

เทคนิคการปลูกแก่นตะวันในประเทศไทยและแนวทางการใช้ประโยชน์จากหัวแก่นตะวันในอุตสาหกรรมอาหาร
Planting Techniques of Jerusalem Artichoke in Thailand and Guidelines for Utilization of Jerusalem Artichoke Tubers in the Food Industry

รัชณี พุทธา

คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

นรินทร์ เจริญพันธ์*

คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี

ตำบลโขง อำเภอนาทม จังหวัดจันทบุรี 22170

Ratchanee Puttha

Faculty of Agricultural Production, Maejo University,

San Sai, Chiang Mai 50290

Narin Charoenphun*

Faculty of Science and Arts, Burapha University, Chanthaburi Campus,

Kamong, Tha Mai, Chanthaburi 22170

บทคัดย่อ

แก่นตะวันเป็นพืชหัวที่สามารถนำมาปลูกเป็นพืชหลัก พืชรองหลังนา หรือพืชแซม เนื่องจากมีอายุเก็บเกี่ยวสั้นประมาณ 4 เดือน และมีโอกาสขยายตัวเป็นพืชที่มีศักยภาพทางเศรษฐกิจของไทยได้ในอนาคต โดยบทความนี้ได้รวบรวมองค์ความรู้ที่น่าสนใจเกี่ยวกับลักษณะของแก่นตะวัน เทคนิคการปลูกแก่นตะวันในประเทศไทย การดูแลปฏิบัติ การเก็บเกี่ยวและการเก็บรักษา ในด้านคุณค่าทางโภชนาการ หัวแก่นตะวันเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญทั้งอินูลินและฟรุคโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ รวมถึงใยอาหารและกรดอะมิโนจำเป็นหลายชนิด นอกจากนี้ยังมีสารสำคัญที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ และฤทธิ์ต้านมะเร็ง เป็นต้น ในด้านการใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร หัวแก่นตะวันเป็นส่วนที่บริโภคได้ในรูปหัวสดและนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารหรือแปรรูปให้อยู่ในรูปผงแห้งเพื่อใช้เป็นส่วนผสมในอาหารได้ ซึ่งองค์ความรู้ที่ได้จากการรวบรวมในครั้งนี้สามารถนำไปเป็นแนวทางในการปลูกและการใช้ประโยชน์จากหัวแก่นตะวันในอุตสาหกรรมอาหารต่อไป

คำสำคัญ : แก่นตะวัน; เทคนิคการปลูก; อินูลิน; อุตสาหกรรมอาหาร

Abstract

Jerusalem artichokes are a tuber plant that can be grown as a main crop, secondary crop, or intercrop due to the short harvest period of about four months. It has the opportunity to grow into a plant that has the economic potential of Thailand in the future. This article has been compiled interesting knowledge about the characteristics of Jerusalem artichokes, planting techniques in Thailand, practice, harvest, and storage. In terms of nutrition, the Jerusalem artichoke tuber is a major source of carbohydrates, both inulin and fructo-oligosaccharide, including dietary fiber and many essential amino acids. There are also important substances that have biological effects, such as antioxidant activity, antimicrobial activity, anticancer activity, etc. In terms of the utilization in the food industry, the Jerusalem artichoke tuber is the edible parts in the form of fresh tubers and can be processed into food products or processed into a dry powder for use as food ingredients. Therefore, the knowledge gained from this collection of information can be used as a guideline for the cultivation and utilization of Jerusalem artichoke tubers in the food industry.

Keywords: Jerusalem artichokes; planting technique; inulin; food industry

1. บทนำ

แก่นตะวัน (*Jerusalem artichoke* L.) จัดเป็นพืชหัวที่แม้ว่าจะมีต้นกำเนิดมาจากแถบอเมริกาเหนือ แต่สามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตดีในสภาพแวดล้อมของประเทศไทย และยังทำให้อายุการเก็บสั้นกว่าการปลูกในแถบหนาวเย็น ซึ่งสามารถเก็บเกี่ยวได้ประมาณ 4 เดือน จึงสามารถปลูกเป็นพืชหลัก พืชรอง หลังนา หรือปลูกเป็นพืชแซม การปลูกและดูแลแก่นตะวันคล้ายพืชไร่ ซึ่งไม่ยุ่งยาก แต่สามารถสร้างรายได้ให้เกษตรกรได้สูงกว่าพืชไร่ เนื่องจากมีผลผลิตสูง 2-3 ตันต่อไร่ และมีราคาขายที่สูงกว่าพืชไร่ชนิดอื่น ๆ ตั้งแต่ราคา 50-150 บาทต่อกิโลกรัม ทั้งนี้ขึ้นกับขนาดและคุณภาพของหัว โดยเทคนิคการปลูกแก่นตะวันเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่จะช่วยเพิ่มปริมาณและคุณภาพของผลผลิต ปัจจุบันแก่นตะวันเป็นพืชที่คนไทยรู้จักกันมากขึ้น การขายแก่นตะวันจึงทำได้ง่ายขึ้นมากกว่าการ

นำเข้ามาปลูกในช่วงแรก ๆ อีกทั้งหัวแก่นตะวันยังมีรสชาติอร่อย รับประทานง่าย มีเนื้อสัมผัสคล้ายหัว จึงทำให้ความนิยมในการรับประทานมากขึ้น นอกจากนี้ แก่นตะวันยังมีข้อดี คือ เป็นพืชที่มีโรคและแมลงศัตรูพืชน้อย การเจริญเติบโตสามารถตอบสนองต่อปุ๋ยอินทรีย์ดี ทำให้มีโอกาสปลูกในระบบอินทรีย์ที่มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคและเกษตรกรผู้ผลิต อีกทั้งการปลูกแก่นตะวันอินทรีย์เป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลผลิตแก่นตะวันได้อีกทางหนึ่ง ปัจจุบันประเทศไทยมีพื้นที่การปลูกแก่นตะวันเพิ่มมากขึ้น โดยกระจายอยู่ในหลายจังหวัด ได้แก่ นครราชสีมา เพชรบูรณ์ พะเยา ขอนแก่น ราชบุรี สระแก้ว เป็นต้น ทั้งนี้การใช้ประโยชน์จากแก่นตะวันมีหลายด้าน เช่น การปลูกเพื่อใช้เป็นแหล่งท่องเที่ยวเชิงเกษตรเนื่องจากดอกแก่นตะวันมีสีเหลืองคล้ายดอกบัวตอง กลิ่นหอมอ่อน ๆ ความสูงของต้นไม่สูงหรือเตี้ยจนเกินไป ดอกของแก่น

ตะวันออกไกลเกือบ 2 เดือน เมื่อแก่จนวันบานเต็มทุ่งจะมีความสวยงามดึงดูดนักท่องเที่ยวหรือผู้พบเห็นและผู้ชื่นชอบการถ่ายรูป หรือการนำอินูลินที่อยู่ในหัวแก่จนวันมาเป็นส่วนผสมในอาหารของสัตว์เพื่อใช้ทดแทนยาปฏิชีวนะทำให้สัตว์มีภูมิคุ้มกันที่ดี มีสุขภาพและการเจริญเติบโตดี [1,2] หรือแม้กระทั่งการผลิตพลังงานทดแทนจากหัวแก่จนวัน โดยใช้วิธีการหมัก ซึ่งผลิตเอทานอลได้ 400-1,760 ลิตรต่อไร่ ขึ้นกับชนิดของจุลินทรีย์และสภาพในการหมัก [3] นอกจากนี้ต้นแก่จนวันยังมีอัตราการเจริญเติบโตที่รวดเร็วและมีมวลชีวภาพสูงเหมาะต่อการผลิตเอทานอล [4] โดยทั่วไปหัวแก่จนวันอุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการและสารสำคัญที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ นิยมนำมาบริโภคทั้งในรูปหัวสดและนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น การสกัดอินูลินและฟรุคโทสจากหัวแก่จนวันเพื่อใช้เป็นสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์อาหารไขมันต่ำ รวมถึงใช้เพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสของอาหารและเพิ่มความข้นหนืดของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นสารเพิ่มใยอาหารในการผลิตอาหารพลังงานต่ำ และการผลิตน้ำตาลฟรุคโทสจากหัวแก่จนวันใช้เป็นสารทดแทนน้ำตาลในผลิตภัณฑ์อาหารด้วยศักยภาพในด้านการผลิตและการใช้ประโยชน์ที่กล่าวมาข้างต้น แก่จนวันจึงนับว่าเป็นพืชทางเลือกที่น่าสนใจและมีโอกาสพัฒนาเป็นพืชที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจของประเทศไทยได้ในอนาคต

ดังนั้นข้อมูลองค์ความรู้เกี่ยวกับเทคนิคการปลูกแก่จนวันในประเทศไทยและแนวทาง การใช้ประโยชน์จากหัวแก่จนวันในอุตสาหกรรมอาหารนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ข้อมูลเบื้องต้นให้กับผู้ที่สนใจเกี่ยวกับแก่จนวัน ซึ่งอาจเป็นแนวทางในการใช้ประโยชน์จากแก่จนวันในแง่มุมต่าง ๆ ต่อไป

2. ข้อมูลทั่วไป และเทคนิคการปลูกแก่จนวัน

ในประเทศไทย

2.1 ลักษณะและระยะการเจริญเติบโตของแก่จนวัน

แก่จนวันมีทั้งพันธุ์ปลูกหรือพันธุ์การค้า และพันธุ์ป่า ทำให้มีลักษณะที่หลากหลายขึ้นกับสายพันธุ์และสภาพแวดล้อมในการปลูก ในต่างประเทศสามารถแบ่งชนิดของแก่จนวันจากความสูงของต้นเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ (1) กลุ่มต้นสูงมีความสูงมากกว่า 3 เมตร (2) กลุ่มต้นสูงปานกลาง 2-3 เมตร และ (3) กลุ่มต้นเตี้ยมีความสูงน้อยกว่า 2 เมตร [5] ส่วนแก่จนวันที่ยืนปลูกในประเทศไทยมีความสูงน้อยกว่า 2 เมตร ซึ่งมักพบความสูงของแก่จนวัน 40-120 เซนติเมตร สีของลำต้นมีทั้งสีเขียวและสีเขียวม่วง มีขนแข็งที่ลำต้นและใบ ดอกมีลักษณะคล้ายดอกบัวตองหรือดาวกระจาย กลีบมีสีเหลืองหลายเฉด กลีบดอกมีหลายลักษณะ เช่น เรียวยาว หรือรี ใบมีลักษณะเป็นรูปหอก ขอบใบเรียบหรือหยัก สีใบเขียวอ่อนถึงเขียวแก่ มีระบบรากฝอยที่ช่วยในการดูดธาตอาหาร ทำให้แก่จนวันเจริญเติบโตรวดเร็ว หัวที่มีลักษณะเป็นไหลจะเป็นลักษณะของพันธุ์ป่า ส่วนหัวที่มีลักษณะคล้ายขิงจะเป็นลักษณะของพันธุ์ปลูกเป็นส่วนใหญ่ เปลือกของหัวมีสีน้ำตาล หรือสีแดงม่วง โดยเปลือกแก่จนวันจะบางทำให้สูญเสียได้ง่าย เนื้อของหัวมีสีเหมือนกัน คือ สีขาว มีลักษณะกรอบ รสชาติคล้ายหัวหรือมันแกวหวาน และมัน ลักษณะของหัวเป็นลักษณะที่สำคัญเนื่องจากมีผลต่อการนำไปใช้ประโยชน์ เช่น การมีแขนงของหัว ถ้ามีแขนงมากมักนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเนื่องจากปอกลำบาก หัวที่แขนงน้อยมักนำบริโภคสด ทั้งนี้การศึกษาลักษณะหัวและลักษณะแขนงของแก่จนวันที่ปลูกในสภาพแวดล้อมในประเทศไทย [6] (รูปที่ 1) ลักษณะหัวของแก่จนวันพันธุ์การค้า ได้แก่ แก่จนวันเบอร์ 1 (KT1) ผลผลิตหัวสดสูง 3 ตันต่อไร่ ทั้งการปลูกในฤดูฝนและฤดูแล้ง หัวใหญ่มีแขนงน้อย

รสชาติหวานเหมาะที่จะใช้ในอุตสาหกรรม แก่นตะวันเบอร์ 2 (KT2) ผลผลิตสูง 2.7 ตันต่อไร่ หัวใหญ่กว่า แก่นตะวันเบอร์ 1 มีแขนงน้อย มีกลิ่นหอม รสชาติหวาน มีความกรอบเหมาะสำหรับบริโภคสด และแก่นตะวันเบอร์ 3 (KT3) ให้ผลผลิตสูง 3 ตันต่อไร่ อายุสั้น หัวใหญ่ มีแขนงน้อยมาก รสชาติหวาน เหมาะสำหรับใช้บริโภคสดและในอุตสาหกรรม

ระยะการเจริญเติบโตมีผลต่อการจัดการดูแลของแก่นตะวัน ซึ่งในประเทศไทยมีการศึกษาระยะการเจริญเติบโตของแก่นตะวัน โดยแบ่งการเจริญเติบโตเป็น 3 ระยะใหญ่ คือ ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น (vegetative stage) ระยะการสืบพันธุ์ (reproductive stage) และระยะลงหัว (tuberization stage) [7] (ตารางที่ 1)

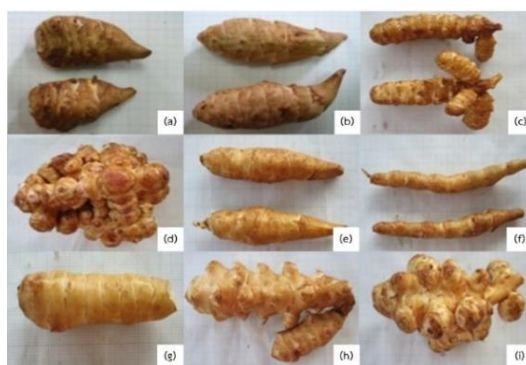


Figure 1 Tuber shape: (a) pear, (b) spindle, (c) oblong, (d) slender, (e) long slender, and (f) knobby cluster and surface topography, (g) shallow, (h) medium, and (i) deep of Jerusalem artichoke tubers

Table 1 Jerusalem artichoke growth stages (vegetative: V2-V20, reproductive: R1-R6 and tuberization: T1-T6) adapted from Puangbut *et al.* [7]

Days after planting	1	30-40	50-60	70-90	100-120
Stages of development	Vegetative stage - Two to four leaves have developed on nodes on main stem, a node is counted when its true leaf is flat (V2-V4).	Vegetative stage - 10-20 leaves have developed on nodes on main stem, a node is counted when its true leaf is flat (V10-V20).	Reproductive stage - Floral bud formation (R1) - Beginning bloom (R2) - Flowering (R3)	Reproductive stage - Beginning of anthesis (R4) - Seed set (R5)	Reproductive stage - Seed maturity (R6)
					
			Tuberization Stage - Stolon (T1) - Tuber initiation (T2)	Tuberization Stage - Tuber formation (T3) - Tuber bulking (T4)	Tuberization Stage - Skin set (T5) - Tuber maturity (T6)
					

2.2 พื้นที่และสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของแก่นตะวัน

แก่นตะวันเป็นพืชที่ตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมเป็นอย่างมาก ซึ่งลักษณะของดินมีผลโดยตรงต่อการลงหัวและคุณภาพของหัว ทั้งนี้สภาพดินที่เหมาะสม คือ ดินร่วนปนทราย ระบายน้ำดี โดยหากพื้นที่ปลูกมีดินแข็งหรือมีหินนั้น การลงหัวจะทำได้ยากและอาจทำให้ลักษณะหัวไม่สวย ส่วนดินระบายน้ำไม่ดีจะทำให้หัวเน่าได้ แก่นตะวันเป็นพืชที่ปลูกได้ตลอดปีในสภาพแวดล้อมของประเทศไทย แต่จะมีปัญหาการงอกในที่มีสภาพอากาศหนาวเย็นในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งมีผลทำให้การงอกของแก่นตะวันชะงักและลำต้นเลื้อย (รูปที่ 2a) แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแก่นตะวันจะงอกได้ตามปกติ ส่วนสภาพอากาศที่เหมาะสม คือ การปลูกช่วงปลายฝนจะได้ผลผลิตสูงกว่าการปลูกช่วงต้นฝน เนื่องจากช่วงต้นฝนแก่นตะวันจะไปเจริญทางลำต้นมากกว่า จึงทำให้แก่นตะวันเป็นพืชที่สามารถนำมาปลูกในช่วงหลังการทำนา เพื่อสร้างรายได้เสริมให้กับเกษตรกร การศึกษาการปลูกแก่นตะวันจำนวน 79 สายพันธุ์ ในพื้นที่เดียวกัน ปีเดียวกัน แต่ปลูกในช่วงต้นฝนและปลายฝน มีค่าเฉลี่ยของอายุเก็บเกี่ยว ผลผลิตหัวสด มวลชีวภาพ และดัชนีเก็บเกี่ยวที่ต่างกัน โดยการปลูกในช่วงปลายฝนทำให้แก่นตะวันมีอายุเก็บเกี่ยวสั้น ผลผลิตหัวสด และดัชนีเก็บเกี่ยวสูงกว่าการปลูกในช่วงต้นฝน (ตารางที่ 2) อย่างไรก็ตาม ฤดูปลูกไม่ได้ส่งผลต่อลักษณะปริมาณอินูลิน [8] เนื่องจากเป็นลักษณะที่ขึ้นอยู่กับพันธุ์ ไม่ขึ้นกับสภาพแวดล้อม ดังนั้นการปลูกแก่นตะวันจึงสามารถปลูกทุกฤดู หรือในช่วงต้นฝนสามารถปลูกเพื่อใช้ต้นเป็นอาหารสัตว์ อย่างไรก็ตาม การศึกษาแก่นตะวันลูกผสมและพันธุ์การค้าพบว่าฤดูปลูกมีผลต่อลักษณะการเกิดโรคโคนเน่า จำนวนหัวและผลผลิตหัวสดแก่นตะวันในปลายฝนจะมีการเกิดโรคน้อย และมีผลผลิตสดสูงกว่า

การปลูกต้นฝน แต่จำนวนหัวจะใกล้เคียงกัน ซึ่งแสดงว่าในช่วงปลายฝนขนาดหัวจะใหญ่กว่าช่วงต้นฝน [9]

2.3 การเตรียมแปลงปลูกแก่นตะวัน

การจัดการแปลงในพื้นที่ปลูกที่เป็นดินร่วนปนทรายหรือดินทราย พื้นที่ที่มีความลาดเอียง และมีการให้น้ำแบบสปริงเกอร์หรือระบบน้ำหยด สามารถทำแปลงปลูกแบบไม่ยกร่อง แต่ในพื้นที่ดินเหนียว มีการท่วมขังของน้ำ และมีการใช้ระบบน้ำแบบปล่อยตามร่อง ควรยกร่องเพื่อให้มีการระบายน้ำ และช่วยในการลงหัวได้ดีขึ้น

2.4 การขยายพันธุ์และการเตรียมหัวพันธุ์

การขยายพันธุ์ของแก่นตะวันสามารถใช้ได้หลายส่วน ได้แก่ หัว ไรโซม ต้นงอก ลำต้น เมล็ด หรือไมโครทิวเบอร์ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ซึ่งแต่ละวิธีมีการนำมาใช้ต่างกัน เช่น หัวจะใช้ในการผลิตทางการค้า ส่วนไรโซม ต้นงอก และลำต้นเป็นวิธีการขยายพันธุ์โดยไม่อาศัยเพศและเป็นวิธีที่ใช้รองลงมา เมื่อไม่มีหัวพันธุ์ใช้ นอกเหนือไรโซมจะเป็นส่วนขยายพันธุ์ของแก่นตะวันป่า ไมโครทิวเบอร์ใช้ในการเก็บรักษาเชื้อพันธุ์กรรมในระยะยาว เมล็ดไม่ได้เป็นส่วนที่ใช้ในการขยายพันธุ์ทางการค้าเหมือนในเมล็ดทานตะวัน แต่เมล็ดมีความสำคัญในการปรับปรุงพันธุ์เมื่อได้ลูกผสม [10] ดังนั้นในบทความนี้จะอธิบายถึงวิธีการใช้หัวในการขยายพันธุ์ โดยในระหว่างที่เตรียมแปลงสามารถเตรียมหัวพันธุ์ในเวลาเดียวกัน เนื่องจากระยะเวลาในการเตรียมต้นกล้าใช้เวลาประมาณ 14 วัน เริ่มจากเลือกหัวแก่นตะวันที่ปลอดโรค และผ่านการเก็บในห้องเย็นมาแล้วไม่น้อยกว่า 14 วัน ซึ่งการใช้หัวที่เก็บเกี่ยวใหม่และนำมาปลูกต้องทำให้การงอกต่ำ และไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากหัวแก่นตะวันมีการพักตัว การเตรียมหัวพันธุ์จะเริ่มตัดที่ปลายหัว ผ่านหัวแนวยาว จากนั้นตัดตามแนวขวางให้ได้ชิ้นแก่นตะวันที่มี 2-3 ตาต่อชิ้น เพื่อให้แก่นตะวันมีแหล่งอาหารเพียงพอในการงอกและ

สามารถใช้หัวเล็กนำไปปลูกได้โดยไม่ต้องตัดแบ่งชิ้นหัว การนำหัวไปปลูกเริ่มจากการบ่มในขุยมะพร้าว แกลบดำ หรือพีทมอสขึ้นเป็นเวลา 7 วัน จะสังเกตเห็นหัวมีตาหนูน หรือยอด หรือรากงอกออกมาก (รูปที่ 2b) จากนั้นให้ ย้ายลงถาดเพาะที่ใช้ดินเพาะ หรือพีทมอส เป็นเวลา 7

วัน ต้นจะงอกออกมา มีใบจริง 1-2 คู่ เรียกว่าระยะหุ กระต่าย (รูปที่ 2c) เกษตรกรสามารถเลือกต้นที่โต สม่าเสมอปลูกเพื่อให้การเจริญเติบโตในแปลงสม่าเสมอ และจัดการดูแลได้ง่าย



Figure 2 Jerusalem artichoke (a) creeping stem, (b) sprouts, (c) seedlings, (d) harvest stage, and (e) cracked soil

Table 2 Days to maturity, fresh tuber yield, biomass, harvest index (HI), inulin content, disease scores and tuber numbers for Jerusalem artichoke in early and late rainy seasons

Jerusalem artichoke	Seasons	Characters	Means	References
79 Jerusalem artichoke accessions	Early rainy season	Days to maturity (days)	118	[8]
		Fresh tuber yield (g/plant)	239.0	
		Biomass (g/plant)	188.4	
		Harvest index	0.30	
		Inulin content (% dry wt)	65.3	
	Rate rainy season	Days to maturity (days)	100	
		Fresh tuber yield (g/plant)	308.2	
		Biomass (g/plant)	116.1	
		Harvest index	0.67	
		Inulin content (% dry wt)	64.3	
47 Jerusalem artichoke hybrid clones and 4 commercial cultivars	Early rainy season	Disease score	2.2	[9]
		Tuber number (tuber/plant)	32	
		Fresh tuber yield (kg/ha)	6,443	
	Rate rainy season	Disease score	1.2	
		Tuber number (tuber/plant)	31	
		Fresh tuber yield (kg/ha)	14,681	

2.5 การปลูกแก่ต้นมะวัน

การปลูกโดยใช้ต้นกล้าแก่ต้นมะวัน อายุ 7 วันหลังย้ายต้นงอกลงถาดเพาะ (รูปที่ 2c) ก่อนปลูก ควรมีการให้น้ำในแปลงปลูก เพื่อให้ดินมีความชุ่มชื้น และหลังจากปลูกต้องให้น้ำทันที เนื่องจากต้นกล้าแก่ต้นมะวันจะเหี่ยวง่าย เมื่อนำต้นกล้าแก่ต้นมะวันใส่ลงไปในหลุมปลูกให้เอาดินกลบและใช้มือกดดินรอบ ๆ ต้นให้แน่น เพื่อรากจะได้สามารถสัมผัสกับดินที่ขึ้น ระยะปลูกมีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิต ระยะปลูกที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของประเทศไทย คือ ระยะ 50×50 เซนติเมตร ทำให้ได้จำนวนต้น 6,400 ต้นต่อไร่ มีงานวิจัยที่สนับสนุนระยะปลูกนี้ในหลายสภาพพื้นที่ในประเทศไทย ได้แก่ พื้นที่เพาะปลูกภาคตะวันออก เฉียงเหนือตอนล่างให้ผลผลิตหัวสดสูงสุด 2,707 กิโลกรัมต่อไร่ [11] พื้นที่เขตดินปากช่องให้ผลผลิตหัวสดสูงสุด 25.4 ตันต่อไร่ [12] ซึ่งจะเห็นได้ว่าระยะปลูกของประเทศไทยแคบกว่าในต่างประเทศ เนื่องจากขนาดต้นของแก่ต้นมะวันมีขนาดเล็กกว่า

2.6 การใส่ปุ๋ย ให้น้ำ และกำจัดวัชพืช

การใส่ปุ๋ยขึ้นกับสภาพดินของพื้นที่ปลูก เกษตรกรควรมีการเก็บดินเพื่อนำไปวิเคราะห์ เพื่อให้ทราบถึงชนิดและปริมาณปุ๋ยที่เหมาะสมกับพื้นที่ปลูก การเจริญเติบโตของแก่ต้นมะวัน อายุ 30 วันหลังย้ายปลูก จะมีการเจริญเติบโตค่อนข้างช้า ความสูงของต้นประมาณ 25-30 เซนติเมตร หลังจากใส่ปุ๋ยแล้ว จะมีการเจริญเติบโตที่รวดเร็วมีความสูงประมาณ 90-200 เซนติเมตร ขึ้นกับพันธุ์และฤดูปลูก จากนั้นมีการทยอยออกดอกและมีไหลแทงลงไปได้ดิน โดยไหลจะขยายเป็นหัว เมื่อระยะเวลาเก็บเกี่ยวดอกจะแห้งและต้นเริ่มเหี่ยว เนื่องจากมีการถ่ายอาหารจากลำต้นไปยังหัวของแก่ต้นมะวัน การใส่ปุ๋ยแก่ต้นมะวันจะใส่เมื่อมีอายุ 30 วัน หลังปลูก โดยก่อนใส่ปุ๋ยควรมีการกำจัดวัชพืชก่อนทุกครั้ง ปุ๋ยที่ทดลองใช้เป็นชนิดแรกคือ N-P-K สูตร

12-24-12 อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ [13] แต่ในการใส่ปุ๋ยทั่วไปมักใช้ N-P-K สูตร 15-15-15 อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ เนื่องจากหาซื้อได้ง่าย และเป็นปุ๋ยพื้นฐานที่เกษตรกรมีไว้ใช้กับพืชทั่วไป และมีการศึกษาอิทธิพลของธาตุอาหาร พบว่าธาตุอาหารที่มีผลต่อจำนวนหัวและน้ำหนักหัวสดแก่ต้นมะวันมากที่สุด คือ N รองลงมา คือ P, K, Ca, Mg, B, Cu และ Zn ตามลำดับ [14] นอกจากนี้เกษตรกรสามารถใช้ปุ๋ยอินทรีย์ทดแทนหรือเสริมปุ๋ยเคมี โดยมีการศึกษาการใส่ปุ๋ยมูลค่างควาไหม อัตรา 15.6 กรัมต่อกระถาง หรือประมาณ 1 ตันต่อไร่ ทำให้แก่ต้นมะวันมีผลผลิตสูงที่สุด และความหวานของหัวแก่ต้นมะวันเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอื่น [15] และปุ๋ยมูลไก่และดินเกลียว อัตราส่วน 1:1 ในปริมาณ 1,600 กิโลกรัมต่อไร่ โดยใส่ 4 สัปดาห์ต่อ 1 ครั้ง ทำให้แก่ต้นมะวันมีการเจริญเติบโตด้านความสูงจำนวนใบ เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นและเส้นผ่านศูนย์กลางทรงพุ่มเพิ่มสูงขึ้น และในด้านผลผลิตทำให้น้ำหนักหัวสดเฉลี่ยมากที่สุด คือ 904.68 กรัมต่อต้น [16]

การให้น้ำสามารถให้น้ำตามร่อง ระบบน้ำหยดหรือระบบสปริงเกอร์ โดยช่วงแรกของการปลูกต้องการน้ำอย่างเพียงพอ เนื่องจากต้นแก่ต้นมะวันมีอาการเหี่ยวง่าย ส่วนในช่วงที่อยู่ในระยะการเจริญเติบโตควรให้น้ำอย่างสม่ำเสมอ โดยไม่จำเป็นต้องให้ทุกวัน สามารถสังเกตจากดินที่แห้ง หรือต้นแก่ต้นมะวันเริ่มมีใบเหี่ยว ควรให้น้ำทันที แต่ช่วงเก็บเกี่ยวไม่ควรมีการให้น้ำมากเกินไปเนื่องจากจะทำให้หัวเน่า การปลูกในช่วงปลายฝนแม้จะให้ผลผลิตสูงกว่าช่วงต้นฝน แต่ควรมีระบบน้ำที่พอเพียง ส่วนการปลูกในช่วงต้นฝนจะมีข้อดีของการประหยัดน้ำ และเหมาะกับในพื้นที่ที่อาศัยน้ำฝนในการเพาะปลูก เนื่องจากการเจริญเติบโตของแก่ต้นมะวันในช่วงแรกจะต้องการน้ำตลอดเวลาเพื่อไม่ให้ต้นเหี่ยว

การกำจัดวัชพืชจะทำครั้งเดียวเมื่อแก่ต้น อายุ 30 วันหลังย้ายปลูก หรือก่อนการใส่ปุ๋ย โดยการใช้มือถอนหรือใช้จอบขุดหญ้าออก โดยต้องระมัดระวังไม่ให้โคนรากหรือไหลของแก่นตะวัน ข้อดีของแก่นตะวัน คือ เป็นพืชที่มีการเจริญเติบโตรวดเร็ว หลังจากอายุ 30 วัน หลังย้ายปลูกทำให้ต้นคลุมพื้นที่ และสามารถแข่งขันกับหญ้าได้ทำให้มีวัชพืชขึ้นน้อย แต่ในช่วงปลายฝนต้นแก่นตะวันมีขนาดไม่ใหญ่เมื่อเปรียบเทียบกับต้นแก่นตะวันที่ปลูกช่วงต้นฝน หรือการปลูกพันธุ์ที่มีขนาดทรงพุ่มเล็ก อาจมีการกำจัดวัชพืชอีกรอบหลังจากใส่ปุ๋ย ซึ่งในช่วงนี้การกำจัดวัชพืชต้องระวังไม่ให้จอบสับโดนหัวแก่นตะวัน

2.7 การเก็บเกี่ยวและการเก็บรักษาหัวแก่นตะวัน

อายุเก็บเกี่ยวของแก่นตะวันขึ้นกับพันธุ์และฤดูปลูก แก่นตะวันเป็นพืชที่ใช้การนับอายุ 100-120 วัน หลังย้ายปลูก การปลูกในช่วงต้นฝนจะทำให้มีอายุเก็บเกี่ยวยาวกว่าช่วงปลายฝน (15-20 วัน) หรือใช้การสังเกตลักษณะของต้นเมื่อถึงอายุเก็บเกี่ยวดอกแห้งและกลีบร่วง ลำต้นเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและต้นเริ่มแห้ง (รูปที่ 2d) และจะสังเกตบริเวณรอบโคนต้นจะมีการแตกของดิน (รูปที่ 2e) เนื่องจากการขยายของหัวและต้นดินขึ้นมา การเก็บเกี่ยวจะเริ่มจากตัดต้นให้เหลือลำต้นยาวประมาณ 30 เซนติเมตร เพื่อเอาไว้ดึงหัวออกจากดิน ใช้เสียมหรือจอบขุดดินรอบ ๆ หัวแก่นตะวัน โดยปกติแก่นตะวันลงหัวที่ความลึก 30-40 เซนติเมตร และมีไหลยาวออกไป หลังจากขุดบริเวณรอบ ๆ ต้นและดึงหัวออกมา จะมีไหลขาดทำให้หัวบางส่วนอยู่ในดิน ควรจะขุดรอบ ๆ โคนต้นเพื่อเก็บหัวที่ไหลขาดและหัวยังอยู่ใต้ดิน เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มากที่สุด แก่นตะวันให้ผลผลิตประมาณ 2-3 ตันต่อไร่ ขึ้นกับพันธุ์และสภาพการปลูก ดูแลปฏิบัติ หลังจากขุดหัวแก่นตะวัน แก่นตะวันที่ขุดขึ้นมามีส่วนของไหล

ติดมาด้วย ให้หักส่วนไหลจนชิดโคนของหัวแก่นตะวัน จากนั้นนำหัวที่ได้ล้างด้วยน้ำสะอาดเพื่อลดการปนเปื้อนของเชื้อโรค พันธุ์ที่มีแขนงมาก สามารถใช้แปลงสีพันธุ์ได้ โดยไม่ให้เกิดการกลอกของเปลือก แก่นตะวันมีหัวหลายขนาด แบ่งเป็นหัวเล็ก หัวกลาง และหัวใหญ่ (รูปที่ 3) มีอัตราส่วนของหัวแต่ละขนาด ขึ้นกับพันธุ์ของแก่นตะวัน มีการศึกษาการแบ่งหัวเป็น 4 ขนาด ได้แก่ หัวพิเศษ (special) หัวใหญ่ (large) หัวกลาง (medium) และหัวเล็ก (small) ตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยหัวที่จำหน่ายเป็นหัวสดได้ จากหัวพิเศษ หัวใหญ่ และหัวกลาง รวมกันประมาณร้อยละ 80 และหัวเล็กที่สามารถนำมาจำหน่ายเป็นหัวพันธุ์ หรือใช้ในการขยายพันธุ์ต่อไป มีประมาณร้อยละ 20 พันธุ์การคำ คือ JA37 มีหัวพิเศษ หัวใหญ่ และหัวกลาง รวมกันประมาณร้อยละ 80 [17] การประเมินปริมาณอัตราส่วนของขนาดหัวจะมีผลต่อการกำหนดราคาของแก่นตะวันและการนำไปใช้ เช่น การจำหน่ายจะใช้หัวพิเศษ หัวใหญ่ และหัวกลาง ส่วนหัวเล็กนำมาใช้ในการขยายพันธุ์ต่อไป เนื่องจากหัวเล็กขายได้ราคาต่ำกว่าหัวใหญ่ จึงควรนำมาใช้ในการขยายพันธุ์และการใช้หัวเล็กไม่ต้องเสียเวลาในการแบ่งหัวพันธุ์ และปลอดภัยจากโรค เนื่องจากไม่มีบาดแผลจากการตัดหัว ทั้งนี้มีการศึกษาการใช้หัวพันธุ์ขนาดเล็ก (ใช้ทั้งหัว มีตา 2-3 ตา) หัวพันธุ์ขนาดใหญ่ (ตัดให้มีตา 2-3 ตา) และใช้ไหลในการขยายพันธุ์ พบว่าร้อยละการงอก ความสูง และการให้ผลผลิตไม่ต่างกัน [18]

การเก็บรักษาหัวสดและหัวพันธุ์ของแก่นตะวัน ควรเก็บในถุงพลาสติกปิดปาก และเก็บในตู้เย็นอุณหภูมิ 4-10 องศาเซลเซียส หรือในตู้เย็นช่องผักสามารถเก็บได้นานหลายเดือน แต่จะมีการสูญเสียผลผลิต เนื่องจากมีการงอกของต้นที่หัว หัวผ่อด้านบนของหัวไปเรื่อย ๆ หรือเกิดการเน่าเสียของหัวที่เกิดจากรา แบคทีเรีย และยีสต์ [19] (รูปที่ 4a-4c) มี

งานวิจัยศึกษาเชื้อโรคที่เกิดขึ้นขณะเก็บรักษา [19,20] ดังนั้นจึงควรมีการตรวจหัวเน่าในถุงเสมอ และนำออกมาทั้ง การเก็บรักษาที่อุณหภูมิที่เหมาะสมมีผลต่อการงอกของหัวพันธุ์ ซึ่งการเก็บรักษาหัวแก่้นตะวันไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 เดือน เป็นการเพิ่มร้อยละการงอกหลังเพาะของแก่้นตะวันที่อายุ 10 วัน เก็บรักษานานถึง 10 เดือน จะทำให้ร้อยละการงอกลดลง [21]

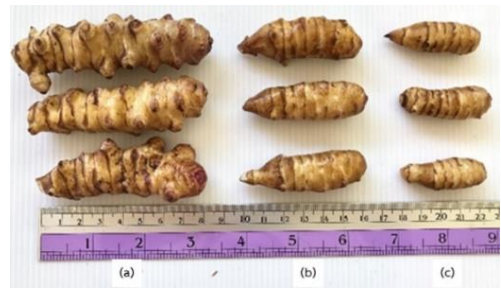


Figure 3 Jerusalem artichoke tuber size (a) large, (b) medium, and (c) small

Table 3 Weight of tuber and tuber ratio (%) per plant of Jerusalem artichoke modified from Ngamprasitthi and Changlek [17]

Varieties	Weight of tuber/plant (g) and ratio (%)				
	Special	Large	Medium	Small	Total
JA1	8,672.0 (41.72)	6,904.0 (33.22)	1,528.0 (7.35)	3,680.0 (17.71)	20,784.0
JA2	9,560.0 (40.01)	6,984.0 (29.23)	2,320.0 (9.71)	5,028.0 (21.04)	23,892.0
JA37	8,336.0 (43.04)	6,153.6 (31.77)	824.0 (4.25)	4,056.0 (20.94)	19,369.6
JA38	7,712.0 (42.23)	5,328.0 (29.17)	1,382.5 (7.57)	3,840.0 (21.03)	18,262.5
JA53	10,562.2 (46.46)	6,417.8 (28.23)	1,208.0 (5.31)	4,544.0 (19.99)	22,732.0
HEL61	8,496.0 (39.67)	7,312.0 (34.14)	1,360.0 (6.35)	4,248.0 (19.84)	21,416.0
HEL231	11,584.0 (43.51)	7,765.2 (29.17)	2,185.4 (8.21)	5,088.0 (19.11)	26,622.6
Mean	9,274.61 (42.41)	6,694.9 (30.62)	1,544.0 (7.06)	4,354.0 (19.91)	21,867.5

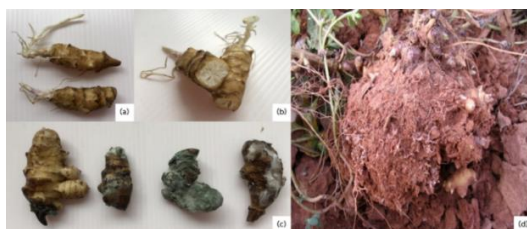


Figure 4 Losses during long term storage of Jerusalem artichoke tuber: (a) geminated tuber, (b) atrophy tuber, (c) disease, and (d) stem rot caused by *Sclerotium rolfsii*

2.8 โรคและวิธีการป้องกัน

โรคที่สำคัญของแก่้นตะวันและมีผลต่อผลผลิต คือ โรคโคนเน่า (รูปที่ 4d) เกิดจากรา *Sclerotium rolfsii* พบเมื่อเริ่มมีหัว เนื่องจากมีแหล่งอาหารให้กับรา ลักษณะเป็นเส้นใยสีขาว ทำให้เกิดความเสียหายกับหัว ทำให้หัวเน่าเหม็น และที่สำคัญยังทำให้หัวพันธุ์เป็นแหล่งของเชื้อโรค เมื่อนำไปปลูกในแปลงทำให้เกิดการระบาดของโรคได้ การป้องกันกำจัดคือเลือกใช้หัวพันธุ์ที่ปลอดโรค การใช้สารเคมี (chemical control) เช่น ไวตาแวกซ์ (Vitavax) หรือ

เทอร์ราคลอร์ ซูเปอร์-เอ็กซ์ (Terraclor Super-X) และการใช้ชีววิธี (biological control) เช่น การใช้ ไตรโคเดอร์มา [22] การป้องกันกำจัดขั้นต้น คือ เมื่อพบเห็นต้นเป็นโรคควรขุดและนำไปทำลายให้ไกลจากแปลง หรือใช้สารกำจัดราวดิน งานวิจัยเกี่ยวกับวิธีการป้องกันกำจัดรา *S. rolfsii* มีค่อนข้างมากและหลากหลายวิธี ได้แก่ การใช้พันธุ์ต้านทาน การใช้สารเคมี และการควบคุมโรคโดยชีววิธี ซึ่งพบว่างานวิจัยส่วนใหญ่ใช้ชีววิธีมากที่สุด เนื่องจากปลอดภัยต่อการรับประทานหัวสด ซึ่งแก่จนตะวันสามารถจัดการให้เป็นพืชอินทรีย์เพราะมีโรคและแมลงรบกวนน้อย แนวทางการป้องกันกำจัดรา *S. rolfsii* ในแก่จนตะวัน (ตารางที่ 4) และขั้นตอนการปลูกและการดูแลแก่จนตะวันแสดงในรูปที่ 5

3. องค์ประกอบทางเคมี คุณค่าทางโภชนาการ และฤทธิ์ทางชีวภาพของแก่จนตะวัน

3.1 องค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการของหัวแก่จนตะวัน

หัวแก่จนตะวันเป็นส่วนที่นำมาบริโภคและแปรรูปเป็นอาหาร มีความโดดเด่นด้านคุณค่าทางโภชนาการและเป็นแหล่งของสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ โดยทั่วไปองค์ประกอบทางเคมีในหัวแก่จนตะวันดิบประกอบด้วยความชื้นร้อยละ 78 โปรตีนร้อยละ 15-16 โยอาหารร้อยละ 15 น้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 10 แร่ธาตุร้อยละ 0.5 และไขมันทั้งหมดร้อยละ 0.01 โดยแร่ธาตุสำคัญที่พบ ได้แก่ โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม แคลเซียม และโซเดียม [29] สารกลุ่มคาร์โบไฮเดรตสำคัญที่พบในแก่จนตะวัน คือ อินูลิน (inulin) และฟรุคโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ (fructo-oligosaccharide, FOS) ซึ่งมีสูงถึงร้อยละ 16-20 ของน้ำหนักสด [30] โมเลกุลของอินูลินเป็นเฮเทอโรพอลิแซ็กคาไรด์ ซึ่งประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาล

มากกว่า 1 ชนิด มาเชื่อมต่อกัน โดยเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาล ฟรุคโทส 10-60 โมเลกุล จึงเรียกว่าฟรุคแทน (fructan) [31] รูปที่ 6 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของอินูลิน โดยฟรุคโทสเรียงต่อกันเป็นสายยาวเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกชนิด β (1-2) เป็นสายตรง ตอนปลายจะมีกลูโคสต่อเชื่อม อินูลินมีสมบัติเป็นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ [32] ช่วยปรับปรุงการย่อยในลำไส้ใหญ่ ช่วยในการขับถ่ายและมีสมบัติเป็นพรีไบโอติก คือ เป็นอาหารของจุลินทรีย์ในลำไส้ของมนุษย์ โดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย และลดจุลินทรีย์ที่ก่อ

Table 4 Methods for control *Sclerotium rolfsii*

Methods	Ref.
Biological control	
Humic acid + AMF (<i>Arbuscular mycorrhiza</i>)	[24]
Sulphex + AMF	
ABZ + AMF	
75 % poultry + 25 % pigeon manure	[25]
2 % caraway oil, kept between peat moss layers and stored at 25/10 °C, da/night and 70 % RH	[20]
<i>Trichoderma harzianum</i> isolate T-30	[26]
<i>Arbuscular mycorrhizal fungi</i> (<i>Glomus clarum</i> KKURA0305)	[27]
<i>Trichoderma harzianum</i> T9	[28]
Resistance varieties	
(CN52867 x JA6)-1	[9]
(JA 6 x HEL65)-2	
(JA37 x JA6)-10	
JA6	[23]
Chemical control	
5-10 % citric acid and 2M Na ₂ CO ₃	[19]

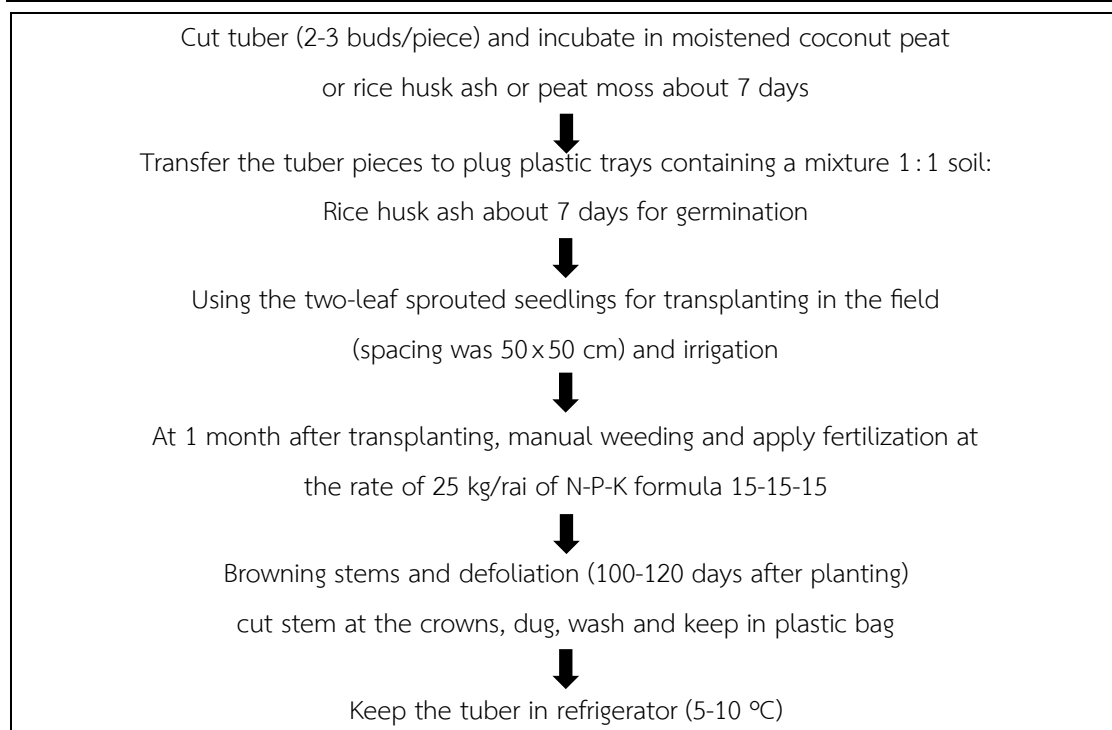


Figure 5 The process of planting and practice for Jerusalem artichoke

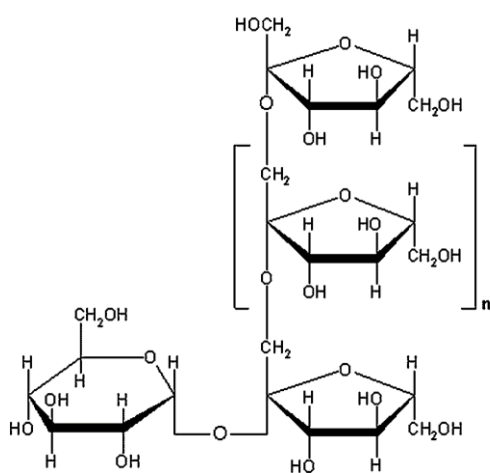


Figure 6 Chemical structure of inulin

โรค นอกจากนี้อินูลินยังมีแคลอรีต่ำประมาณ 4 แคลอรีต่อกรัมอินูลิน ช่วยควบคุมระดับน้ำตาลและไขมันในเลือด และมีค่าดัชนีน้ำตาล (glycemic index) ต่ำ [33] หัวแก่้นตะวันเป็นแหล่งของกรดอะมิโนที่สำคัญหลาย

ชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรดอะมิโนกลุ่มที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ (sulfur amino acid) ได้แก่ ซิสเทอีนและเมไทโอนีน ซึ่งมีปริมาณมากกว่าซีโครี (*Cichorium intybus* L.) และมันฝรั่งถึง 4 เท่า และมีปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นทั้งหมดมากกว่าซีโครีและมันฝรั่ง 2 เท่า [34] โดยองค์ประกอบทางเคมีของหัวแก่้นตะวันขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ เทคโนโลยีการเพาะปลูก พันธุ์สารอาหารที่ได้รับระหว่างการพัฒนาเจริญเติบโต สภาพแวดล้อม ฤดูกาล ระยะการเติบโต ชนิดและคุณภาพของดิน เป็นต้น [35]

3.2 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากส่วนต่าง ๆ ของแก่้นตะวัน

สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive compound) ที่สกัดได้จากส่วนต่าง ๆ ของแก่้นตะวัน (ตารางที่ 5) มีฤทธิ์ในการต้านรา ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ช่วยต้านมะเร็ง และสรรพคุณทางยา เช่น

ใบของแก่นตะวันนำมาสกัดเป็นยาพื้นบ้านสำหรับรักษากระดูกหัก แผลที่ผิวหนัง บรรเทาอาการปวดบวม [36] โดยใบของแก่นตะวันเป็นแหล่งของกรดอะมิโนจำเป็นหลายชนิดและอุดมไปด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่หลายอัน (polyunsaturated fatty acid, PUFA) ประมาณร้อยละ 66-68 เช่น กรดลิโนเลนิกและกรดไลโนเลอิก โดยมีกรดลิโนเลนิกร้อยละ 39-43 ของปริมาณไขมันทั้งหมด นอกจากนี้ยังพบกรดไขมันโอเมกา-6 และกรดไขมันโอเมกา-3 ในอัตราส่วนประมาณ 0.6 : 1 ในสารสกัดจากใบแก่นตะวัน [37] Pan และคณะ [38] สกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากส่วนต่าง ๆ ของแก่นตะวัน ประกอบด้วยราก หัว ลำต้น ใบ ดอก และเมล็ด พบสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญ 9 ชนิด ซึ่งเมื่อนำไปทดสอบฤทธิ์ต้านเซลล์มะเร็งเต้านมพบสารสองชนิด คือ 4,15-isotriplecolide angelate และ 4,15-isotriplecolide methylacrylate ซึ่งเป็นสารในกลุ่ม germacrane sesquiterpene

lactone ที่ได้จากใบของแก่นตะวันมีฤทธิ์ต้านเซลล์มะเร็งเต้านม อีกทั้งใบและหัวของแก่นตะวันยังมีสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ โดยในใบแก่นตะวันจะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์สูงกว่าส่วนหัวประมาณ 5.07 and 7.14 เท่า ตามลำดับ [39] นอกจากนี้สารสกัดจากใบแก่นตะวันมีฤทธิ์ต้านราหลายชนิด ได้แก่ *Rhizoctonia solani*, *Gibberella zeae*, *Alternaria solani* และ *Botrytis cinerea* [40] โดยสารสำคัญที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งรา คือ กรดคาเฟอิก 3,4-dicaffeoylquinic acid และ 1,5-dicaffeoylquinic acid [41] ทั้งนี้ส่วนต่าง ๆ ของแก่นตะวันยังมีสารสำคัญที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ต่างกันไป ซึ่งเป็นแหล่งวัตถุดิบที่น่าสนใจในการศึกษาพัฒนาเพื่อนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ทั้งในแง่สุขภาพและในอุตสาหกรรมอื่นต่อไป

Table 5 Bioactive activities from various parts of Jerusalem artichoke

Jerusalem artichoke	Bioactive activities	Bioactive compounds	Ref.
Leave	Anticancer	Two germacrane-type sesquiterpene Lactones (4,15-isotriplecolide angelate and 4,15-isotriplecolide methylacrylate)	[38]
Tuber and leave	Antioxidant	Phenols and flavonoids	[39]
Leave	Antifungal	Caffeic acid, 3,4-dicaffeoylquinic acid and 1,5 dicaffeoylquinic acid	[41]
Tuber and leave	Antimicrobial	Essential oils	[42]
Flower	Antioxidant	Phenols and flavonoids	[43]
Tuber	Antioxidant and anti-inflammatory	Phenolics	[44]
Tuber, leave flowers and stem	Antioxidant	Phenolic acids	[45]

4. แนวทางการใช้ประโยชน์จากหัวแค้นตะวัน ในอุตสาหกรรมอาหาร

4.1 หัวแค้นตะวันสด

โดยทั่วไปหัวแค้นตะวันสดเมื่อนำมาล้างทำความสะอาดแล้วสามารถรับประทานได้ทั้งเปลือก แต่เนื่องจากเมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลานานจะทำให้มีคุณภาพลดลง การนำหัวแค้นตะวันสดไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเป็นทางเลือกหนึ่งซึ่งนอกจากจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาให้ยาวนานขึ้นยังเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลผลิตอีกทาง ปัจจุบันมีการนำหัวแค้นตะวันสดมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารหลากหลายรูปแบบ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์แค้นตะวันสด วิธีการในการรักษาคุณภาพของแค้นตะวัน เช่น การจุ่มในเอทานอล [46] และการเก็บรักษาแบบควบคุมบรรยากาศ (controlled atmosphere storage) ซึ่งเป็นวิธีการควบคุมสัดส่วนบรรยากาศ คือ ปริมาณของออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และไนโตรเจนให้เหมาะสมและคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาโดยการแช่เย็นที่อุณหภูมิต่ำ รวมถึงการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมหรือการบรรจุแบบดัดแปรบรรยากาศ (modified atmosphere packaging) ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 95 ซึ่งสามารถกล่าวสามารถลดอัตราการหายใจ ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาหัวแค้นตะวันสดให้นานขึ้น [47] แต่สำหรับผลิตภัณฑ์แค้นตะวันสดตัดแต่ง (fresh-cut product) พร้อมบริโภค มักพบปัญหาหลักจากการปอกเปลือกและตัดแต่งหัวแค้นตะวันสด คือ การเปลี่ยนสีจากเนื้อสีขาวเป็นสีแดง ซึ่งเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ฟีนิลอะลานีนแอมโมเนียไลเอส (phenylalanine ammonialyase, PAL) และเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase, PPO) [46] ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (enzymatic browning reaction) ซึ่งจะเกิดขึ้นได้โดยมีองค์ประกอบที่สำคัญ คือ สารตั้งต้น

โดยเฉพาะกลุ่มสารประกอบฟีนอล และมีเอนไซม์ในกลุ่มฟีนอลเอสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและจะเกิดขึ้นได้เร็วหากอยู่ในสภาพที่มีค่าความเป็นกรดต่ำและปริมาณออกซิเจนที่เหมาะสม โดยทั่วไปปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์นี้เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดขึ้นเมื่อปอกเปลือกและตัดแต่งแค้นตะวันทำให้เซลล์เกิดการฉีกขาด ส่งผลให้เอนไซม์ทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้น โดยสารประกอบโมโนฟีนอลเปลี่ยนเป็นสารไดฟีนอล (diphenol) ซึ่งไม่มีสี และออกซิไดซ์ต่อเป็นออร์โท-ควิโนน (o-quinone) ซึ่งมีสีน้ำตาล และจะรวมตัวกันเป็นโพลิเมอร์เกิดเป็นสารโมเลกุลใหญ่ที่มีสีน้ำตาล [31] อย่างไรก็ตาม การชะลอการเกิดสีน้ำตาลของแค้นตะวันสดตัดแต่งพร้อมบริโภคทำได้หลายวิธี ได้แก่ การลวกในน้ำเดือด การแช่ในน้ำผึ้ง การแช่ในน้ำเกลือ การแช่ในกรดซิตริก การแช่ในโซเดียมเมแทไบซัลไฟต์ เป็นต้น [48] นอกจากนี้หัวแค้นตะวันสดยังสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารหลากหลายชนิดเป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภค ได้แก่ แค้นตะวันดอง กิมจิจากแค้นตะวัน [49] แค้นตะวันแผ่นทอดกรอบ [50] น้ำแค้นตะวัน [51] เครื่องดื่มจากน้ำหมักแค้นตะวัน [52] เป็นต้น

4.2 หัวแค้นตะวันผง

การแปรรูปหัวแค้นตะวันให้อยู่ในรูปผงมีขั้นตอนการผลิตดังแสดงในรูปที่ 7 เริ่มจากการนำหัวแค้นตะวันไปล้างทำความสะอาด หั่นเป็นชิ้นบางขนาดประมาณ 1 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปแช่ในสารละลายกรด ก่อนอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ปั่นให้เป็นผงละเอียดและร่อนผ่านตะแกรง ได้เป็นหัวแค้นตะวันผง เก็บในภาชนะบรรจุปิดสนิท [53] หัวแค้นตะวันผงแบบที่ปอกเปลือกและไม่ปอกเปลือกมีองค์ประกอบทางเคมีต่างกันเล็กน้อย โดยหัวแค้นตะวันผงแบบปอกเปลือกมีปริมาณโปรตีน ไขมัน น้ำตาลรีดิวซ์ อินูลิน สูงกว่าหัวแค้นตะวันผงที่

ไม่ได้ปอกเปลือก และเมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของหัวแก่้นตะวันผงกับแป้งสาลี พบว่าปริมาณใยอาหารและเถ้าในหัวแก่้นตะวันผงมีปริมาณสูงกว่าในแป้งสาลีประมาณ 10 เท่า และหัวแก่้นตะวันผงมีอินูลินซึ่งไม่พบในแป้งสาลี แต่ในส่วนขอปริมาณโปรตีนและกรดอะมิโนในหัวแก่้นตะวันผง พบว่ามีปริมาณใกล้เคียงกับแป้งสาลี แต่ปริมาณไลซีนซึ่งเป็นกรดอะมิโนจำเป็นและกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น ได้แก่ อะลานีน อาร์จินีน กรดแอสพาร์ติก และฮิสทีดิน ในหัว

แก่้นตะวันผงมีปริมาณสูงกว่าในแป้งสาลี [54] หัวแก่้นตะวันสามารถนำไปใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตอาหารต่าง ๆ ซึ่งช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและปรับปรุงคุณภาพให้กับผลิตภัณฑ์อาหารได้ เช่น การเสริมผงแก่้นตะวันในผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นไก่ [55] และผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมัก [56] นอกจากนี้จะใช้เป็นส่วนผสมในการทดแทนไขมัน เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ ยังช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้านการเกิดเจลและความคงตัวของอิมัลชัน

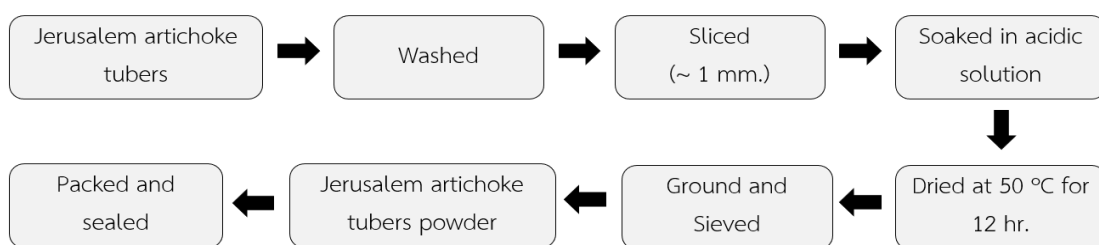


Figure 7 Production of Jerusalem artichoke tuber powder

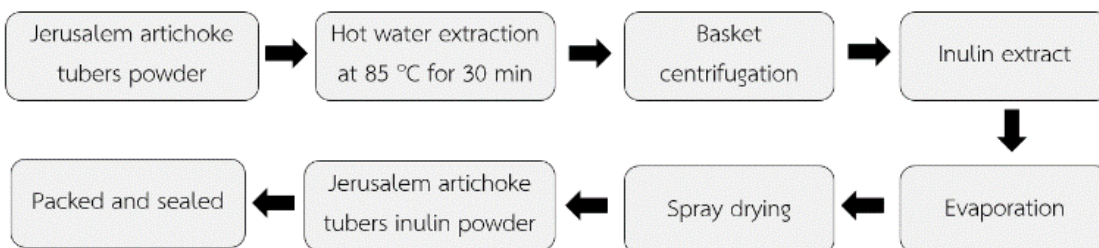


Figure 8 Production of Jerusalem artichoke tuber inulin powder

4.3 อินูลินผงจากหัวแก่้นตะวัน

อินูลินเป็นสารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ ซึ่งมีสมบัติเป็นพรีไบโอติกและเป็นเส้นใยอาหารที่ละลายได้ดีในน้ำร้อน โดยการผลิตอินูลินผงจากหัวแก่้นตะวันแสดงในรูปที่ 8 เริ่มจากการสกัดหัวแก่้นตะวันผงในน้ำร้อนอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ก่อนเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง แยกอินูลินออกและนำเข้าเครื่องระเหย และทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่น

ฝอย ได้เป็นอินูลินผงจากหัวแก่้นตะวัน เก็บในภาชนะบรรจุปิดสนิทป้องกันความชื้น ปริมาณโปรตีนและเส้นใยอาหารทั้งหมดในอินูลินผงจากหัวแก่้นตะวันลดลงประมาณ 1.6 และ 5.7 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับหัวแก่้นตะวันผง [57] โดยสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย คือ การใช้สารสกัดที่มีความเข้มข้น 30 องศาบริกซ์ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ระดับ 190 องศาเซลเซียส ได้ผลิตภัณฑ์อินูลินผงจากหัวแก่้น

ตะวันที่มีลักษณะดี ได้ปริมาณผลผลิตสูง ผงที่ได้มีความสามารถในการละลายและค่าการดูดซับดี [58] ปัจจุบันมีการนำอินูลินมาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหาร โดยอินูลินคุณภาพดีได้ใช้เป็นส่วนผสมทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันต่ำเนื่องจากให้ความหนืด มีเนื้อเนียนเป็นครีม ให้ความรู้สึกในปากที่คล้ายกับไขมัน โดยการใช้อินูลินเป็นส่วนผสมในการผลิตอาหารส่งผลต่อคุณภาพของอาหารในลักษณะที่ต่างกัน ไป เช่น การเสริมอินูลินผงจากหัวแก่้นตะวันในผลิตภัณฑ์ไอ้กข้าวหอมมะลิ เครื่องดื่มจากธัญพืช เครื่องดื่มจากนมถั่วเหลือง และเครื่องดื่มช็อกโกแลตมอลต์ ส่งผลให้ทั้ง 4 ผลิตภัณฑ์ มีคุณภาพโดยรวมใกล้เคียงกับสูตรที่ไม่มีการเติมอินูลินผงจากหัวแก่้นตะวัน แต่ลักษณะปรากฏด้านการเปลี่ยนแปลงสีของทั้ง 4 ผลิตภัณฑ์ มีสีเข้มกว่าสูตรที่ไม่มีการเติมอินูลินผงจากหัวแก่้นตะวันเล็กน้อย [57] และการใช้อินูลินผงจากหัวแก่้นตะวันเป็นสารทดแทนไขมันในเค้ก ส่งผลให้ความหนืดและการสูญเสียน้ำหนักของเค้กมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นของอินูลินเพิ่มขึ้น โดยปริมาณที่เหมาะสมของอินูลินผงจากหัวแก่้นตะวัน คือ ร้อยละ 30 ซึ่งมีศักยภาพในการทดแทนไขมันในเค้กได้ดีให้เค้กที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับเค้กสูตรปกติ [59]

4.4 ฟรุคโตโอลิโกแซ็กคาไรด์จากหัวแก่้นตะวัน

ฟรุคโตโอลิโกแซ็กคาไรด์บางครั้งเรียกว่าโอลิโกฟรุคโตสหรือโอลิโกฟรุคแทนเป็นโอลิโกแซ็กคาไรด์ที่มีน้ำตาลฟรุคโทสเป็นมอนอเมอร์ ซึ่งโอลิโกแซ็กคาไรด์ที่เปลี่ยนโครงสร้างมาจากอินูลิน มีความยาว 2-7 หน่วยในแต่ละโซ่ ฟรุคโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ที่ได้จากกระบวนการหมักน้ำตาลประกอบด้วยโซ่ฟรุคโทส 3-5 หน่วย ที่มีกลูโคสเชื่อมต่อที่ปลายสุดของโซ่ ทั้งอินูลินและฟรุคโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ถูกใช้เป็นพรีไบโอติก คืออาหารที่มีลักษณะเฉพาะที่ไม่ย่อยและดูดซึมในระบบ

ทางเดินอาหารตอนบนและสามารถเพิ่มปริมาณแบคทีเรียชนิดเฉพาะเจาะจงที่มีอยู่ตามปกติในลำไส้ใหญ่จึงส่งผลดีต่อสุขภาพ [60] การผลิตฟรุคโตโอลิโกแซ็กคาไรด์จากหัวแก่้นตะวันอาจเตรียมจากการสลายอินูลินหรือโพลีฟรุคโทสโดยเอนไซม์หรือสารเคมี ซึ่งทั้งสองวิธีมีข้อดีและข้อด้อยต่างกัน การผลิตโดยใช้เอนไซม์ เช่น ฟรุคโตซิลทรานสเฟอเรสและอินูลินสัจเด่น คือ เอนไซม์มีความจำเพาะเจาะจงในการทำงานของเอนไซม์ ส่วนข้อด้อย คือ เป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายสูง มีกระบวนการที่ค่อนข้างซับซ้อน ใช้ระยะเวลานาน และต้องการควบคุมสภาวะการดำเนินงานให้เหมาะสมกับการทำงานของเอนไซม์ ส่วนวิธีผลิตโดยใช้สารเคมีจะมีความคุ้มค่ากว่าในเรื่องของต้นทุนการผลิต ปัจจุบันมีการพัฒนากระบวนการเพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตฟรุคโตโอลิโกแซ็กคาไรด์จากหัวแก่้นตะวันด้วยวิธีการอื่น ๆ เช่น การใช้ความร้อนจากไมโครเวฟร่วมกับการใช้กรดไฮโดรคลอริก [61]

4.5 ฟรุคโทสจากหัวแก่้นตะวัน

ฟรุคโทสใช้เป็นสารให้ความหวานแทนน้ำตาลซูโครสได้ โดยฟรุคโทสเป็นน้ำตาลที่มีค่าดัชนีน้ำตาล 23 น้อยกว่าน้ำตาลซูโครสซึ่งมีค่าดัชนีระดับน้ำตาล 65 ฟรุคโทสจึงเป็นสารให้ความหวานที่เหมาะสมสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวานหรือผู้ที่มีภาวะโรคอ้วน ที่น่าสนใจมากกว่านั้น คือ ความหวานของฟรุคโทสมากกว่าน้ำตาลซูโครสประมาณ 1.4 เท่า การบริโภคน้ำตาลน้อยลงช่วยลดการย่อยสลายของจุลินทรีย์และการสะสมในช่องปากลดโอกาสในการเกิดฟันผุได้ โดยทั่วไปฟรุคโทสได้จากการย่อยแบ่งด้วยเอนไซม์หลายชนิด ซึ่งมีขั้นตอนที่ค่อนข้างซับซ้อนได้ผลิตภัณฑ์เป็นฟรุคโทสร้อยละ 45 และกลูโคสร้อยละ 55 ส่วนการย่อยอินูลินด้วยเอนไซม์อินูลินสัจเพียงขั้นตอนเดียวและได้ฟรุคโทสประมาณร้อยละ 95 [36] นอกจากการย่อยด้วยเอนไซม์ (enzymatic hydrolysis) ยัง

สามารถผลิตฟรุคโทสจากหัวแก่แ่นตะวันให้อยู่ในรูปของน้ำเชื่อมหรือฟรุคโทสไซรัปโดยใช้วิธีการย่อยด้วยกรด

(acid hydrolysis) โดยการผลิตฟรุคโทสไซรัปจากหัวแก่แ่นตะวันดังแสดงในรูปที่ 9

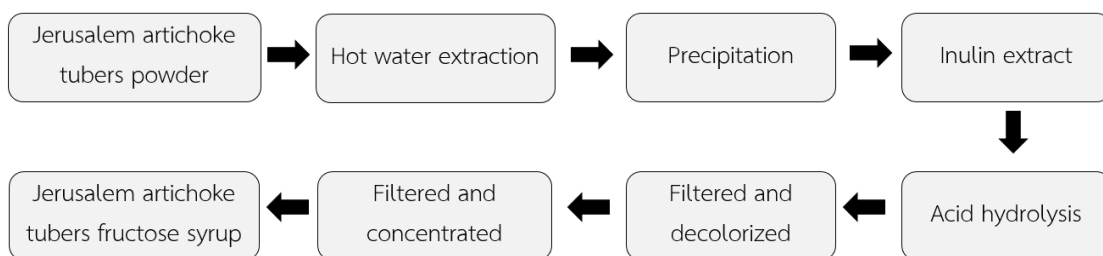


Figure 9 Production of Jerusalem artichoke tuber fructose syrup

วิธีการผลิตเริ่มจากการนำหัวแก่แ่นตะวันผงมาสกัดด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ในอัตราส่วนของหัวแก่แ่นตะวันผงต่อน้ำเท่ากับ 1 ต่อ 20 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) จากนั้นนำไปตกตะกอนด้วยเอทานอลหรืออะซีโตน ได้สารสกัดอินูลิน (ความเข้มข้นร้อยละ 95 ต่อน้ำหนักแห้ง) และนำไปย่อยด้วยกรดซัลฟูริก ปรับค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 2 ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที กรองและกำจัดสีด้วยถ่านกัมมันต์ผ่านการปรับสภาพให้มีค่าความเป็นกรดต่าง 6.5-7.0 กรองก่อนนำไปทำให้เข้มข้นด้วยเครื่องระเหยได้เป็นฟรุคโทสไซรัปจากหัวแก่แ่นตะวัน [62] นอกจากแนวทางการใช้ประโยชน์จากหัวแก่แ่นตะวันดังที่กล่าวมาข้างต้น หัวแก่แ่นตะวันและส่วนอื่น ๆ ทั้ง ราก ลำต้น ใบ ดอก และ เมล็ด ยังมีองค์ประกอบทางเคมีและสารสำคัญที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพอีกมากมายที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมอื่นที่ไม่ใช่อาหาร

5. สรุป

แก่แ่นตะวันเป็นพืชทางเลือกที่น่าสนใจและมีโอกาสพัฒนาเป็นพืชเศรษฐกิจของไทยได้ในอนาคต เนื่องจากเป็นพืชที่ใช้เวลาสั้นในการปลูกและ

เจริญเติบโต สามารถปลูกเป็นพืชหลังนาสร้างรายได้เสริมให้กับเกษตรกร ช้อนแนะนำในการปลูกแก่แ่นตะวันคือ ควรมีตลาดรองรับ หรือมีกลุ่มลูกค้าที่สนใจ ได้แก่ กลุ่มผู้รักสุขภาพ กลุ่มผู้ป่วยโรคเบาหวาน เป็นต้น และควรมีการจัดการปริมาณการปลูกให้เหมาะสมเนื่องจากแก่แ่นตะวันเป็นพืชที่มีผลผลิตสูง และต้องเก็บรักษาในตู้เย็น แต่ข้อดีของแก่แ่นตะวัน คือ สามารถทราบวันเก็บเกี่ยวค่อนข้างแน่นอน ทำให้สามารถจะกำหนดวันจำหน่าย การจัดการการปลูก คือ ควรทยอยปลูก ในพื้นที่ไม่มาก ไม่ควรเกิน 1 ไร่ และให้เวลาห่างกันประมาณ 2-3 สัปดาห์ เพื่อที่จะขายผลผลิตได้ทันโดยไม่ต้องเก็บรักษาจำนวนมากในกรณีที่ขายหัวสด แต่ถ้านำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์สามารถปลูกครั้งละหลายไร่ ทั้งนี้หัวแก่แ่นตะวันอุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการ สามารถนำมาบริโภคสดและแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารหลากหลายชนิด นอกจากนี้ในส่วนต่าง ๆ ของแก่แ่นตะวันยังมีสารสำคัญที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่น่าสนใจ ดังนั้นข้อมูลจากการรวบรวมองค์ความรู้เบื้องต้นนี้ อาจเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจปลูกแก่แ่นตะวัน รวมถึงการนำไปใช้เป็นแนวทางในการต่อยอดสู่การใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมอื่น ๆ ต่อไป

6. References

- [1] Tian, K., Liu, J., Sun, Y., Wu, Y., Chen, J., Zhang, R., He, T. and Dong, G., 2019, Effects of dietary supplementation of inulin on rumen fermentation and bacterial microbiota, inflammatory response and growth performance in finishing beef steers fed high or low-concentrate diet, *Anim. Feed Sci. Technol.* 258: 1-12.
- [2] Guaragnia, A., Boiagob, M.M., Bottaric, N.B., Morsch, V.M., Lopes, T.F. and da Silvab, A.S., 2020, Feed supplementation with inulin on broiler performance and meat quality challenged with *Clostridium perfringens*: Infection and prebiotic impacts, *Microb. Pathog.* 139: 1-5.
- [3] Bhagia, S., Akinoshio, H., Ferreira, J.F.H. and Ragauskas, A.J., 2017, Biofuel production from Jerusalem artichoke tuber inulins: A review, *Biofuel Res. J.* 14: 587-599.
- [4] Songa, Y., Wib, S.G., Kima, H.M. and Baea, H.J., 2016, Cellulosic bioethanol production from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) using hydrogen peroxide-acetic acid (HPAC) pretreatment, *Biores. Technol.* 214: 30-36.
- [5] Long, X.H., Shao, H.B., Liu, L., Liu, L.P. and Liu, Z.P., 2016, Jerusalem artichoke: A sustainable biomass feedstock for biorefinery, *Renew. Sust. Energ. Rev.* 54: 1382-1388.
- [6] Puttha, R., Jogloy, S., Suriarn, B., Wang somnuk, P.P., Kesmala, T. and Patanothai, A., 2013, Variations in morphological and agronomic traits among Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) accessions, *Genet. Resour. Crop Evol.* 60: 731-746.
- [7] Puangbut, D., Jogloy, S., Vorasoot, N. and Patanothai, A., 2015, Growth and phenology of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.), *Pak. J. Bot.* 47: 2207-2214.
- [8] Puttha, R., Jogloy, S., Wangsomnuk, P.P., Srijaranai, S., Kesmala, T. and Patanothai, A., 2012, Genotypic variability and genotype by environment interactions for inulin content of Jerusalem artichoke germplasm, *Euphytica* 183: 119-131.
- [9] Puangbut, D., Jogloy, S. and Puttha, R., 2017, Evaluation of stem rot resistance in Jerusalem artichoke hybrid clones under field conditions, *SABRAO J. Breed. Genet.* 49: 58-68.
- [10] Alla, N.A., Domokos-Szabolcsy, É., El-Ramady, H., Hodossi, S., Fári, M., Ragab, M. and Taha, H., 2014, Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): A review of *in vivo* and *in vitro* propagation, *Int. J. Hort. Sci.* 20: 131-136.
- [11] Ruttanaprasert, R., Junteenok, K., Suwantho, W., Lonaloan, S. and Mulalin, S., 2017, Influence of plant spacing on growth, canopy, yield and harvest index of Kaentawan (*Helianthus tuberosus* L.),

- Khon Kaen Agric. J. 45(suppl. 1): 963-969. (in Thai)
- [12] Ngamprasitthi, S., Changlek, P. and Panichnok, K., 2011, Effect of plant density on growth and tubers yield of Jerusalem artichoke on Pakchong soil series, Agric. Sci. J. 42(suppl. 3/1): 91-94. (in Thai)
- [13] Jogloy, S., Puttha, S., Mikaew, R., Tula, W. and Kesmala, T., 2006, Effect of combined applications of inorganic and organic fertilizer on growth and yield of Kaentawan (*Helianthus tuberosus* L.), Khon Kaen Agric. J. 34(2): 164-170. (in Thai)
- [14] Kunlanit, K., Keerati-Kasikorn, P. and Poovarodom, S., 2009, Effect of omitted some macro-micronutrients on yield of Jerusalem artichoke grown in Nam Phong soil series. KKU Res. J. (GS) 9(1): 30-39. (in Thai)
- [15] Puttha, R. 2016, Effect of manure types on growth, quantitative and quality of tubers of Kaentawan (*Helianthus tuberosus* L.), Songklanakarin J. Plant Sci. 3(suppl. III): M08/24-29. (in Thai)
- [16] Singtien, T., Juntawong, T., Sinmaung, P. and Khumjing, C., 2014, Effect of chicken manure and salt pan sediments on growth and yield of Jerusalem Artichoke, Phetchaburi province, Khon Kaen Agric. J. 42(suppl. 2): 158-163. (in Thai)
- [17] Ngamprasitthi, S. and Changlek, P., 2015, Growth, yield and yield component of Jerusalem artichoke, Agric. Sci. J. 46(suppl. 3): 541-544. (in Thai)
- [18] Jogloy, S., Puttha, S., Mikaew, R., Tula, W. and Kesmala, T., 2006, Effect of propagated parts on percentage of emergence, growth and yield of Kaentawan (*Helianthus tuberosus* L.), Khon Kaen Agric. J. 34(2): 151-156. (in Thai)
- [19] leamkheng, S., Pinkeaw, C., and Jaijuathuet, P., 2018, Pathogen causing of postharvest disease in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) and *in vitro* control, Khon Kaen Agric. J. 46(suppl. 1): 1122-1129. (in Thai)
- [20] Ghoneem, K.M., Saber, W.I.A., El-Awady, A.A., Rashad, Y.M. and Al-Askar, A.A., 2016, Alternative preservation method against *Sclerotium* tuber rot of Jerusalem artichoke using natural essential oils, Phytoparasitica 44: 341-352.
- [21] Sennoi, R., Poonpinyo, T. and Sapsiri, S., 2018, Tuber germination of four Jerusalem artichoke varieties after storage at difference duration, Thai Sci. Technol. J. 26(7) (suppl.): 1141-1149. (in Thai)
- [22] Sennoi, R., Singkham, N., Jogloy, S., Boonlue, S., Saksirat, W., Kesmala, T., and Patanothai, A., 2013, Biological control of southern stem rot caused by *Sclerotium rolfsii* using *Trichoderma harzianum* and *Arbuscular mycorrhizal* fungi on Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.), Crop Protection. 54: 148-153.

- [23] Sennoi, R., Jogloy, S., Saksirirat, W., Banterng, P., Kesmala, T., and Patanothai, A., 2013. Evaluation of seedling and adult plant stages resistance to *Sclerotium rolfsii* Sacc. in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.), SABRAO J. Breed. Genet. 45: 324-331.
- [24] Eid, K.E., Abbas, M.H.H., Mekawi, E.M., ElNagar, M.M., Abdelhafeze, A.A., Amin, B.H., Mohamed, I. and Ali, M.M., 2019, Arbuscular mycorrhiza and environmentally biochemicals enhance the nutritional status of *Helianthus tuberosus* and induce its resistance against *Sclerotium rolfsii*, Ecotoxicol. Environ. Saf. 186: 1-12.
- [25] Award, A.A. and Ahmed, H.M.H., 2018, Impact of organic mature combinations on performance and rot infection of stressed-Jerusalem artichoke plants, Egypt. J. Soil Sci. 58: 417-433.
- [26] Ieamkheng, S., Noothong, N., and Soratsa, S., 2016, Screening of *Trichoderma* spp. to control stem rot disease of Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) caused by *Sclerotium rolfsii*, Songklanakarin J. Plant Sci. 3(suppl. III): M09/21-28. (in Thai)
- [27] Sennoi, R., Jogloy, S., Saksirirat, W., Banterng, P., Kesmala, T. and Patanothai, A., 2013, Evaluation of seedling and adult stages resistance to *Sclerotium rolfsii* Sacc. in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.), SABRAO J. Breed. Genet. 45: 324-331.
- [28] Charirak, P., Saksirirat, W., Jogloy, S. and Saepaisan, S., 2016, Application of microorganisms for induced resistance in Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) against stem rot caused by *Sclerotium rolfsii* Sacc, J. Pure Appl. Microbio. 10: 853-863.
- [29] Munim, A., Rod, M., Tavakoli, H. and Hosseini, F., 2017, An analysis of the composition, health benefits, and future market potential of the Jerusalem artichoke in Canada, J. Food Res. 6: 69-84.
- [30] Rubel, I.A., Iraporda, C., Novosad, R., Cabrera, F.A., Genovese, D.B. and Manrique, G.D., 2018, Inulin rich carbohydrates extraction from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers and application of different drying methods, Food Res. Int. 103: 226-233.
- [31] Rattanapanone, N., 2014, Food Chemistry, Odeon Store, Bangkok, 504 p. (in Thai)
- [32] Radovanovic, A.M., Milovanovic, O.Z., Kipic, M.Z., Ninkovic, M.B. and Cupara, S.M., 2014. Characterization of bread enriched with Jerusalem artichoke powder content, J. Food Nutr. Res. 2: 895-898.
- [33] Tanjor, S., Judprasong, K., Chaito, C. and Jogloy, S., 2012, Inulin and fructo oligosaccharides in different varieties of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.), KKU Res. J. 17(1): 25-34. (in Thai)

- [34] Cieslik, E., Gebusia, A., Florkiewicz, A. and Mickowska, B., 2011, The content of protein and of amino acids in Jerusalem artichoke tubers (*Helianthus tuberosus* L.) of red variety Rote Zonenkugel, Acta Sci. Pol. Technol. Aliment. 10: 433-441.
- [35] Danilcenko, H., Jariene, E., Slepeliene, A., Sawicka, B. and Zaldariene, S., 2017, The distribution of bioactive compounds in the tubers of organically grown Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) during the growing period, Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus. 16: 97-107.
- [36] Yang, L., He, Q.S., Corscadden, K. and Udenigwe, C.C., 2015, The prospects of Jerusalem artichoke in functional food ingredients and bioenergy production, Biotech. Report 5: 77-88.
- [37] Kaszas, L., Alshaal, T., El-Ramadya, H.R., Kovacs, Z., Koroknai, J., Elhawati, N., Nagy, E., Cziaky, Z., Fari, M. and Domokos-Szabolcsy, E., Finding valuable bioactive components from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) leaf protein concentrate in a green biorefinery concept, Available Source: <https://www.meta.org/papers/finding-valuable-bioactive-components-from/990866178>, May 8, 2020.
- [38] Pan, L., Sinden, R.M., Kennedy, A.H., Chai, H., Watson, L.E., Graham, T.L. and Kinghorn, A.D., 2009, Bioactive constituents of *Helianthus tuberosus* (Jerusalem artichoke), Phytochem. Lett. 2: 15-18.
- [39] Niziot-Lukaszewska, Z., Furman-Toczek, D. and Zagorska-Dziok, M., 2018, Antioxidant activity and cytotoxicity of Jerusalem artichoke tubers and leaves extract on HaCaT and BJ fibroblast cells, Lipids Health Dis. 17(280): 1-12.
- [40] Liu, H.W., Liu, Z.P., Liu, L. and Zhao, G.M., 2007, Studies on the antifungal activities and chemical components of extracts from *Helianthus tuberosus* leaves, Nat. Prod. Res. Dev. 19: 405-409.
- [41] Chen, F.J., Long, X.H., Yu, M.N., Liu, Z.P., Liu, L. and Shao, H.B., 2013, Phenolics and antifungal activities analysis in industrial crop Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) leaves, Indus. Crops Prod. 47: 339-345.
- [42] Helmi, Z., Azzam, K.M.A., Tsymbalista, Y., Ghazleh, A.R., Shaibah, H. and Aboul-Enein, H., 2014, Analysis of essential oil in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) leaves and tubers by gas chromatography-mass spectrometry, Adv. Pharm. Bull. 4: 521-526.
- [43] Petrova, I., Petkova, N. and Ivanov, I., 2016, Five edible flowers-valuable source of antioxidants in human nutrition, Int. J. Pharm. Phytopharm. Res. 8: 604-610.
- [44] Zhang, Q. and Kim, H.Y., 2015, Antioxidant, anti-inflammatory and cytotoxicity on human lung epithelial A549 cells of

- Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tuber, Korean J. Plant Res. 28: 305-311.
- [45] Showkat, M.M., Falck-Ytter, A.B. and Strætkvern, K.O., 2019, Phenolic acids in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): Plant organ dependent antioxidant activity and optimized extraction from leaves, *Molecules* 24(3296): 2-15.
- [46] Wang, T., Wang, Q., Pupin, F. and Cantwell, M.I., 2016, Control of red discoloration of fresh-cut sunchoke tubers, *Intel. Soc. Hort. Sci.* 1144: 349-355.
- [47] Haggag, I.A.A., Shanan, S.A., Abo El-Hamd, A.S.A., Helaly, A.A. and El Bassiouny, R.E.I. 2017, Effect of temperature and modified atmosphere packaging on globe artichoke (*Cynara scolymus* L.) quality during storage, *Adv. Plants Agric. Res.* 6: 138-145.
- [48] Charoenphun, N. and Puttha, R., 2020, Effects of methods on delay browning of ready-to-eat fresh pre-cut Jerusalem artichokes, *Thai Sci. Technol. J.* 28(3): 466-479. (in Thai)
- [49] Charoenphun, N. and Puttha, R., 2020, Suitable formulations for production of pickled Jerusalem artichokes and kimchi from Jerusalem artichokes, *Thai Sci. Technol. J.* 28(7): 1202-1215. (in Thai)
- [50] Baltacıoglu, C. and Esin, A., 2012, Chips production from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.), *Food Nutri. Sci.* 3: 1321-1328.
- [51] Towviriyakul, A., Jitinandana, S., Judprasong, K. and Nitithamyong, A., 2012, Formulation of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) juice, pp. 1-8, 1st Mae Fah Luang University International Conference; Chiang Rai.
- [52] Dimitrovski, D., Velickova, E., Dimitrovska, M., Langerholc, T. and Winkelhausen, E., 2016, Synbiotic functional drink from Jerusalem artichoke juice fermented by probiotic *Lactobacillus plantarum* PCS26, *J. Food Sci. Technol.* 53: 766-774.
- [53] Nadir, A.E.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, *Aust. J. Basic Appl. Sci.* 5: 2855-2864.
- [54] Hashem, H.A., Nassar, A.G. and Abul-Fadl, M.M., Chemical studies on fresh and dried Jerusalem artichoke tubers, Available Source: <https://www.researchgate.net>, May 8, 2020.
- [55] Ozturk, B. and Serdaroglu, M., 2018, Effects of Jerusalem artichoke powder and sodium carbonate as phosphate replacers on the quality characteristics of emulsified chicken meatballs, *Korean J. Food Sci. Anim. Resour.* 38: 26-42.
- [56] Ozer, C.O., 2019, Utilization of Jerusalem artichoke powder in production of low-fat and fat-free fermented sausage, *Ital. J.*

- Food Sci. 31: 301-310.
- [57] Khuenpet, K., Jittanit, W., Sirisansanee yakul, S and Srichamnong, W., 2017, Inulin powder production from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tuber powder and its application to commercial food products, J. Food Proc. Preserv. e13097: 1-13.
- [58] Jirayucharoensak, R., Jittanit, W. and Sirisansaneeyakul, S., 2015, Spray-drying for inulin powder production from Jerusalem artichoke tuber extract and product qualities, J. Sci. Tech. Ubon Ratchathani Univ. 17(3): 13-18. (in Thai)
- [59] Rashid, S., Rakha, A., Butt, M.S. and Asgher, M., 2018, Physicochemical and techno-functional characterization of inulin extracted from chicory roots and Jerusalem artichoke tubers and exploring their ability to replace the fat in cakes. Prog. Nutri. 20: 191-202.
- [60] Pumina, W., 2012, Benefits of fructan and fructo-oligosaccharides for health, Food 42(2): 111-116. (in Thai)
- [61] Bui, C.V., Siriwatwechakul, W., Tiyabhorn, W., Wattanasiritham, T., impraditthanont, N. and Boonyarattanakalin, S., 2016, Conversion of Jerusalem artichoke tuber powder into fructo-oligosaccharides, fructose, and glucose by a combination of microwave heating and HCl as a catalyst, Thammasat Inter. J. Sci. Tech. 21(3): 31-45.
- [62] Safaa, S.A., Abdelrashid, A., El-kalyoubi, M. and Hamad, K.I., 2009, Production of inulin and high-fructose syrup from Jerusalem artichoke tuber (*Helianthus tuberosus* L.), J. Agric. Sci. Ain Shams Univ. Cairo. 54: 417-423.