ค่า L^* , a^* และ b^* ของสารสกัดอินนูลินจากผงแก่นตะวันที่สกัดแตกต่างกัน พบว่า การสกัดด้วยน้ำกลั่นมีค่าความสว่าง (L^*) สูงที่สุด (เท่ากับ 29.37±0.13) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดจากการสกัดด้วยสารละลายเอทานอล ไมโครเวฟ และอัลตราโซนิก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 27.46±0.32, 27.37±0.06 และ 27.18±0.55 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นสีแดง (a^*) แสดงให้เห็นว่า การสกัดทั้ง 4 วิธี ไม่มีผลทำให้ค่าความเป็นสีแดง

แตกต่างกัน นอกจากนี้การวิเคราะห์ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) พบว่าสารสกัดจากวิธีการสกัดด้วยน้ำกลั่น มีค่าความเป็นสีเหลือง สูงที่สุด 4.79±0.02 เมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดด้วยเอทานอล ไมโครเวฟ และอัลตราโซนิก เท่ากับ 4.55±0.16, 3.84±0.06 และ 3.74±0.07 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงตารางที่ 4 การที่สารสกัดที่ได้จากวิธีการสกัดด้วยน้ำกลั่นมีค่าความสว่างสูงที่สุด เนื่องจากการสกัดด้วยน้ำกลั่นไม่มีผลทำให้แรงควัตถุสี (เหลืองอ่อน) ของผงแก่นตะวันหลุด

ออกมาได้ในปริมาณน้อยจึงส่งผลให้มีค่าความสว่างที่สูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ เช่น สารละลายเอทานอลที่มีความสามารถในการละลายสีของผงแค้นตะวันออกมาได้จึงทำให้มีค่าความสว่างน้อยกว่าน้ำกลั่น ส่วนวิธีการสกัดด้วยไมโครเวฟและอัลตราโซนิก จะมีการเกิดแรงเฉยโมเลกุลของสารสกัดและตัวทำละลายจึงทำให้สีของสารสกัดหลุดออกมาได้มากกว่าการสกัดด้วยน้ำกลั่น และเอทานอล (Suedee, 2017; Rodrigues and Pinto, 2007) สอดคล้องกับค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของผลการ

ทดลอง พบว่า วิธีการสกัดด้วยสารละลายเอทานอลและน้ำกลั่น ทำให้สารสกัดมีค่า b^* สูงกว่า การทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อาจเนื่องจากการกระบวนการทั้ง 2 ใช้กระบวนการให้ความร้อนที่เหมือนกัน คือ การสกัดผ่านอ่างควบคุมน้ำร้อน จึงทำให้สามารถละลายสีของแค้นตะวันที่มีสีเหลืองอ่อน ๆ ออกมาได้สูงกว่าวิธีการอื่น ๆ (Chatchawanphan *et al.*, 2010)

ตารางที่ 4 ค่าสี L^* a^* และ b^* ของสารสกัดอินูลินที่สกัดจากผงแค้นตะวันด้วยวิธีที่แตกต่างกัน

วิธีการสกัดอินูลินจากผง แค้นตะวัน	คุณลักษณะด้านสี		
	L^*	a^{*ns}	b^*
เอทานอล	27.46 ± 0.32^b	2.25 ± 0.13	4.55 ± 0.16^a
น้ำกลั่น	29.37 ± 0.13^a	2.27 ± 0.80	4.79 ± 0.02^a
ไมโครเวฟ	27.37 ± 0.06^b	2.67 ± 0.01	3.84 ± 0.06^b
อัลตราโซนิก	27.18 ± 0.55^b	2.38 ± 0.05	3.74 ± 0.07^b
p-value	0.047	0.059	0.042

หมายเหตุ: ค่า Mean $\pm$ SD

ตัวอักษร ^a และ ^b ในตารางแนวดิ่งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางด้านสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษร ^{ns} ในตารางแนวดิ่งแสดงถึงความไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางด้านสถิติ ($p > 0.05$)

สรุป

จากผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผงแค้นตะวัน พบว่า มีค่าความชื้น ไม่เกิน 14 % ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์ปริมาณ ไชมัน เชื้อใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต อยู่ในระดับตามเกณฑ์มาตรฐานของผงแค้นตะวันทั่วไป การสกัดผงแค้นตะวันด้วยสารละลายเอทานอล ความเข้มข้น 80% (v/v) โดยการต้มที่อุณหภูมิ 80°C ส่งผลให้มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (136.867 ± 10.22 mg/ml) และ ปริมาณ อินูลิน ($66.526\% \pm 6.10$) สูงที่สุด การสกัดอินูลินด้วย

วิธีการใช้สารละลายเอทานอล น้ำกลั่น และไมโครเวฟ ทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของสารสกัดอินูลินไม่มีความแตกต่างกัน การวิเคราะห์ค่าสี L^* a^* และ b^* ของสารสกัดอินูลินจากผงแค้นตะวัน พบว่า การสกัดด้วยน้ำกลั่นมีค่าความสว่าง (L^*) สูงที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (29.37 ± 0.13) ส่วนค่า a^* พบว่า วิธีการสกัดไม่มีผลต่อค่าความเป็นสีแดงของสารสกัดอินูลิน ในขณะที่ค่า b^* พบว่าการสกัดผงแค้นตะวันด้วยสารละลายเอทานอลและน้ำกลั่นจะมีค่าความเป็นสีเหลืองมากกว่าการสกัดด้วยไมโครเวฟและการสกัดด้วย

อัลตราโซนิก ดังนั้นการสกัดอินนูลินจากผงแก่นด้วยวิธีการใช้สารละลายเอทานอล ความเข้มข้น 80% (v/v) บ่มที่อุณหภูมิ 80°C จึงเป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุดเมื่อพิจารณาจากคุณภาพด้านต่าง ๆ ของสารสกัด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ และสถานที่ในการทำวิจัยครั้งนี้ และโครงการวิจัยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (สกสว.) ตามสัญญาเลขที่ FRB650059/SRN/03

เอกสารอ้างอิง

- AOAC. 2000. **Official Method of Analysis of AOAC International**. 18th ed. The Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia.
- Afoakwah, A.N., Owusu, J., Adomako, C. and Teye, E. 2012. Microwave Assisted Extraction (MAE) of antioxidant constituents in plant materials. **Global Journal of Bio-Science and Biotechnology** 1(2): 132-140.
- Azwanida, N.N. 2015. A review on the extraction methods use in medicinal plants, principle, strength and limitation. **Medicinal and Aromatic Plants** 4(3): 1-6.
- Chatchawanphan, T., Siriek, N., Mekmek, P. and Miphaendi, L. 2010. Study optimal conditions for ethanol production from cattail by fermentation method. Master Thesis of Biology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi. (in Thai)
- Changhelik, P. 2012. **Kaeng Tawan, a medicinal plant to control weight**. Popular Science. Available Source: <https://www.dss.go.th/images/st-article/sti-2-2558-SunChoke.pdf>, April 25, 2022. (in Thai)
- Johansen, H. N., Glitso, V. and Knudsen, K. E. B. 1996. Influence of extraction solvent and temperature on the quantitative determination of oligosaccharides from plant material by high performance liquid chromatography. **Journal Agriculture Food Chemistry** 44: 1470-1474.
- Khan, E. A., Khakwani, A. A., Munir M. and Ghazanfarullah, A. 2015. Effects of allelopathic chemicals extracted from various plant leaves on weed control and wheat crop productivity. **Pakistan Journal of Botany** 47(2): 735-740.
- Luthria, D., Mukhopadhyay, S. and Kwansa, A. 2006. A systematic approach for extraction of phenolic compounds using parsley (*Petroselinum crispum*) as a model substrate. **Journal of the Science of Food and Agriculture** 86: 1350-1358.
- Malai, D., Chaichawalit, C., Janphen, S. and Mailaead, S. 2013. Development of fresh Noodles by substitution of jerusalem artichoke powder. **Agricultural Science Journal** 44(2) (Suppl.): 269-272. (in Thai)
- Nawakkam, N., Kaewnaree, P., Buasri, A. and Mongkolsawat, W. 2016. Production of ethanol from sugarcane by using biomass *Clostridium acetobutylicum* TISTR 1462. **Engineering Journal** 3: 109-114. (in Thai)

- National Food Institute. 2007. **Product standard for milk powder industry.** Available Source: http://fic.nfi.or.th/law/upload/file1/TH_381.pdf, April 25, 2022. (in Thai)
- Nadir, A.S., Helmy, I.M.F. and Kamil, M.M. 2011. Effect of using Jerusalem artichoke and inulin flours on producing low carbohydrate high protein pasta. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences** 5(12): 2855-2864.
- Phiwsaxad, J. and Sripaya, S. 2017. **Kaen Sunflower is a very valuable medicinal plant.** Popular Science. Available Source: <https://www.dss.go.th/imagesst-article/sti-2-2558-SunChoke.pdf>, April 25, 2022. (in Thai)
- Phuakrai, M., Techawngkhsethiyr, S. and Jokloy, S. 2012. Changes in quality and quantity of inulin in ready-to-eat trimmed sunflower roots during storage. **Agricultural Science Journal** 43(3)(Suppl.): 608-611. (in Thai)
- Ponchalermwong, P. and Rattanapanon, N. 2019. **Reducing sugar.** Popular Science. Available Source: Food Wiki | Food Network Solution, April 25, 2022. (in Thai)
- Rodrigues, S. and Pinto, G.A.S. 2007. Ultrasound extraction of phenolic compounds from coconut (Cocos nucifera) shell powder. **Journal of Food Engineering** 80: 869-872.
- Sangchoat, J., Khienpanya, N., Pracomnok, P. and Poliarern, W. 2012. Study on optimum conditions for cattail stalk acid digestion for ethanol production. Master Thesis of Biology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi. (in Thai)
- Sasithorn, N., Luepong, K. and Padung, W. 2008. **Research Report on Cooling water recovery from water distillation equipment.** University of Technology Phra Nakhon, Bangkok. (in Thai)
- Suedee, A. 2017. Using microwave waves to extract important substances from medicinal plants. **EAU Heritage Journal Social Science and Humanities** 11(1): 1-14. (in Thai)
- Warinhomhaun, S., Sritularak, B. and Chamvanich, D. 2018. A simple high performance liquid chromatographic method for quantitative analysis of brazilin in caesalpinia sappan L. extracts. **Thai Journal of Pharmaceutical Sciences** 42: 208-213.