



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การพัฒนากระบวนการผลิตผงอิฐลื่นสกัดจากหัว
แก่นตะวันพร้อมทั้งการประเมินทางเศรษฐศาสตร์

โดย

ผศ.ดร. วีรเชษฐ์ จิตตาณิชย์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รศ.ดร. สาโรจน์ ศิริคั่นสนียกุล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มิถุนายน 2558

สัญญาเลขที่ TRG5680097

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การพัฒนากระบวนการผลิตผงอิฐดินสกดจากหัว
แค้นตะวันพร้อมทั้งการประเมินทางเศรษฐศาสตร์

ผศ.ดร. วีระเชษฐ์ จิตตาณิชย์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รศ.ดร. สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยและ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

สารบัญ

รายละเอียด	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	1
บทคัดย่อภาษาไทย	2
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	3
บทนำ	4
การตรวจเอกสาร	6
วิธีการทดลอง ผลและวิจารณ์	14
สรุปและข้อเสนอแนะ	15
เอกสารอ้างอิง	17
Output จากโครงการวิจัยที่ได้รับทุนจาก สกว.	25
ภาคผนวก	27
ภาคผนวกที่ 1: ผลการทดลองเบื้องต้น	28
ภาคผนวกที่ 2: การทำแห้งหั่วแ่งน้กวันในระดับห้องปฏิบัติการ	48
ภาคผนวกที่ 3: การทำแห้งหั่วแ่งน้กวันด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งในระดับห้องปฏิบัติการ	56
ภาคผนวกที่ 4: การนำผลการทดลองจากการทำแห้งหั่วแ่งน้กวันในระดับห้องปฏิบัติการมาใช้ สร้างสมการอบแห้งชั้นบางและประเมินระยะเวลาที่ต้องใช้ในการทำแห้ง	74
ภาคผนวกที่ 5: การตรวจสอบโครงสร้างในระดับจุลภาคของตัวอย่างแ่งน้กวันสดและตัวอย่างที่ ผ่านการอบแห้ง	85
ภาคผนวกที่ 6: ผลการสกัดอินูลินจากหั่วแ่งน้กวันและการทำสารสกัดอินูลินให้บริสุทธิ์ พร้อมการทำสมมูลมวลสาร	91
ภาคผนวกที่ 7: ผลการวิเคราะห์หาองค์ประกอบในแ่งน้กวัน สารสกัดอินูลิน และอินูลินผง	105

ภาคผนวกที่ 8: การพัฒนาแนวทางการกำจัดสีและกลิ่นโดยผงถ่านกัมมันต์และการลดปริมาณ แคลเซียมด้วยเรซิน เพื่อเป็นแนวทางสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิต ระดับน้ำร่อง	112
ภาคผนวกที่ 9: การทำสารสกัดอินูลินให้เข้มข้นและการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ผง	133
ภาคผนวกที่ 10: ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของเปลือกของหัวแค้นตะวันและตะกอน	147
ภาคผนวกที่ 11: การศึกษาคุณภาพของแป้งแค้นตะวันและอินูลินที่สกัดได้ในกรณีที่ใช้วัตถุดิบ แค้นตะวันที่ปอกเปลือก/ไม่ปอกเปลือก และลวก/ไม่ลวก	150
ภาคผนวกที่ 12: การทดลองในระดับน้ำร่อง: กระบวนการแปรรูปหัวแค้นตะวันเป็นแป้งแค้นตะวัน	180
ภาคผนวกที่ 13: การทดลองในระดับน้ำร่อง: กระบวนการแปรรูปแป้งแค้นตะวันเป็นอินูลินผง	204
ภาคผนวกที่ 14: การประเมินทางเศรษฐศาสตร์	247
Reprint หรือ manuscript บทความสำหรับการเผยแพร่ และหลักฐานการจดอนุสิทธิบัตร	264

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยและมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยและส่งเสริมการทำโครงการวิจัยนี้ ทำให้ผู้วิจัยมีโอกาสดำเนินงาน เรียนรู้ และพัฒนาตนเองผ่านกระบวนการท านวิจัย พร้อมทั้งได้ผลิตผลงานวิจัยที่เป็นประโยชน์สู่สาธารณะ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.สาโรจน์ ศิริตันสนียกุล นักวิจัยที่ปรึกษา ที่กรุณาให้แนวคิดในการดำเนินงานวิจัย สนับสนุนปัจจัยที่ช่วยให้การทางานเป็นไปอย่างราบรื่น และช่วยตรวจสอบแก้ไขบทความวิจัย รวมถึงรายงานวิจัยนี้ให้ส าคัญลุล่วงไปได้ด้วยดี นอกจากนี้ยังช่วยอบรมสั่งสอนให้ผู้วิจัยได้เรียนรู้และทำความเข้าใจกับชีวิตและธรรมชาติในมิติที่ลึกซึ้งขึ้น โดยอาศัยการทางานในชีวิตประจำวัน เป็นปัจจัยช่วยในกระบวนการเรียนรู้

ขอขอบพระคุณ ดร.วรางคณา ศรีจานงค์ อาจารย์ประจำสถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ช่วยให้ความอนุเคราะห์และประสานงานในการใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์สารสกัดจากหัวแค้นตะวัน พร้อมทั้งให้แนวคิดที่เป็นประโยชน์ต่อการท างานวิจัย

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร รวมถึงเจ้าหน้าที่คณะอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือ ข้อเสนอแนะ และความสะดวกในการท านวิจัย ตลอดจนขอขอบคุณสมาชิกทีมวิจัยทุกท่าน ที่ช่วยให้การทางานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

วีรเชษฐ์ จิตตานิชย์

พฤษภาคม 2558

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : TRG5680097

ชื่อโครงการ : การพัฒนากระบวนการผลิตผงอินูลินสกัดจากหัวแค้นตะวันพร้อมทั้งการประเมินทางเศรษฐกิจศาสตร์

ชื่อนักวิจัย : ผศ.ดร. วีระเชษฐ์ จิตตานิษฐ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (หัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน)*
รศ.ดร. สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (นักวิจัยที่ปรึกษา)

*E-mail Address : fagiwcj@ku.ac.th

ระยะเวลาโครงการ : 2 ปี

อินูลินเป็นโพลีเมอร์ของฟรุคโตสซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารพรีไบโอติกซึ่งมีคุณสมบัติช่วยระบบย่อยอาหารของมนุษย์ อินูลินถูกนำมาใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของมัน ในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) หาวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการผลิตอินูลินผงจากหัวแค้นตะวัน และ (2) ประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐกิจศาสตร์ของการผลิตอินูลินจากหัวแค้นตะวัน โดยใช้ผลการทดลองในระดับนำร่อง จากการเปรียบเทียบระหว่างการใช้เครื่องทำแห้งแบบลมร้อน และเครื่องทำแห้งแบบไอน้ำร้อนยวดยิ่งในการทำแห้งหัวแค้นตะวัน พบว่า การทำแห้งแบบไอน้ำร้อนยวดยิ่งไม่เหมาะสมที่จะใช้กับหัวแค้นตะวัน เนื่องจากต้องระยะเวลานานในการทำแห้ง และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะปรากฏไม่เป็นที่ยอมรับ จากผลการสกัดอินูลินจากแป้งแค้นตะวันและการทำให้บริสุทธิ์ พบว่ากระบวนการที่พัฒนาขึ้นสามารถสกัดอินูลินจากแป้งแค้นตะวันได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถช่วยให้สารสกัดอินูลินมีความบริสุทธิ์มากขึ้น โดยแนวทางการผลิตผงอินูลินสามารถแบ่งออกเป็น 2 แนวทางคือ (1) การผลิตผงอินูลินโดยไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ และ (2) การผลิตอินูลินผง โดยใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ จากการศึกษาพบว่า ควรทำสารสกัดอินูลินให้เข้มข้น 30 บริกซ์ แล้วจึงแปรรูปสารสกัดอินูลินเป็นผลิตภัณฑ์ผง โดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า/ขาออก 190/90 องศาเซลเซียส อินูลินผงที่ผลิตได้จากการทดลองกรณีที่ไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ มีคุณภาพที่ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์อินูลินผงเกรด Orafit[®] HSI แต่ระดับความบริสุทธิ์ของอินูลินยังคงต่ำกว่า ส่วนอินูลินผงที่ผลิตได้ กรณีที่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ พบว่ามีปริมาณอินูลินน้อยกว่าผลิตภัณฑ์อินูลินผงเกรด Orafit[®] LGI แต่มีปริมาณ Glucose/Fructose/Sucrose เป็นไปตามข้อกำหนดจากการประเมินทางเศรษฐกิจศาสตร์โดยใช้ข้อมูลจากการทดลองในระดับนำร่อง พบว่าต้นทุนการผลิตของอินูลินผงในงานวิจัยนี้มีค่าสูงกว่าราคาขายของผลิตภัณฑ์อินูลินผง ยี่ห้อ Orafit จึงไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน อย่างไรก็ตามหากสามารถลดต้นทุนส่วนต่าง ๆ ได้ ตามที่ตั้งสมมุติฐานเพิ่มเติม การลงทุนผลิตอินูลินผงจากหัวแค้นตะวัน โดยมีกำลังการผลิต 110,000 กิโลกรัม/ปี จะมีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจศาสตร์หากมีอัตราการเติบโตของยอดขายตั้งแต่ 4.185% ต่อปีขึ้นไป

คำหลัก : การทำแห้ง, การสกัด, แค้นตะวัน, เศรษฐศาสตร์, อินูลิน

Abstract

Project Code : TRG5680097

Project Title : The Development of Production Process for Inulin Powder from Jerusalem Artichoke Tubers and Its Financial Feasibility Evaluation.

Investigator : Asst. Prof. Dr. Weerachet Jittanit Kasetsart University (Principal investigator)*
Assoc. Prof. Dr. Sarote Sirisansaneeyakul Kasetsart University (Mentor)

***E-mail Address :** fagiwcj@ku.ac.th

Project Period : 2 year

Inulin is a fructose polymer that acts as a prebiotic fiber in human digestion system and has been increasingly applied in food industry as a functional food ingredient due to its functional properties. Thus, the objectives of this research were to (1) determine the suitable production method of inulin powder from Jerusalem artichoke tuber (JAT) and (2) evaluate the economic feasibility of manufacturing inulin from JAT by applying the pilot scale experimental data. According to the result of comparing between drying JAT by hot air and superheated steam, it appeared that the superheated steam drying is unsuitable because it required longer drying time while the appearance of samples after drying were unacceptable. The result of inulin extraction and purification from the JAT powder indicated that the process developed in this research could efficiently extract inulin and purify the inulin extract. The manufacturing process of inulin powder from JAT could be divided into 2 schemes consisting of (1) the inulin production without purification procedure and (2) the inulin production with purification procedure. The result showed that the inulin extract should be concentrated to 30 °Brix prior to spray drying by using inlet/outlet drying air temperatures at 190/90 °C. The inulin powder manufactured without purification procedure has the similar quality to the inulin grade Orafit[®] HSI; however, its purity was still lower. Moreover, the inulin powder produced by applying purification step has lower inulin content than that of Orafit[®] LGI but its glucose/fructose/sucrose content conforms to the Orafit[®] LGI specification. The economic evaluation disclosed that the production costs obtained from the pilot-scale experiments in both cases are much higher the prices of Orafit[®] inulin powder; thus, it is not worthwhile to invest. Nonetheless, if the producer can lessen the main costs as the proposed assumptions, the investment in the inulin production from JAT at the capacity 110,000 kg per year would be economically worthwhile under the constraints that the sales growth must not be less than 4.185% per annum.

Keywords : drying, economic, extraction, inulin, Jerusalem Artichoke

บทนำ

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

อินูลินเป็นโพลีเมอร์ของฟรักโทสซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารพรีไบโอติกซึ่งมีคุณสมบัติช่วยย่อยอาหารของมนุษย์ อินูลินถูกนำมาใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของมัน เช่น ใช้เป็นสารทดแทนไขมันหรือสารให้ความคงตัว ปริมาณการผลิตอินูลินทั่วโลกในปัจจุบันอยู่ที่ประมาณ 100,000 ตันต่อปี (<http://bfi-online.ru/publ/4-1-0-19>: accessed on 8 August 2012). ซึ่งการผลิตยังจำกัดอยู่แค่ผู้ผลิตรายใหญ่ 3 บริษัท ได้แก่ BENE-Orafti และ Cosucra ในประเทศเบลเยียม และ Sensus ในประเทศเนเธอร์แลนด์ (<http://bfi-online.ru/publ/4-1-0-19>: accessed on 8 August 2012).

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ผลิตภัณฑ์ผงอินูลินส่วนใหญ่จะถูกผลิตจาก หัวชิโครี (Chicory root) ซึ่งเป็นพืชที่พบมากในทวีปยุโรป อเมริกาเหนือ และออสเตรเลีย (Roberfroid, 1998). อย่างไรก็ตามในประเทศไทยมีพืชชนิดหนึ่งซึ่งมีปริมาณอินูลินใกล้เคียงกับหัวชิโครี นั่นคือหัวแก่้นตะวัน (Jerusalem artichoke tuber). จากข้อมูลของ Van Loo et al. (1995) พบว่าหัวแก่้นตะวันมีปริมาณอินูลินอยู่ในช่วง 14-19% ในขณะที่หัวชิโครีมีอยู่ 15-20%. จากการศึกษาของสถาบันค้นคว้าและพัฒนากระบวนการผลิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.เพชรบูรณ์ พบว่าแก่้นตะวันสามารถปลูกได้ดีในประเทศไทย โดยสามารถเก็บเกี่ยวหัวแก่้นตะวันได้ภายใน 4 เดือน โดยมีผลผลิตสูงสุดอยู่ที่ 8-10 ตันต่อไร่ ในกรณีที่ใช้สายพันธุ์ JA102 (<http://www.komchadluek.net/detail/20110728/104123/แก่้นตะวันพืชเศรษฐกิจทางเลือก.html>: accessed on 8 August 2012) อย่างไรก็ตามสำหรับเกษตรกรทั่วไปที่ต้องการปลูกแก่้นตะวันคาดว่าจะได้ผลผลิตประมาณ 2-3 ตันต่อไร่ ซึ่งไม่แตกต่างจากมันสำปะหลังมากนัก โดยมีต้นทุนในการปลูกประมาณ 10,000 บาทต่อไร่ (ธนโชติ และคณะ, 2553) ในขณะที่การปลูกมันสำปะหลังมีค่าใช้จ่ายต่อไร่ประมาณ 3,000 บาทต่อไร่ ราคามันสำปะหลังในปัจจุบัน คือ 2.30 บาทต่อกิโลกรัม ราคาขายของหัวแก่้นตะวันในกรณีที่มีการผลิตในเชิงอุตสาหกรรมก็อาจจะสามารถลดลงมาอยู่ที่ประมาณ $2.30 \times (10,000/3,000) = 7.66$ บาทต่อกิโลกรัม จากข้อมูลดังกล่าวเป็นการบ่งชี้ให้เห็นว่า ถ้ากระบวนการผลิตอินูลินจากหัวแก่้นตะวันถูกพัฒนาและคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์สำหรับนักลงทุน แก่้นตะวันอาจจะเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดใหม่สำหรับเกษตรกรไทยได้ในอนาคต ในขณะที่ประเทศไทยก็สามารถผลิตอินูลินป้อนอุตสาหกรรมอาหารในภูมิภาคอาเซียนได้

กระบวนการผลิตอินูลินจากหัวแก่้นตะวันได้ถูกศึกษาโดยนักวิจัยจำนวนหนึ่งในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา แม้กระนั้นก็ตามข้อมูลที่ถูกต้องที่พิมพ์เผยแพร่ส่วนใหญ่จะเป็นการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ นอกจากนี้ข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการผลิตอินูลินดังกล่าวก็มีความแตกต่างหลากหลาย ในงานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาวิธีการผลิตอินูลินจากหัวแก่้นตะวันเพื่อกำหนดกระบวนการที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการทดลองในระดับนาร่อง ข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะถูกใช้สำหรับการประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์เพื่อเป็นประโยชน์สำหรับนักลงทุนในประเทศไทยและนักวิจัยต่อไป

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการผลิตอินูลินผงจากหัวแก่ตะวัน

2.2 เพื่อประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตอินูลินจากหัวแก่ตะวันโดยใช้ผล
การทดลองในระดับนําร่อง

การตรวจเอกสาร

อินูลินเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ระบบย่อยอาหารของมนุษย์ไม่สามารถย่อยได้ อินูลินสามารถพบได้ในพืชหลายชนิด อาทิ ต้นหอม หัวหอม กระเทียม ข้าวสาลี หัวชิคอร์รี่ หัวแก่้นตะวัน และกล้วย โดยตัวอย่างของพืชที่มีปริมาณอินูลินสูง ได้แก่ หัวชิคอร์รี่ หัวแก่้นตะวัน และบัวหิมะ ดังแสดงในตารางที่ 1 (Van Loo et al., 1995). Meijer & Mathijssen (1993) แสดงความคิดเห็นว่า หัวชิคอร์รี่ และหัวแก่้นตะวัน เป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับการผลิตอินูลิน Franck & De Leenheer (2005) และ Couri et al. (2005) ระบุว่า อินูลินที่จำหน่ายเชิงการค้าในปัจจุบันถูกผลิตมาจากหัวชิคอร์รี่

ตารางที่ 1 ปริมาณอินูลินในพืชบางชนิดที่นิยมบริโภค

ชนิดของพืช	ส่วนที่ใช้บริโภค	ปริมาณอินูลิน (% ฐานเปียก)
หัวหอม	หัว	2-6
แก่้นตะวัน	หัว	14-19
ชิคอร์รี่	หัว	15-20
กระเทียม	หัว	9-16
กล้วย	ผล	0.3-0.7
ข้าวไรน์	เมล็ดข้าว	0.5-1
ข้าวบาร์เลย์	เมล็ดข้าว	0.5-1.5
บัวหิมะ	หัว	3-19

ที่มา: Van Loo et al. (1995)

โดยทั่วไป อินูลินถูกใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารเพื่อเสริมคุณค่าทางโภชนาการและช่วยให้อาหารมีคุณลักษณะตามที่ต้องการ อินูลินมีคุณสมบัติที่สามารถช่วยพัฒนาคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของอาหารและช่วยเพิ่มความคงตัวของโฟมและอิมัลชันได้ นอกจากนี้อินูลินมีพฤติกรรมคล้ายไขมันเมื่อมีการฟอร์มโครงสร้างของเจลในน้ำ จึงถูกใช้เป็นสารทดแทนไขมัน (Franck and De Leenheer, 2005) ในแง่ของมูลค่าทางโภชนาการ อินูลินได้รับความสนใจจากอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมยาเป็นอย่างมาก เนื่องจากคุณสมบัติที่หลากหลาย อาทิ ความเป็นใยอาหาร (Carabin & Flamm, 1999; Causey et al., 2000; Kim, 2002) และฟรีไบโอติก (Rao, 2001; Fooks & Gibson, 2002; Corradinia et al., 2004; Lopez-Molina et al., 2005; Buriti et al., 2007) อินูลินที่เป็นโอลิโกเมอร์ (oligomers) คือมีค่า DP < 10 ซึ่งมีชื่อเรียกว่า โอลิโกฟรุคโทส (Oligofructose) จะให้ค่าความหวานประมาณ 25% ของน้ำตาลทรายปกติ (<http://www.orafti.com/Our-Products/Inulin>: accessed on 9 August 2012) โดยที่ให้ค่าพลังงานต่ำ นอกจากนี้ อินูลินยังช่วยเสริมสร้างการทำงานของ

ของจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์โดยไม่ก่อให้เกิดโทษต่อร่างกาย แต่ช่วยให้ร่างกายมีระบบภูมิคุ้มกันที่สมดุลและทำหน้าที่ปกติ (Khow-ean, 2006). Roberfroid et al. (1993) กล่าวว่า อินูลินให้คุณสมบัติต่อร่างกายในลักษณะเช่นเดียวกับใยอาหาร ซึ่งจะช่วยเสริมสร้างสภาวะการทำงานของระบบทางเดินอาหาร เนื่องจากคุณสมบัติทั้งในเชิงหน้าที่และเชิงโภชนาการของอินูลิน ดังที่กล่าวมาข้างต้น อินูลินจึงถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดยเฉพาะผู้ผลิตอาหารที่แสวงหาความสมดุลและลดตัวระหว่างรสชาติของอาหารและสุขภาพของผู้บริโภค ก่อนหน้านี้มีนักวิจัยจำนวนหนึ่งได้แสดงให้เห็นว่า การบริโภคอินูลินไม่ก่อให้เกิดผลกระทบข้างเคียงต่อสุขภาพ (Zhi-fu et al., 2009) ถึงแม้ว่านักวิจัยมากมายได้ศึกษาเกี่ยวกับความปลอดภัยของอินูลิน แต่มาตรฐานอย่างเป็นทางการสำหรับปริมาณสำหรับการบริโภคต่อวันที่ยอมรับได้ (acceptable daily intake; ADI) ยังไม่มีการระบุที่ชัดเจน Wu (2006) กล่าวว่า อินูลินถูกระบุว่าเป็น วัตถุเจือปนอาหาร ซึ่งถูกรับรองว่าเป็น GRAS (generally recognized as safe) โดยหน่วยงาน Food and Drug Administration (FDA) ของประเทศสหรัฐอเมริกา

ในประเทศไทย มีพืชชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตอินูลิน นั่นคือ แก่นตะวัน ถึงแม้ว่าผลิตภัณฑ์อินูลินในเชิงการค้าจะถูกผลิตจากหัวชิคอรี่ ซึ่งมีการปลูกอย่างแพร่หลายในทวีปยุโรป อเมริกาเหนือ และออสเตรเลีย แต่หัวแก่นตะวันก็มีปริมาณอินูลินใกล้เคียงกับหัวชิคอรี่ และนักวิจัยในมหาวิทยาลัยขอนแก่นและมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ได้พิสูจน์แล้วว่า แก่นตะวันสามารถปลูกได้อย่างประสบความสำเร็จในประเทศไทย โดยเมื่อปลูกแล้วสามารถเก็บเกี่ยวได้ภายในระยะเวลา 4 เดือน ทำให้สามารถปลูกได้ปีละ 2-3 ครั้ง และให้ปริมาณผลผลิตสูง (<http://www.komchadluek.net/detail/20110728/104123/แก่นตะวันพืชเศรษฐกิจทางเลือก.html>: accessed on 8 August 2012) ดังนั้น หากกระบวนการผลิตอินูลินจากหัวแก่นตะวันได้รับการศึกษาและพัฒนาจนถึงระดับที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตระดับอุตสาหกรรมในประเทศไทย อาจส่งผลให้เกษตรกรไทยมีพืชเศรษฐกิจทางเลือกอีกหนึ่งชนิดสำหรับการเพาะปลูก นอกเหนือจากข้าว มันสำปะหลัง อ้อย ข้าวโพด และยางพารา ในขณะที่เดียวกันภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทยก็จะสามารถผลิตผลิตภัณฑ์อินูลินเพื่อจำหน่ายให้กับอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมยาในประเทศและภูมิภาคอาเซียนได้ แทนที่จะต้องนำเข้าทั้งหมดจากบริษัทผู้ผลิตรายใหญ่ในทวีปยุโรป

จนถึงปัจจุบัน ยังไม่มีผู้ประกอบการรายใดที่ผลิตอินูลินภายในประเทศไทยเพื่อจำหน่ายเชิงการค้า ธนโชติ และคณะ (2553) ระบุว่า อินูลินทั้งหมดที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารภายในประเทศไทย ถูกนำเข้าจากผู้ผลิตในต่างประเทศ อาทิ BENEIO-Orafti, WEDA และ NEXTAG โดยมีราคาอยู่ในช่วง 150-200 บาท ต่อกิโลกรัม สำหรับอินูลินผงชนิดที่นิยมใช้ทั่วไป เช่น Orafti® HSI ในปัจจุบันจำนวนของ

ผู้ผลิตอินูลินในเชิงการค้ายังคงถูกจำกัดอยู่เพียงบริษัทต่างชาติไม่กี่บริษัท ดังที่ได้กล่าวมาก่อนหน้านี้ แม้กระนั้นก็ตาม หากพิจารณาจากข้อมูลในผลงานวิจัยตีพิมพ์ของนักวิจัยชาวจีน อาทิ Zhi-fu et al. (2009) ก็พบว่า มีแนวโน้มที่ผลิตภัณฑ์อินูลินผงจะถูกผลิตโดยผู้ประกอบการชาวจีนในอนาคตอันใกล้นี้ ในประเทศไทย ลูกค้าหลักของอินูลินคือ ผู้ผลิตเครื่องดื่มและผลิตภัณฑ์นม โดยมีมูลค่าการนำเข้าในปี พ.ศ. 2552 ประมาณ 220 ล้านบาท (ธนโชติ และคณะ, 2553) นอกจากนี้ปริมาณความต้องการอินูลินของประเทศอื่น ๆ ในกลุ่มอาเซียน ก็มีค่าสูงเช่นเดียวกัน

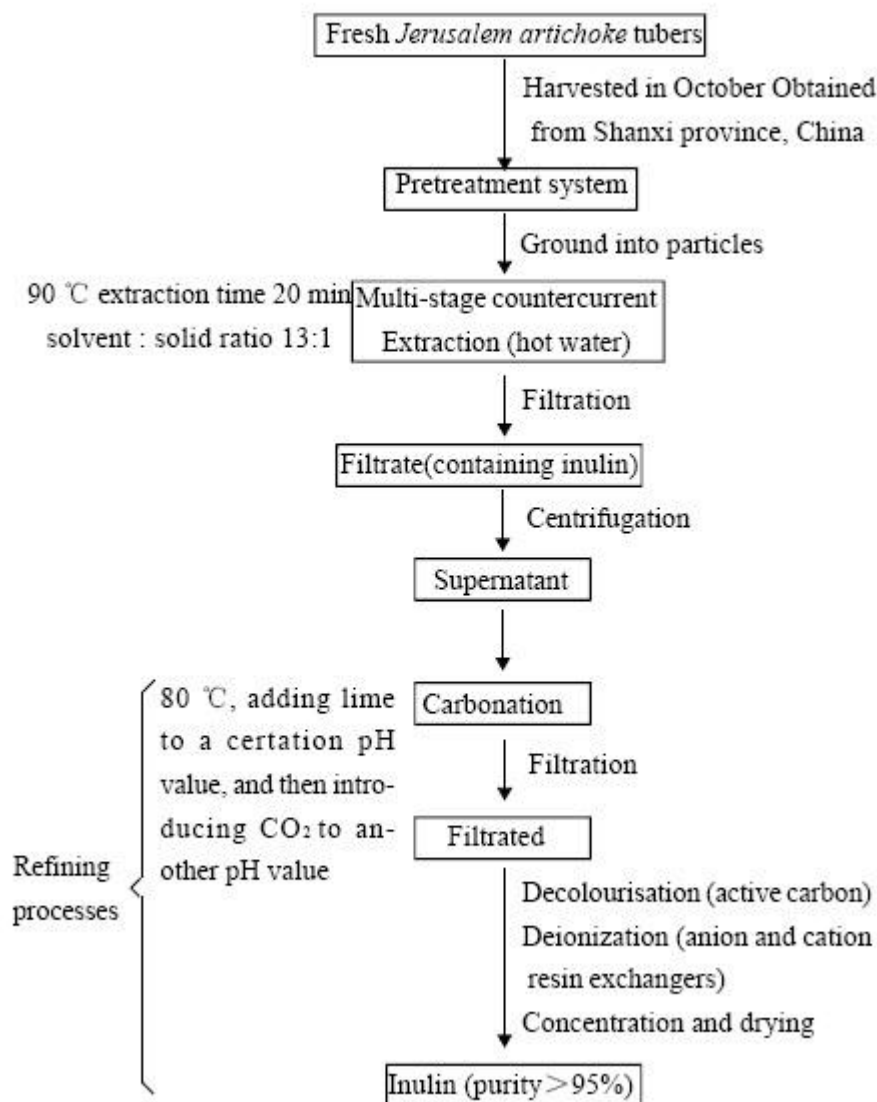
ประเด็นหนึ่งที่ควรนำมาพิจารณา เมื่อต้องการใช้หัวแค้นตะวันตกที่หัวชิคอรี่ในกระบวนการผลิตอินูลิน คือ ปริมาณผลผลิตที่ได้ Meijer & Mathijssen (1993) กล่าวว่า ทั้งชิคอรี่และหัวแค้นตะวันตกสะสมอินูลินในรากและหัว ในระดับประมาณ 75% ของมวลแห้งทั้งหมด ดังนั้นปริมาณผลผลิตอินูลินผงที่ได้จากกระบวนการผลิตควรจะมีค่าใกล้เคียงกัน ไม่ว่าจะใช้หัวชิคอรี่หรือหัวแค้นตะวันตกเป็นวัตถุดิบ อย่างไรก็ตาม จากการพิจารณาในข้อมูลในเชิงลึกมากยิ่งขึ้น พบว่าภายใต้สภาวะการปลูกที่เหมาะสม ทั้งชิคอรี่และหัวแค้นตะวันตกจะให้ปริมาณมวลแห้งของพืชใกล้เคียงกัน แต่ในกรณีของหัวแค้นตะวันตกนั้น ประมาณ 25-50% ของมวลแห้งนี้เท่านั้น ที่อยู่ในส่วนของหัว เนื่องจากมวลแห้งส่วนใหญ่ของพืชชนิดนี้จะไปอยู่ในส่วนของลำต้น ในขณะที่ชิคอรี่จะมีปริมาณมวลแห้งถึง 60-85% ของมวลแห้งทั้งหมด สะสมอยู่ที่หัว (Fuchs, 1990 and Meijer et al., 1993) ผลที่ตามมาคือ ปริมาณอินูลินผงที่ได้ในกรณีที่ใช้หัวชิคอรี่เป็นวัตถุดิบจะมากกว่าการใช้หัวแค้นตะวันตกประมาณ 35-60% หากใช้พื้นที่ปลูกเท่ากัน แม้กระนั้นก็ตาม โดยทั่วไปแล้วราคาผลิตผลทางการเกษตรและต้นทุนการปลูกในประเทศไทยจะถูกกว่าทวีปยุโรป อเมริกาเหนือ และออสเตรเลียมาก ดังนั้นการผลิตอินูลินผงจากวัตถุดิบหัวแค้นตะวันตกที่ปลูกภายในประเทศไทยจึงถูกคาดหมายว่ามีโอกาสในการแข่งขันกับบริษัทผู้ผลิตอินูลินในปัจจุบันซึ่งอยู่ในทวีปยุโรปซึ่งใช้หัวชิคอรี่เป็นวัตถุดิบ นอกจากนี้ในปี พ.ศ.2558 นี้ จะมีการเริ่มต้นของประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (Asean Economics Community; AEC) ซึ่งก็จะเป็นกลไกหนึ่งที่สำคัญในการส่งเสริมอุตสาหกรรมอาหารของประเทศไทย ในด้านการจัดหาวัตถุดิบทางการเกษตรและทรัพยากรบุคคลจากประเทศเพื่อนบ้าน

หัวแค้นตะวันตกที่ถูกเก็บเกี่ยวมาจากแปลงจำเป็นต้องถูกทำแห้งให้มีความชื้นไม่เกิน 14% มาตรฐานเปียก เพื่อให้ปลอดภัยจากการเน่าเสียและยังคงรักษาคุณภาพไว้ได้ในระหว่างการเก็บรักษา Lingyun et al. (2007) ได้อบแห้งหัวแค้นตะวันตกเพื่อป้องกันการเน่าเสียของตัวอย่าง Rutherford & Weston (1968) และ Modler et al. (1993) แสดงให้เห็นว่าระหว่างการเก็บรักษาหัวแค้นตะวันตกในห้องเย็น จะเกิดการเปลี่ยนแปลงภายในโครงสร้างของอินูลิน ส่งผลให้มีปริมาณโมเลกุลน้ำตาลขนาดเล็กเพิ่มมากขึ้น นักวิจัยดังกล่าวได้แนะนำให้ลวกหัวแค้นตะวันตกเพื่อยับยั้งเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส

(polyphenol oxidase; PPO) และอินูลิเนส (inulinase) เพื่อพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์อินูลินผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย Saikaew et al. (2011) ระบุว่า กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสในหัวแค้นตะวันมีค่าต่ำมาก นั่นคืออยู่ในช่วง 2-5 nKat นอกจากนี้ Cabezas et al. (2002), Saengthongpinit & Sajjaanantakul (2005) และ Kocsis et al. (2007) แสดงให้เห็นว่าระหว่างการเก็บรักษาหัวแค้นตะวันสด ขนาดความยาวของโมเลกุลอินูลินจะถูกลดลงให้มีขนาดสั้นลง ส่งผลทำให้ค่า Degree of polymerization (DP) ของอินูลินลดลง ผลการศึกษาเหล่านี้แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมของเอนไซม์อินูลิเนสมีความสำคัญต่อหัวแค้นตะวัน จากงานวิจัยของ Fante et al. (2012) พบว่าเอนไซม์อินูลิเนสมีความคงทนต่อความร้อนในระหว่างกระบวนการลวกสูงกว่าเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส (peroxidase) และเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส จากผลการศึกษาดังที่กล่าวมาข้างต้น ในงานวิจัยนี้การยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์อินูลิเนสจึงเป็นเป้าหมายหนึ่งที่สำคัญในกระบวนการเตรียมตัวอย่างและแปรรูปหัวแค้นตะวัน

ในปัจจุบัน พบว่ายังคงมีปริมาณข้อมูลเผยแพร่ที่จำกัดมาก เกี่ยวกับวิธีการสกัดอินูลินจากหัวแค้นตะวัน การทำสารสกัดอินูลินให้บริสุทธิ์ และการแปรรูปสารสกัดอินูลินให้อยู่ในรูปผลิตภัณฑ์ผง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระดับนำร่องและระดับอุตสาหกรรม Lingyun et al. (2007) แสดงให้เห็นว่า ณ ปัจจุบัน ยังไม่มีวิธีการที่รวดเร็วและประหยัดในการแปรรูปหัวแค้นตะวันในปริมาณมาก ๆ เพื่อผลิตอินูลินผง Bacon et al. (1950) สกัดอินูลินจากหัวแค้นตะวันโดยใช้น้ำร้อนก่อนที่จะทำแห้งเป็นผง Pekic et al. (1985) ใช้วิธีการสกัดหัวแค้นตะวันด้วยน้ำร้อนสองครั้ง เพื่อเพิ่มปริมาณผลผลิตอินูลินที่ได้ Wei et al. (2002) ประยุกต์ใช้เทคนิคการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟเพื่อช่วยในการสกัดอินูลินจากหัวแค้นตะวัน นอกจากการสกัดด้วยน้ำร้อน Sangthongpinit & Sajjaanantakul (2005) ได้ใช้เทคนิคการตกตะกอนอินูลินด้วยแอลกอฮอล์ก่อนกระบวนการทำแห้ง Lingyun et al. (2007) แสดงให้เห็นว่าปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการสกัดอินูลินจากหัวแค้นตะวัน ประกอบด้วย ค่าพีเอช ระยะเวลาในการสกัด อุณหภูมิ และสัดส่วนระหว่างตัวทำละลายต่อวัตถุดิบ โดย Lingyun et al. (2007) ได้สรุปว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือ การใช้ค่าพีเอชตามธรรมชาติ ระยะเวลาในการสกัด 20 นาที ที่อุณหภูมิ 76.65 องศาเซลเซียส และสัดส่วนระหว่างตัวทำละลายต่อวัตถุดิบที่ 10.56:1 (v/w) ซึ่งสภาวะดังกล่าวจะให้ปริมาณผลผลิตอินูลินที่ได้จากการสกัดถึง 83.6% นอกจากนี้ Sirisansaneeyakul et al. (2007) ได้ผลิตอินูลิน อินูโลโอลิโกแซ็กคาไรด์ และน้ำเชื่อมฟรักโทส จากหัวแค้นตะวัน โดยใช้วิธีการที่หลากหลาย รูปที่ 1 แสดงถึงขั้นตอนการผลิตอินูลินผงจากหัวแค้นตะวัน ซึ่งถูกพัฒนาโดย Zhi-fu et al. (2009) ในระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งผงอินูลินที่ได้มีความบริสุทธิ์มากกว่า 95% Zhi-fu et al. (2009) ระบุว่า โดยปกติแล้ว สิ่งเจือปนที่พบในสารสกัดอินูลินจากหัวแค้นตะวัน ประกอบด้วย โปรตีน กัม เส้นใย และ ส่วนประกอบของเซลล์ จากงานวิจัยของ Wang & Ji (2003) วิธีการทางอุตสาหกรรมที่

ใช้ในการกำจัดสิ่งเจือปนนอกจากสารสกัดประกอบด้วย การคาร์บอเนชัน (carbonation) การใช้กรดฟอสฟอริกร่วมกับปูนขาว การตกตะกอนด้วยแอลกอฮอล์ และการย่อยด้วยเอนไซม์ Wang & Ji (2003) ได้สรุปว่า ถึงแม้ว่าการตกตะกอนด้วยแอลกอฮอล์จะเป็นวิธีการที่ง่ายในทางปฏิบัติ แต่มีต้นทุนที่แพงเกินกว่าที่จะนำมาใช้ในเชิงการค้า ในทำนองเดียวกัน การย่อยด้วยเอนไซม์เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากในการกำจัดสิ่งเจือปนบางชนิด แต่กระบวนการมีค่าใช้จ่ายที่สูงและควบคุมให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมได้ยาก สำหรับหลักการของวิธีใช้กรดฟอสฟอริกร่วมกับปูนขาว พบว่ามีความคล้ายคลึงกับการคาร์บอเนชัน แต่การจับตัวเป็นกลุ่มก้อนของตะกอนแคลเซียมฟอสเฟตจะใช้ระยะเวลานาน ส่งผลทำให้มีความเสี่ยงต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สูง ดังนั้นการคาร์บอเนชันจึงเป็นวิธีการที่ได้รับความสนใจในการใช้ทำสารสกัดอินูลินจากหัวแก่ตะวันให้มีความบริสุทธิ์ (Zhi-fu et al., 2009) ผลการวิจัยของ Zhi-fu et al. (2009) แสดงให้เห็นว่าการใช้กระบวนการคาร์บอเนชันภายใต้สภาวะที่เหมาะสมสามารถกำจัดโปรตีนได้มากถึง 80% ในขณะที่ฟรักโทสส่วนใหญ่ถูกทำลายและกำจัดออกไปในรูปแบบของ lime saccharate Zhi-fu et al. (2009) กล่าวว่า ระหว่างกระบวนการคาร์บอเนชัน 3.4% ของคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดเกิดการสูญเสียไป ซึ่งในจำนวนนี้รวมถึง 91% ของน้ำตาลฟรักโทส จากงานวิจัยของ Paseephol and Sherkat (2009) ขั้นตอนการผลิตอินูลินผงจากหัวแก่ตะวัน ประกอบด้วย การสกัดด้วยน้ำร้อน การทำให้ใส และการทำให้เข้มข้นถึงระดับความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 12 องศาบริกซ์ ก่อนที่จะทำการแยกสารสกัดด้วยความเย็นที่อุณหภูมิ -24 องศาเซลเซียส การละลายที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส การหมุนเหวี่ยง การละลายของแข็งที่ได้อีกครั้งด้วยน้ำอุ่น และขั้นตอนสุดท้ายคือ การทำแห้งแบบพ่นฝอย ผลที่ได้ปรากฏว่า อินูลินที่ผลิตได้จากวิธีการดังกล่าวมีค่าความยาวเฉลี่ยของโมเลกุลที่แตกต่างกัน มีค่าสัดส่วนของอินูลินต่อโอลิโกฟรักโทสที่ต่ำกว่า น้ำตาลและเถ้าที่สูงกว่าผงอินูลินทางการค้าซึ่งผลิตจากหัวชิคอร์รี่ที่มีชื่อว่า medium-chain inulin (Raftiline[®] GR with an average chain length of 10) และ short-chain inulin หรือ oligofructose (Raftilose[®] P95 with an average chain length of 4) นอกจากนี้ Paseephol and Sherkat (2009) พบว่า Raftilose[®] P95 เป็นสารที่ถูกใช้ประโยชน์ได้ดีที่สุดสำหรับเชื้อฟรีไบโอติก เนื่องจากมีโครงสร้างที่เป็นสายสั้น โครงสร้างไม่เป็นกิ่งก้านสาขามาก และมีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี



รูปที่ 1. กระบวนการผลิตอินูลินจากหัวแก่ตะวัน

ที่มา: Zhi-fu et al. (2009)

มีวิธีการหาปริมาณอินูลินในตัวอย่างจำนวนหนึ่งซึ่งถูกตีพิมพ์เผยแพร่ในบทความทางวิชาการ Lingyun et al. (2007) ได้หาปริมาณอินูลินในตัวอย่างโดยการคำนวณค่าความแตกต่างระหว่างปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ โดยปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดหาจากวิธีฟีนอล-ซัลฟูริกแอซิด (phenol-sulphuric acid method) ในขณะที่ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ถูกหาค่าด้วยวิธี dinitrosalicylic acid method (DNS method) โดยใช้ D(-)-Fructose เป็นสารมาตรฐาน นอกจากนี้ Lingyun et al. (2007) ได้ประยุกต์ใช้ high-performance anion exchange chromatography (HPAEC) with pulsed amperometric detection ในการหารูปแบบของโอลิโกฟรักแทน (oligofructan pattern) โดยละเอียด Bach et al. (2012) คำนวณหาปริมาณอินูลินในสารสกัดจากหัวแก่ตะวัน โดยใช้ค่า

ความแตกต่างของความเข้มข้นของกลูโคสและฟรักโทสระหว่างก่อนและหลังกระบวนการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ตามวิธีการของ Kocsis et al. (2007) โดย Bach et al. (2012) ได้วิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลอิสระโดยใช้ HPAEC โดยอ้างอิงวิธีการของ Kaack et al. (2004) จากผลการวิจัยของ Bach et al. (2012) พบว่า หัวแค้นตะวันจำนวน 3 สายพันธุ์ที่ถูกนำมาศึกษา มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดต่ำ โดยมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 1.55 ถึง 2.15 g/100 g ของน้ำหนักสด ทั้งนี้ น้ำตาลส่วนใหญ่ที่พบคือ ซูโครส นอกจากนี้ Bach et al. (2012) พบว่า ปริมาณอินูลินทั้งหมดในหัวแค้นตะวันทั้ง 3 สายพันธุ์ ยังคงมีค่าคงที่ตลอดช่วงระยะเวลาเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน 3 ระดับ Baldini et al. (2004) หาค่าปริมาณอินูลินโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำตาลอิสระ ได้แก่ ซูโครส (sucrose; f_s) กลูโคส (glucose; f_g) และฟรักโทส (fructose; f_f) ในสารสกัดอินูลิน แล้วจึงหาค่าปริมาณฟรักโทสทั้งหมด (total fructose; F) และปริมาณกลูโคสทั้งหมด (total glucose; G) ในสารสกัดอินูลินหลังจากถูกไฮโดรไลซ์ด้วยกรด (acid-hydrolysed inulin extract) ด้วย HPLC method หลังจากนั้นปริมาณอินูลิน (inulin content; I) ถูกคำนวณหาได้จากสูตร: $I = (F+G)-(f_s + f_g + f_f)$ นอกจากนี้ค่า degree of polymerization (DP) เฉลี่ยของอินูลิน สามารถคำนวณหาได้จากสูตร: $DP = (F - f_f)/(G - f_g)$ Judprasong et al. (2011) ได้ประยุกต์ใช้หลักการที่คล้ายคลึงกับ Baldini et al. (2004) ในการหาค่าปริมาณอินูลิน เพียงแต่ใช้วิธีการไฮโดรไลซ์ตัวอย่างด้วยเอนไซม์ แทนที่วิธีการไฮโดรไลซ์ด้วยกรด Chabbert et al. (1985, 1993) กล่าวว่า ค่า DP ของอินูลิน ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์และอายุของแค้นตะวัน Saengthongpinit & Sajjaanantakul (2005) แสดงให้เห็นว่า หัวแค้นตะวันที่ถูกเก็บเกี่ยวช้า นั่นคือมีอายุ 20 สัปดาห์ จะมีองค์ประกอบที่เป็นโพลีเมอร์ ($DP > 10$) ลดลง แต่มีปริมาณฟรักโทสและซูโครสเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ Saengthongpinit & Sajjaanantakul (2005) ยังสรุปว่า หากพิจารณาในแง่ของปริมาณ high-DP inulin และปริมาณมวลแห้งทั้งหมดในหัวแค้นตะวัน ระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยวหัวแค้นตะวันที่ปลูกในประเทศไทย คือ 18 สัปดาห์ Vokov et al. (1993) แนะนำว่า อินูลินที่มีค่า DP สูง ($DP > 20$) เหมาะที่จะประยุกต์ใช้กับงานวิเคราะห์ (diagnostic application) ในขณะที่ อินูลินซึ่งมีค่า DP ต่ำกว่า ($DP 6-10$) สามารถใช้ประโยชน์ในการเพิ่มความคงตัวของขนมเค้กและผลิตภัณฑ์ขนมปัง จากข้อมูลของบริษัท BENEIO-Orafti แสดงให้เห็นว่า มีผลิตภัณฑ์อินูลินผงหลากหลายประเภทจำหน่ายในท้องตลาด โดยผลิตภัณฑ์อินูลินผงแต่ละประเภทมีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่แตกต่างกันไป ตามปริมาณอินูลิน กลูโคส ฟรักโทส ซูโครส และค่า DP เฉลี่ย ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ประเภทและคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของผลิตภัณฑ์อินูลินผงที่ผลิตโดยบริษัท BENE-Orafiti

Product name	Inulin content	Glucose/ Fructose / Sucrose	Average DP (Degree of Polymerisation)	Sweetness	Functional properties
Orafiti [®] ST-Gel	~92%	~8%	≥10	10%	Standard Inulin gel for high dispersability
Orafiti [®] GR	~92%	~8%	≥10	10%	Granulated Inulin
Orafiti [®] HP	100%	0%	>23	0%	High performance Inulin for fat replacement at low temperatures
Orafiti [®] HPX	100%	0%	≥23	0%	High performance Inulin for fat replacement at high temperatures
Orafiti [®] LGI	~96%	~4%	≥8	20%	Low sugar Inulin
Orafiti [®] HSI	86%	14%	<10	25%	High soluble Inulin

ที่มา: <http://www.orafiti.com/Our-Products/Inulin> (accessed on 9 August 2012)

ถึงแม้ว่าจะมีงานวิจัยเกี่ยวกับการผลิตอินูลินจากหัวแก่่นตะวันที่ถูกตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิชาการต่าง ๆ ดังแสดงรายละเอียดไปแล้วก่อนหน้านี้ อย่างไรก็ตามงานวิจัยเหล่านี้เป็นการศึกษาทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ นอกจากนี้กระบวนการผลิตอินูลินที่ใช้ในแต่ละงานวิจัยยังมีความแตกต่างกัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาวิธีการผลิตอินูลินผงจากหัวแก่่นตะวันเพื่อหากระบวนการที่เหมาะสมในระดับห้องปฏิบัติการ หลังจากนั้นผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้วิธีการที่เหมาะสมในการผลิตอินูลินผงในระดับนําร่อง โดยในการผลิตระดับนําร่องจะมีการเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับต้นทุนต่าง ๆ เพื่อใช้ในการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ โดยผู้วิจัยคาดหวังว่า ผลงานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อทั้งนักลงทุนที่สนใจผลิตอินูลินเพื่อจำหน่ายเชิงการค้าในประเทศไทย และนักวิจัยผู้ซึ่งกำลังทำงานวิจัยเกี่ยวกับอินูลิน

วิธีการทดลอง ผลและวิจารณ์

รายละเอียดของวิธีการทดลอง ผลและวิจารณ์ สำหรับงานวิจัยในส่วนต่าง ๆ ถูกแสดงในภาคผนวก ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 วิธีการทดลอง ผลและวิจารณ์ ของงานวิจัย ที่ถูกแสดงในแต่ละภาคผนวก

ภาคผนวกที่	ส่วนของงานวิจัย
1	ผลการทดลองเบื้องต้น
2	การทำแห้งห้วแก่แค้นตะวันด้วยลมร้อนในระดับห้องปฏิบัติการ
3	การทำแห้งห้วแก่แค้นตะวันด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งในระดับห้องปฏิบัติการ
4	การนำผลการทดลองจากการทำแห้งห้วแก่แค้นตะวันในระดับห้องปฏิบัติการมาใช้สร้างสมการอบแห้งชั้นบางและประเมินระยะเวลาที่ต้องใช้ในการทำแห้ง
5	การตรวจสอบโครงสร้างในระดับจุลภาคของตัวอย่างแค้นตะวันสดและตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้ง
6	ผลการสกัดอินูลินจากห้วแก่แค้นตะวันและการทำสารสกัดอินูลินให้บริสุทธิ์ พร้อมการทำสมมูลมวลสาร
7	ผลการวิเคราะห์ห้วงค์ประกอบในแป้งแค้นตะวัน สารสกัดอินูลิน และอินูลินผง
8	การพัฒนาแนวทางการกำจัดสีและกลิ่นโดยผงถ่านกัมมันต์และการลดปริมาณแคลเซียมด้วยเรซิน เพื่อเป็นแนวทางสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตระดับนําร่อง
9	การทำสารสกัดอินูลินให้เข้มข้นและการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ผง
10	ผลการวิเคราะห์ห้วงค์ประกอบของเปลือกของห้วแก่แค้นตะวันและตะกอน
11	การศึกษาคุณภาพของแป้งแค้นตะวันและอินูลินที่สกัดได้ในกรณีที่ใช้วัตถุดิบแค้นตะวันที่ปอกเปลือก/ไม่ปอกเปลือก และลวก/ไม่ลวก
12	การทดลองในระดับนําร่อง: กระบวนการแปรรูปห้วแก่แค้นตะวันเป็นแป้งแค้นตะวัน
13	การทดลองในระดับนําร่อง: กระบวนการแปรรูปแป้งแค้นตะวันเป็นอินูลินผง
14	การประเมินทางเศรษฐศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. งานวิจัยนี้สามารถพัฒนาวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการผลิตอินูลินผงจากหัวแก่แค้นตะวันได้ โดยแนวทางในการผลิตผงอินูลินจากแก่แค้นตะวันสามารถแบ่งออกเป็น 2 แนวทาง คือ (1) การผลิตผงอินูลินโดยไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีคุณภาพใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์อินูลินผงทางการค้าเกรด Orafti® HSI และ (2) การผลิตอินูลินผง โดยใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ (การคาร์บอนขึ้น การกำจัดสีและกลิ่นด้วยผงถ่านกัมมันต์ และการใช้ Ion exchange resin) ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีคุณภาพใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์อินูลินผงทางการค้า เกรด Orafti® LGI

2. วิธีการผลิตอินูลินผงโดยไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ ประกอบด้วย การล้างหัวแก่แค้นตะวัน การสไลด์หัวแก่แค้นตะวันให้เป็นชิ้นบาง ๆ การแช่สารละลายกรดซิตริก การลวกในน้ำเดือด การทำให้เย็น การทำแห้งด้วยลมร้อน การบดเป็นแป้งแก่แค้นตะวัน การสกัดอินูลินจากแป้งแก่แค้นตะวันด้วยน้ำร้อน การเหวี่ยงแยกตะกอนด้วย Basket centrifuge การระเหยนํ้าออกเพื่อให้เข้มข้น และการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยมีค่า Production yield อยู่ในช่วงประมาณ 1.214 กิโลกรัม น้ำหนักอินูลินผงต่อหัวแก่แค้นตะวัน 39 กิโลกรัม หรือเท่ากับ 31 กรัม น้ำหนักอินูลินผงต่อหัวแก่แค้นตะวัน 1 กิโลกรัม

3. วิธีการผลิตอินูลินผงโดยใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ ประกอบด้วย การล้างหัวแก่แค้นตะวัน การสไลด์หัวแก่แค้นตะวันให้เป็นชิ้นบาง ๆ การแช่สารละลายกรดซิตริก การลวกในน้ำเดือด การทำให้เย็น การทำแห้งด้วยลมร้อน การบดเป็นแป้งแก่แค้นตะวัน การสกัดอินูลินจากแป้งแก่แค้นตะวันด้วยน้ำร้อน การเหวี่ยงแยกตะกอนด้วย Basket centrifuge การคาร์บอนขึ้น การกำจัดสีและกลิ่นด้วยผงถ่านกัมมันต์ และการใช้ Ion exchange resin การระเหยนํ้าออกเพื่อให้เข้มข้น และการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยมีค่า Production yield อยู่ในช่วงประมาณ 0.689 กิโลกรัม น้ำหนักอินูลินผงต่อหัวแก่แค้นตะวัน 39 กิโลกรัม หรือเท่ากับ 18 กรัม น้ำหนักอินูลินผงต่อหัวแก่แค้นตะวัน 1 กิโลกรัม

4. การทำแห้งแบบไอน้ำร้อนยวดยิ่งไม่เหมาะสมที่จะใช้กับหัวแก่แค้นตะวัน เนื่องจากต้องระยาะเวลานานในการทำแห้ง ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ละเอียดหรือแห้งเหนียว และมีสีที่เข้มจัด วิธีการทำแห้งที่เหมาะสม คือ การใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส

5. ในการแปรรูปสารสกัดอินูลินให้เป็นผลิตภัณฑ์ผงโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยและเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ควรทำสารสกัดอินูลินให้เข้มข้นด้วยการระเหยนํ้าออก จนมีความเข้มข้น 30 บริกซ์ แล้วแปรรูปสารสกัดอินูลินให้เป็นผลิตภัณฑ์ผง โดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 190 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิลมร้อนขาออก 90 องศาเซลเซียส

6. ทั้งเปลือกแก่แค้นตะวันและกากตะกอนที่ได้จากกระบวนการปั่นเหวี่ยงมีปริมาณอินูลินสูง ดังนั้นไม่ควรปอกเปลือกแก่แค้นตะวันในการเตรียมตัวอย่างเพื่อสกัดอินูลิน และกากตะกอนดังกล่าวสามารถนำไปทำแห้งและแปรรูปเป็นอาหารเสริมได้

7. ควรมีการลวกชิ้นแก่แค้นตะวันในกระบวนการเตรียมตัวอย่างเพื่อลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นและลดกิจกรรมของเอนไซม์ที่จะทำให้เกิดสีน้ำตาลในแปงแก่แค้นตะวันระหว่างการเก็บรักษา

8. อินูลินผงที่ผลิตได้จากการทดลองกรณีที่ไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ มีคุณภาพที่ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์อินูลินผงเกรด Orafiti[®] HSI อย่างไรก็ตามระดับความบริสุทธิ์ของอินูลินยังคงต่ำกว่า ส่วนอินูลินผงที่ผลิตได้จากการทดลองกรณีที่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ พบว่ามีปริมาณอินูลินประมาณ 87% ซึ่งน้อยกว่าผลิตภัณฑ์อินูลินผงเกรด Orafiti[®] LGI แต่สอดคล้องกับข้อกำหนดคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์อินูลินผงเกรด Orafiti[®] HSI ในขณะที่หากพิจารณาปริมาณ Glucose/Fructose/Sucrose จะพบว่า เป็นไปตามข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์อินูลินผงเกรด Orafiti[®] LGI ส่วนคุณสมบัติอื่น ๆ ได้แก่ ค่า DP เหนียว ปริมาณมวลแห้ง และค่าพีเอช ของอินูลินผงจากหัวแก่แค้นตะวันทั้ง 2 กรณี มีความสอดคล้องกับข้อกำหนดคุณลักษณะของอินูลินผงยี่ห้อ Orafiti[®] ส่วนปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ พบว่า มีปริมาณสูงเกินกว่าข้อกำหนดคุณลักษณะของอินูลินผง ยี่ห้อ Orafiti[®]

9. ต้นทุนการผลิตของอินูลินผงในงานวิจัยนี้ทั้งกรณีที่ใช้และไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์มีค่าสูงกว่าราคาขายของผลิตภัณฑ์อินูลินผง ยี่ห้อ Orafiti ที่มีการนำเข้าและจำหน่ายอยู่ในประเทศไทยหลายเท่าตัว จึงไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน สาเหตุเกิดจากราคาวัตถุดิบหัวแก่แค้นตะวัน ซึ่งยังคงมีราคาแพงในปัจจุบัน รวมถึงต้นทุนค่าแรง และค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน อย่างไรก็ตามหากสามารถลดต้นทุนส่วนต่าง ๆ ได้ ตามที่ตั้งสมมุติฐานเพิ่มเติม การลงทุนในโครงการผลิตอินูลินผงจากหัวแก่แค้นตะวันในเชิงการค้า โดยมีการกำลังการผลิต 110,000 กิโลกรัม/ปี จะมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ หากมีอัตราการเติบโตของยอดขายตั้งแต่ 4.185% ต่อปีขึ้นไป ภายใต้เงื่อนไขว่าค่าใช้จ่ายแปรผันต่อปีมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตรา 50% ของอัตราการเติบโตของยอดขาย

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการพัฒนาเทคโนโลยีการปลูกหัวแก่แค้นตะวัน เพื่อให้ได้ผลผลิตต่อไร่สูงขึ้น และมีต้นทุนการปลูกลดลง เพื่อให้สามารถที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการแปรรูปเป็นอินูลินแล้วมีศักยภาพในการแข่งขัน

2. ควรมีการศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตอินูลินผงจากหัวแก่แค้นตะวันให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เพื่อให้สามารถแข่งขันกับผู้ผลิตรายใหญ่ได้

เอกสารอ้างอิง

- กชกร ปรางค์วิเศษ. 2554. การหาสภาวะที่เหมาะสมของการผลิตฟรุกโทสและอินูลิโอลิโกแซ็กคาไรด์จากเยรูซาเล็มอาร์ทิโชคด้วยเอนไซม์อินูลิเนสผสม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กฤติกา โพธิ์เย็น และ สุนทรี สุวรรณสิขณห์. 2556. ผลของการลวกและการใช้กรดต่อคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของแก่งตะวันผง. ใน เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 51 : สาขาส่งเสริมการเกษตรและคหกรรมศาสตร์, สาขาอุตสาหกรรมเกษตร. กรุงเทพฯ. หน้า 178-185 (463 หน้า)
- ฉัตรชัย นิยมม. 2548. การอบแห้งอาหารด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง. เทคนิค เครื่องกล-ไฟฟ้า-อุตสาหกรรม 22 (252) : เดือน ส.ค. 48.
- ชูชาติ อารีจิตรานุสรณ์. 2546. เอกสารคำสอนปฏิบัติการตรวจวิเคราะห์น้ำ. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ชนชาติ บุญวรโชติ, ศุภนัท สุวรรณสุขสำราญ, รุ่งทิพย์ พุ่มกุมาร และบุรินทร์ สันติชีวะเสถียร. 2553. การผลิตแป้งอินูลินและน้ำตาลอินูลิโอลิโกแซ็กคาไรด์จากแก่งตะวันเชิงอุตสาหกรรม (TRF-IBPGG53504). รายงานฉบับสมบูรณ์. คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 100 หน้า.
- นิธยา รัตนাপนนท์. 2545. เคมีอาหาร. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพมหานคร, 487 หน้า.
- รุ่งโรจน์ พุทธิสกุล, อุปวิทย์ สุวคันทรกุล และอัมพร กุญชรรัตน์. 2553. การผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเห่งน้ำมันสำปะหลัง. วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา. 4(2): 18-28.
- วิภาวี ศรีคาภา. 2551. อินูลินในแก่งตะวัน : การสกัด การวัดและผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเค้กไขมันต่ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ศิริพร ตันจ่อ, ครรชิต จุฑประสงค์, ชนัญชิตา ไชยโต, สนั่น จอกลอย. 2012. อินูลินและฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ในแก่งตะวันสายพันธุ์ต่างๆ Inulin and Fructooligosaccharides in Different Varieties of Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). **KKU Res. J** 17(1): 25-34.

- Adhikari, B., T. Howes, B. R. Bhandari and T. A. G. Langrish. 2009. Effect of addition of proteins on the production of amorphous sucrose powder through spray drying. **J. Food Eng.** 94: 144-153.
- Agrawal, Y. C. and R. D. Singh. 1977. Thin layer drying studies on short grain rice. **ASAE Paper** No: 3531, ASAE, St. Joseph, MI.
- Al-Kahtani, H. and H. Bakri. 1990. Spray drying of Hibiscus sabdariffa L. extract. **J. Food Sci.** 55: 1073–6.
- AOAC. 2000. **Official methods of analysis of AOAC INTERNATIONAL.** AOAC INTERNATIONAL, Maryland, USA.
- AOAC. 2005. AOAC Official method 925.45: Moisture in sugars. *In: Official methods of analysis of AOAC INTERNATIONAL.* 18th ed. AOAC INTERNATIONAL, Maryland, USA.
- Ayensu, A. 1997. Dehydration of food crops using a solar dryer with convective heat flow. **Solar Energy** 59(4–6): 121–126.
- Bach, V., U. Kidmose, G. K. Bjorn and M. Edelenbos. 2012. Effects of harvest time and variety on sensory quality and chemical composition of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) tubers. **Food Chem.** 133: 82-89.
- Bacon, J. S. D. and J. Edelman. 1950. The carbohydrates of the Jerusalem artichoke and other compositae. **Biochem J.** 48: 114-126.
- Baldini, M., F. Danuso, M. Turi and G. P. Vannozzi. 2004. Evaluation of new clones of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) for inulin and sugar yield from stalks and tubers. **Ind. Crop. Prod.** 19: 25-40.
- Beirão-da-Costa, S., C. Duarte, A. I. Bourbon, A. C. Pinheiro, M. I. N. Januário, A. A. Vicente, M. L. Beirão-da-Costa and I. Delgadillo. 2013. Inulin potential for encapsulation and controlled delivery of Oregano essential oil. **Food Hydrocoll.** 33: 199–206.

- Buriti, F. C. A., H. R. Cardarelli, T. M. C. C. Filisetti and S. M. I. Saad. 2007. Synbiotic potential of fresh cream cheese supplemented with inulin and *Lactobacillus paracasei* in co-culture with *Streptococcus thermophilus*. **Food Chem.** 104, 1605-1610.
- Cabezas, M. J., C. Rabert, S. Bravo and C. Shene. 2002. Inulin and sugar contents in *Helianthus tuberosus* and *Cichorium intybus* tubers: Effect of postharvest storage temperature. **J. Food Sci.** 67: 2860-2865.
- Cai, Y. Z. and H. Corke. 2000. Production and properties of spray-dried *Amaranthus betacyanin* pigments. **J. Food Sci.** 65(6): 1248–1252.
- Cano-Chauca, M., P. C. Stringheta, A. M. Ramos and J. Cal-Vidal. 2005. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innov. Food Sci. Emerg. Technol.** 6: 420-428.
- Carabin, I. G., and W. G. Flamm, 1999. Evaluation of safety of inulin and oligofructose as dietary fiber. **Regul. Toxicol. Pharm.** 30, 268-282.
- Causey, J. L., J. M. Feirtag, D. D. Gallaher, B. C. Tungland and J. L. Slavin. 2000. Effects of dietary inulin on serum lipids, blood glucose and the gastrointestinal environment in hypercholesterolemic men. **Nutr. Res.** 20: 191-201.
- Chabbert, N., J. P. Guiraud, M. Arnoux and P. Galzy. 1985. Productivity and fermentability of different Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) cultivars. **Biomass.** 6: 271-284.
- Chabbert, N., P. Braun, J. P. Guiraud, M. Arnoux and P. Galzy. 1993. Productivity and fermentability of Jerusalem artichoke according to harvest date. **Biomass.** 3: 209-224.
- Corradinia, C., F. Bianchia, D. Matteuzzib, A. Amorettib, M. Rossic and S. Zanonib. 2004. High-performance anion-exchange chromatography coupled with pulsed amperometric detection and capillary zone electrophoresis with indirect ultra violet detection as powerful tools to evaluate prebiotic properties of fructooligosaccharides and inulin. **J. Chromatogr. A.** 1054: 165-173.
- Couri, S., F. S. Gomes, R. I. Nogueira, V. C. Wilberg, L. M. C. Cabral, V. V. Silva and D. L. Almeida. 2005. Determination of inulin content of chicory roots (*Cichorium intybus* L.)

- cultivated organically in three regions of Rio de Janeiro state. *In: ENPROMER 2005*, Angra dos Reis- RJ, agosto 2005.
- Fleming, S. E., and J. W. D. Groot Wassink. 1979. Preparation of high fructose syrup from the tubers of Jerusalem artichokes. **Crit. Rev. Food Sci. Nutr.** 12(1): 1–28.
- Fooks, L. J. and G. R. Gibson. 2002. In vitro investigations of the effect of probiotics and prebiotics on selected human intestinal pathogens. **FEMS Microbiol. Ecol.** 39: 67-75.
- Franck, A. and L. De Leenheer. 2005. **Inulin**. Biopolymers Online.
- Fuchs, A. 1990. Perspectives of inulin and inulin-containing crops in the Netherlands and in Europe. *In: A. Fuchs (Ed.). Third Seminar on Inulin*. National Council for Agricultural Research, Hague, Netherlands, 80-102.
- Henderson, S. M. 1974. Progress in developing the thin-layer drying equation. **T. ASAE.** 17: 1167–1168, 1172.
- Hermann, M., I. Freire and C. Pazos. 1998. Compositional Diversity of the Yacon Storage Root. **CIP Program Report 1997-98.** 425-432.
- Hiranvarachat, B., S. Devahastin, and N. Chiewchan. 2011. Effects of acid pretreatments on some physicochemical properties of carrot undergoing hot air drying. **Food Bioprod. Process.** 89: 116–127.
- <http://bfi-online.ru/publ/4-1-0-19>: accessed on 8 August 2012.
- <http://www.orafti.com/Our-Products/Inulin>: accessed on 9 August 2012.
- <http://www.komchadluek.net/detail/20110728/104123/แก้ปัญหาวัวพิษเศรษฐกิจทางเลือก.html>: accessed on 8 August 2012.
- Hughes, J. C., J. E. Ayers, and T. Swain. 1962. After-cooking blackening in potatoes. 1–Introduction and analytical methods. **J. Sci. Food Agric.** 13(4): 224–229.
- Jittanit, W., M. Chantara-In, T. Deying and W. Ratanavong. 2011. Production of tamarind powder by drum dryer using maltodextrin and Arabic gum as adjuncts. **Songklanakarin Journal of Science and Technology.** 33(1): 33-41.

- Judprasong K., S. Tanjor, P. Sungpuag and P. Puwastien. 2011. Investigation of Thai plants for potential sources of inulin-type fructans. **J. Food Comp. and Anal.** 24: 642-649.
- Kaack, K., L. P. Christensen, S. L. Hansen and K. Grevsen. 2004. Non-structural carbohydrates in processed soft fried onion (*Allium cepa* L.). **Eur. Food Res. Technol.** 218: 372-379.
- Kang, S. I., Y. J. Chang, S. J. Oh and S. I. Kim. 1998. Purification and properties of an endo-inulinase from an *Artrobactor* sp.. **Biotechnol. Lett.** 20: 983–986.
- Khow-ean, U. 2006. Probiotics. **Songkla Med. J.** 24(4): 315-323.
- Kim, M. 2002. The water-soluble extract of chicory affects rat intestinal morphology similarly to other non-starch polysaccharides. **Nutr. Res.** 22: 1299-1307.
- Kocsis, L., P. Liebhard and W. Praznik. 2007. Effect of seasonal changes on content and profile of soluble carbohydrates in tubers of different varieties of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers. **J. Agr. Food Chem.** 55: 9401-9408.
- Lingyun, W., W. Jianhua, Z. Xiaodong, T. Da, Y. Yalin, C. Chenggang, F. Tianhua and Z. Fan. 2007. Studies on the extracting technical conditions of inulin from Jerusalem artichoke tubers. **J. Food Eng.** 79(3): 1087-1093.
- Lopez-Molina, D., M. D. Navarro-Martinez, F. R. Melgarejo, A. N. P. Hiner, S. Chazarra, S., and J. N. Rodriguez-Lopez. 2005. Molecular properties and prebiotic effect of inulin obtained from artichoke (*Cynara scolymus* L.). **Phytochemistry.** 66: 1476-1484.
- Macierzanka, A. and H. Szelag. 2006. Microstructural behavior of water-in-oil emulsions stabilized by fatty acid esters of propylene glycol and zinc fatty acid salts. **Colloid. Surface. A.** 281: 125–137.
- Meijer, W. J. M. and E. W. J. M. Mathijssen. 1993. Experimental and simulated production of inulin by chicory and Jerusalem artichoke. **Ind. Crop. Prod.** 1: 175-183.
- Meijer, W. J. M., E. W. J. M. Mathijssen and G. E. L. Borm. 1993. Crop characteristics and inulin production of Jerusalem artichoke and chicory. *In*: A. Fuchs (Ed.). **Inulin and Inulin-Containing Crops. Studies in Plant Science.** Vol. 3. Elsevier, Amsterdam, 29-38.

- Midilli, A., H. Kucuk and Z. Yapar. 2002. A new model for single layer drying. **Drying Technol.** 20(7): 1503–1513.
- Modler, H. W., J. D. Jones and G. Mazza. 1993. Observations on long-term storage and processing of Jerusalem artichoke tubers (*Helianthus tuberosus*). **Food Chem.** 48: 279-284.
- Paseephol, T. and F. Sherkat. 2009. Probiotic stability of yoghurts containing Jerusalem artichoke inulins during refrigerated storage. **J. Funct. Foods.** 311-318.
- Pekic, B., B. Slavica, Z. Lepojevic and S. M. Petrovic. 1985. Effect of pH on the acid hydrolysis of Jerusalem artichoke inulin. **Food Chem.** 17: 169-173.
- Raessler, M., B. Wissuwa, A. Breul, W. Unger and T. Grimm. 2008. Determination of water extractable nonstructural carbohydrates, including inulin, in grass samples with highperformance anion exchange chromatography and pulsed amperometric detection. **J. Agr. Food Chem.** 56: 7649-7654.
- Rao, V. A. 2001. The prebiotic properties of oligofructose at low intake levels. **Nutr. Res.** 21: 843-848.
- Roberfroid, M., G. R. Gibson and N. Delzenne. 1993. The biochemistry of oligofructose, a nondigestible fiber: an approach to calculate its caloric value. **Nutr. Rev.** 51(5): 137-146.
- Roberfroid, M. B. 1998. Prebiotics and synbiotics: Concepts and nutritional properties. **Brit. J. Nutr.** 80: S197-S202.
- Rutherford, P. P. and E. W. Weston. 1968. Carbohydrate changes during cold storage of some inulin-containing roots and tubers. **Phytochemistry.** 7: 175-180.
- Saengthongpinit, W. and T. Sajjaanantakul. 2005. Influence of harvest time and storage temperature on characteristics of inulin from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers. **Post. Biol. Technol.** 37: 93-100.

- Saikaew, S., R. Tangwongchai and A. Sae-Eaw. 2011. The change in quality attributes and enzymes activity of KaenTaWan (*Helianthus tuberosus* L.) during storages. **Agricultural Sci. J.** 42: 1 (Suppl.): 381-384.
- Sharaf-Eldeen, Y. I., J. L. Blaisdell and M. Y. Hamdy. 1980. A model for ear corn drying. **T. ASAE.** 23: 1261–1271.
- Sirisansaneeyakul, S., N. Worawuthiyanan, W. Vanichsriratana, P. Srinophakun and Y. Chisti. 2007. Production of fructose from inulin using mixed inulinases from *Aspergillus niger* and *Candida guilliermondii*. **World J. Microbiol. Biotechnol.** 23: 543-552.
- Takeuchi, J. and T. Nagashima. 2011. Preparation of dried chips from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) tubers and analysis of their functional properties. **Food Chem.** 126: 922-926.
- Van Loo, J., P. Coussement, L. D. Leenheer, H. Hoebregs and G. Smits. 1995. On the presence of inulin and oligofructose as natural ingredients in the western diet. **Crit. Rev. Food Sci. Nutr.** 35: 525-552.
- Vokov, K., M. Erdelyi and E. Pichler-Magyar. 1993. Preparation of pure inulin and various inulin-containing products from Jerusalem artichoke for human consumption and for diagnostic use. In: Fuchs, A. (Ed.), **Inulin and Inulin-Containing Crops**, Elsevier, Amsterdam. 341-345.
- Wang, C. Y. and R. P. Singh. 1978. A single layer drying equation for rough rice. **ASAE Paper** No: 78-3001, ASAE, St. Joseph, MI.
- Wang, Q.W. and M. Ji. 2003. Study on the method of removing impurities from the crude extract liquid of haliantus tuber under the condition of industrial production [J]. **Ningxia Eng. Technol.** 2(2): 23-24.
- Wei, W. Q., Z. Jin, Z. Xia and L. W. Yi. 2002. Using the microwave to extract the inulin from Jerusalem artichoke. **Journal of Ningxia University (Natural Science edition).** 4.
- Westerman, P. W., G. M. White and I. J. Ross. 1973. Relative humidity effect on the high temperature drying of shelled corn. **T. ASAE.** 16: 1136–1139.

- Wu, H. X. 2006. Studies on the extraction and purification technology of Puna chicory inulin [D]. Xi'an: Northwest A & F University.
- Yaldiz, O. and C. Ertekin. 2001. Thin layer solar drying of some different vegetables. **Drying Technol.** 19(3): 583–596.
- Zawistowski, J., G. Blank and E. D. Murray. 1986. Polyphenol oxidase activity in Jerusalem artichokes (*Helianthus tuberosus* L.). Can Inst. **Food Sci. Technol. J.** 19(5): 210-214.
- Zhi-fu, Z., Z. Hong-ji, Y. Jin-jin, L. Chao, G. Gui-yan and Z. Yi-wei. 2009. Impurity removal from inulin extract of Jerusalem artichoke tubers by carbonation. **Food Sci.** 30(14): 67-71.

Output จากโครงการวิจัยที่ได้รับทุนจาก สกว.

1. ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติ

- 1.1. Khuenpet, K., W. Jittanit and S. Sirisansaneeyakul. 2015. Comparison between hot air and superheated steam drying of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers and the inulin powder production. *Transactions of the ASABE*. มีค่า impact factor = 0.843 (ได้รับการตอบรับให้ตีพิมพ์แล้ว ดังหลักฐาน Acceptance letter ในเอกสารแนบท้ายเล่มรายงาน)
- 1.2. Khuenpet, K., W. Jittanit, S. Sirisansaneeyakul and W. Srichamnong. 2015. Effect of pre-treatments on quality of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tuber powder and the inulin extraction. *Transactions of the ASABE*. มีค่า impact factor = 0.843 (อยู่ระหว่างการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิอีกครั้ง หลังจากที่ได้มีการปรับแก้ไขบทความตามข้อเสนอแนะจากผู้ทรงคุณวุฒิแล้ว ดังหลักฐานในเอกสารแนบท้ายเล่มรายงาน)

2. ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับชาติ

- 2.1. Jirayucharoensak, R., W. Jittanit and S. Sirisansaneeyakul. 2015. Spray-drying for inulin powder production from Jerusalem artichoke tuber extract and product qualities. *Journal of Science & Technology, Ubon Ratchathani University*. 7(3): 13-18. ซึ่งอยู่ในฐานข้อมูล Thai-Journal Citation Index (TCI) และมีค่า Thai Journal Impact Factors = 0.125 ดังหลักฐานในเอกสารแนบท้ายเล่มรายงาน

3. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

- 3.1. เชิงพาณิชย์ (มีการนำไปผลิต/ขาย/ก่อให้เกิดรายได้ หรือมีการนำไปประยุกต์ใช้โดยภาคธุรกิจ/บุคคลทั่วไป)

ตอบ ไม่มี

- 3.2. เชิงนโยบาย (มีการกำหนดนโยบายอิงงานวิจัย/เกิดมาตรการใหม่/เปลี่ยนแปลงระเบียบข้อบังคับหรือวิธีทางงาน)

ตอบ ไม่มี

- 3.3. เชิงสาธารณะ (มีเครือข่ายความร่วมมือ/สร้างกระแสความสนใจในวงกว้าง)

ตอบ มีการนำผลงานวิจัยและนวัตกรรม ไปเผยแพร่ในวงกว้าง เพื่อประโยชน์ของแวดวงวิชาการสังคม และประชาชนทั่วไป ให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับคุณประโยชน์และการใช้เทคโนโลยีเพื่อเพิ่มมูลค่าของหัวแก่่นตะวัน ซึ่งเป็นผลิตผลทางการเกษตรชนิดหนึ่งของประเทศไทย เพื่อเพิ่มคุณภาพชีวิตของประชาชน โดยมีการเผยแพร่ในที่ประชุมระดับนานาชาติ ดังต่อไปนี้

3.3.1. นำเสนอผลงานแบบปากเปล่าในที่ประชุมวิชาการระดับนานาชาติ The 18th World Congress on Clinical Nutrition (WCCN) ระหว่างวันที่ 1-3 ธันวาคม 2557 ในหัวข้อเรื่อง “The study of spray drying for inulin powder production from Jerusalem artichoke tubers extract and the product qualities” ดังหลักฐานในเอกสารแนบท้ายเล่มรายงาน โดยบทความที่เสนอในงานประชุมวิชาการนี้ได้ถูกพิจารณาโดยคณะกรรมการจัดงานประชุมวิชาการนี้ ให้ตีพิมพ์ในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี (Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University)

3.3.2. นำเสนอผลงานแบบปากเปล่าในที่ประชุมวิชาการระดับนานาชาติ The SCEJ 80th Annual Meeting; International Symposium (Japan-Thai Symposium in Food Engineering -Forefront Research on Food Process Engineering-). 19-21 March 2015, Tokyo, Japan ระหว่างวันที่ 19-21 มีนาคม 2558 ในหัวข้อเรื่อง “Development of inulin powder production process from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers and quality determination” ดังหลักฐานในเอกสารแนบท้ายเล่มรายงาน

3.4. เชิงวิชาการ (มีการพัฒนาการเรียนการสอน/สร้างนักวิจัยใหม่)

ตอบ จากผลการดำเนินงานโครงการ “การพัฒนากระบวนการผลิตผงอินูลินสกัดจากหัวแก่นตะวันพร้อมทั้งการประเมินทางเศรษฐศาสตร์” โดยสามารถพัฒนากระบวนการผลิตผงอินูลินสกัดจากหัวแก่นตะวันที่มีประสิทธิภาพ พร้อมทั้งสามารถให้ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์แก่ภาคอุตสาหกรรมเกษตรของประเทศไทย ซึ่งโครงการนี้สามารถสร้างองค์ความรู้ใหม่โดยมีการส่งบทความเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ลงในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ (Journal paper) จำนวน 2 ฉบับ (ได้รับการตอบรับให้ตีพิมพ์แล้ว 1 ฉบับ รอผลการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิอีก 1 ฉบับ หลังจากที่ได้มีการปรับแก้ไขบทความตามข้อเสนอแนะจากผู้ทรงคุณวุฒิแล้ว) และได้รับการตีพิมพ์ลงในวารสารระดับชาติ ที่อยู่ในฐานข้อมูล Thai-Journal Citation Index (TCI) จำนวน 1 ฉบับ เพื่อใช้เป็นแหล่งข้อมูลให้กับนักวิจัยกลุ่มอื่นต่อไป และโครงการนี้มีส่วนช่วยสนับสนุนการผลิตบุคลากรระดับบัณฑิตศึกษาทางด้านวิศวกรรมอาหาร จำนวน 2 คน และวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร จำนวน 1 คน ซึ่งจะเป็นกำลังสำคัญแก่ประเทศไทยในการทางานวิจัยและพัฒนาต่อไปในอนาคต

4. อื่นๆ (เช่น หนังสือ การจดสิทธิบัตร)

4.1. มีการยื่นขอจด อนุสิทธิบัตร เรื่อง “กรรมวิธีการสกัดอินูลินจากแป้งเยรูซาเล็มอาร์ทีโชค การทำให้บริสุทธิ์และแปรรูปเป็นอินูลินผง” ดังหลักฐานในเอกสารแนบท้ายเล่มรายงาน

ภาคผนวก

ภาคผนวกที่ 1

ผลการทดลองเบื้องต้น

ในงานวิจัยนี้ ได้มีการทดลองเบื้องต้นในระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อทดสอบแนวทางและสภาวะสำหรับการทดลองที่ได้จากการสำรวจเอกสารงานวิจัยที่ผ่านมาและการคิดวิเคราะห์ เพื่อให้มั่นใจว่ามีความเหมาะสมก่อนที่จะนำมาใช้ในการทดลองจริงสำหรับกระบวนการ pretreatment และทำแห้งหั่วแ่ก่นตะวัน การบดเป็นผงแ่ก่นตะวัน การสกัดอินูลิน การทำให้บริสุทธิ์ และการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อินูลินผง ซึ่งผลการทดลองเบื้องต้นสามารถสรุปได้ดังนี้

กระบวนการ pretreatment และทำแห้งหั่วแ่ก่นตะวัน

ได้ทดลองนำหั่วแ่ก่นตะวันสด 1 กิโลกรัม มาปอกเปลือก และแช่ในสารละลายกรดซิตริก 0.5% w/v เพื่อยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล จากนั้นนำไปสไลด์ให้มีความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องสไลด์ผักและผลไม้ แช่ขึ้นแ่ก่นตะวันที่หั่นได้ในสารละลายกรดซิตริก 0.5% w/v ทั้งให้สะเด็ดน้ำและนำไปลวกในน้ำเดือด 100 °C เป็นเวลา 2 นาที (Takeuchi and Nagashima, 2011) เพื่อลดการทำงานของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (PPO) ที่ทำให้เกิดจุดสีน้ำตาลในวัตถุดิบ และช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความสว่าง (L*) สูง หลังจากกระบวนการลวกขึ้นแ่ก่นตะวันถูกลดอุณหภูมิลงโดยการแช่น้ำ ทั้งให้สะเด็ดน้ำ และทำการอบแห้งโดยเครื่องอบแห้งแบบถาด วางขึ้นแ่ก่นตะวันเรียงลงบนถาดที่มีผ้าขาวบางวางรองไว้ เรียงแบบชั้นเดียวไม่มีการซ้อนทับกันของขึ้นแ่ก่นตะวัน อุณหภูมิของเครื่องอบแห้งที่ใช้คือ 65 °C

จากผลการทดลองอบแห้งขึ้นแ่ก่นตะวันดังแสดงในตารางผนวกที่ 1.1 พบว่า การลวกทำให้ความชื้นเริ่มต้นของขึ้นแ่ก่นตะวันสูงกว่าการไม่ลวก อย่างไรก็ตาม เมื่ออบแห้งเป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าความชื้นของขึ้นแ่ก่นตะวันที่ผ่านการลวกจะลดลงมากกว่าขึ้นแ่ก่นตะวันที่ไม่ผ่านการลวก และเมื่อสิ้นสุดการอบแห้งที่ 5 ชั่วโมง ความชื้นของแ่ก่นตะวันที่ลวกจะมีค่าต่ำกว่าตัวอย่างที่ไม่ลวก และพบว่าระยะเวลาในการอบแห้ง 4 ชั่วโมง ทั้งแบบลวกและไม่ลวก ตัวอย่างจะมีค่าความชื้นอยู่ในช่วง 6.95 – 7.63% wb ซึ่งให้ลักษณะปรากฏของขึ้นแ่ก่นตะวันที่เหมาะสมสำหรับการนำไปบดเป็นแ่ก่นตะวันผง สำหรับสีของขึ้นแ่ก่นตะวันเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการลวกและไม่ลวก พบว่าขึ้นแ่ก่นตะวันที่ลวกเมื่อนำไปอบแห้งแล้วจะมีสีที่ทึบกว่าแบบไม่ลวกซึ่งคาดว่า

เป็นผลจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ เช่น ปฏิกิริยาเมลลาร์ด โดยมีความร้อนในการลวกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ตารางผนวกที่ 1.1 ความชื้น (% wb) ของแก่งตะวันแห้งขึ้นที่ผ่านการลวกและไม่ลวก เมื่อนำไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 65 °C

ระยะเวลาในการอบแห้ง (ชั่วโมง)	ความชื้น (% wb)	
	ขึ้นแก่งตะวันไม่ลวก	ขึ้นแก่งตะวันลวก
0	82.1 ^a ± 0.07	89.4 ^b ± 0.28
3	9.0 ^a ± 0.28	8.2 ^b ± 0.05
4	7.6 ^a ± 0.06	7.0 ^b ± 0.06
5	6.6 ^a ± 0.06	6.2 ^b ± 0.01

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ค่าตัวเลขที่แสดงผลในตารางมาจากการวัดค่า 3 ซ้ำ

การบดเป็นผงแป้งแก่งตะวัน

จากการทดลองเบื้องต้นในการบดหัวแก่งตะวันอบแห้งให้เป็นแป้งแก่งตะวัน โดยมีการเปรียบเทียบระหว่าง 1) การใช้ Blender เพื่อบดหยาบ แล้วบดละเอียดด้วย Rotary mill ที่คณะอุตสาหกรรมเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์กับ 2) การบดด้วย Fitz mill ในขั้นตอนแรกแล้วใช้ Pin mill ในขั้นตอนที่สถาบันค้นคว้าและวิจัยผลิตภัณฑ์อาหาร พบว่า ตัวอย่างที่บดด้วย Blender และ Rotary mill นั้นจะหยาบกว่าตัวอย่างที่บดด้วย Fitz mill และ Pin mill เนื่องจากเมื่อนำแป้งไปผ่านเครื่องร่อนด้วยตะแกรง 100 mesh จะมีแป้งที่มีลักษณะเป็นเม็ดและไม่ผ่านรูตะแกรงอยู่จำนวนมากดังภาพผนวกที่ 1.1 (b) แต่เมื่อนำแป้งแก่งตะวันที่บดด้วย Fitz mill และ Pin mill ของสถาบันวิจัยและค้นคว้าผลิตภัณฑ์อาหารไปผ่านเครื่องร่อนจะพบว่าแป้งที่บดจากทางสถาบันมีความละเอียดของผงมากกว่าเพราะเมื่อร่อนด้วยตะแกรง 100 mesh จะร่อนได้โดยง่ายและไม่มีส่วนที่ค้างอยู่บนตะแกรง ดังภาพผนวกที่ 1.2

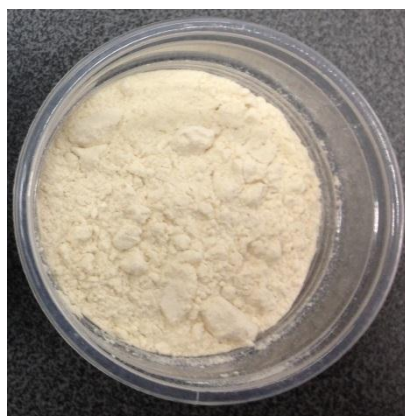


(a)



(b)

ภาพผนวกที่ 1.1 ตัวอย่างแป้งแค้นตะวันที่บดด้วย Blender และ Rotary mill (a) ผงที่ผ่านการร่อนตะแกรง 100 mesh (b) ผงที่เหลือค้ำบนตะแกรง 100 mesh



ภาพผนวกที่ 1.2 ตัวอย่างแป้งแค้นตะวันที่บดด้วย Fitz mill และ Pin mill ซึ่งผ่านการร่อนตะแกรง 100 mesh

เมื่อนำแป้งแค้นตะวันที่บดได้มาทำการสกัดอินูลิน จะพบว่า แป้งแค้นตะวันที่บดด้วย Fitz mill และ Pin mill เมื่อนำมาเติมน้ำที่อุณหภูมิ 85 °C เพื่อที่จะสกัดอินูลินออกจากแป้งแค้นตะวัน จะมีการละลายที่ดีกว่าแป้งแค้นตะวันที่บดด้วย Blender และ Rotary mill และแป้งแค้นตะวันที่บดด้วย Blender และ Rotary mill แล้วร่อนผ่านตะแกรง 100 mesh ดังผลในตารางผนวกที่ 1.2 และภาพผนวกที่ 1.3 โดยหากการละลายดีค่าปริมาณกากตะกอน (Sediment weight) จะมีค่าน้อย ซึ่งสาเหตุอาจจะมาจากขนาดของอนุภาคผงแป้งแค้นตะวันทั้งสามตัวอย่างไม่เท่ากัน โดยผงแป้งแค้นตะวันที่บดด้วย Fitz mill และ Pin mill จะมีขนาดอนุภาคที่ละเอียดมากกว่าทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสน้ำมากกว่าแป้งแค้นตะวันที่บดด้วย Blender และ Rotary mill

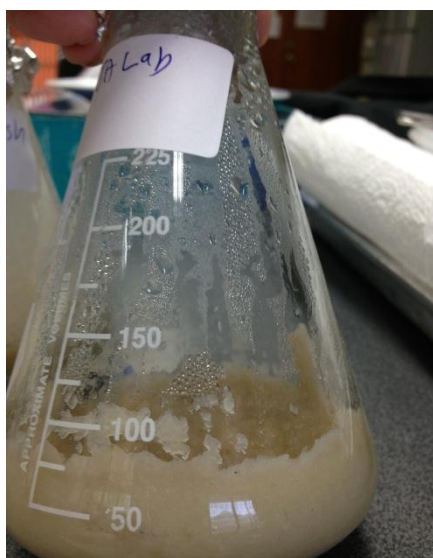
จึงละลายได้ดีกว่า มีตะกอนน้อยกว่า จากผลดังกล่าวทำให้ผู้วิจัยตัดสินใจใช้วิธีการบดแบ่งแ่งกันด้วย Fitz mill และ Pin mill

ตารางผนวกที่ 1.2 ปริมาณกากตะกอนและน้ำสกัดที่ได้จากการสกัดแบ่งแ่งกันด้วยน้ำร้อน

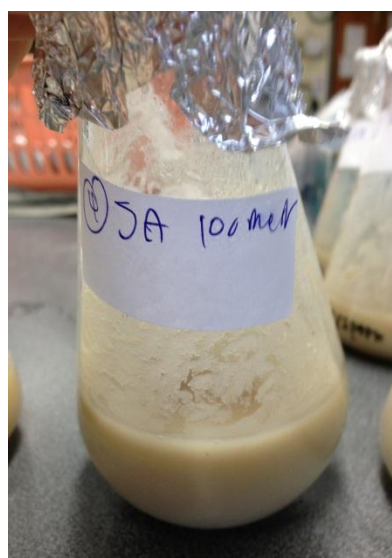
Sample	Powder weight (g)	Water weight (g)	Total weight (g)	Sediment weight (g)	Extract solution weight (g)
แบ่งแ่งกันที่บดด้วย Blender และ Rotary mill	10.0	70.0	80.0	41.1 ^c ± 3.602	32.2 ^a ± 5.816
แบ่งแ่งกันที่บดด้วย Blender และ Rotary mill แล้วร่อนด้วยตะแกรง 100 mesh	10.0	70.0	80.0	22.8 ^b ± 8.782	43.9 ^b ± 614
แบ่งแ่งกันที่บดด้วย Fitz mill และ Pin mill	10.0	70.0	80.0	8.5 ^a ± 0.559	64.3 ^c ± 2.319

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ค่าตัวเลขที่แสดงผลในตารางมาจากการทดลอง 3 ซ้ำ



(a)



(b)



(c)

ภาพที่ 1.3 (a) สารละลายอินูลินที่ได้จากแบ่งแ่งกันที่บดด้วย Blender และ Rotary mill, (b) สารละลายอินูลินที่ได้จากแบ่งแ่งกันที่บดด้วย Blender และ Rotary mill แล้วร่อนด้วยตะแกรง 100 mesh และ (c) สารละลายอินูลินที่ได้จากแบ่งแ่งกันที่บดด้วย Fitz mill และ Pin mill

การสกัดอินูลิน

หลังจากบดหัวแก่ตะวันอบแห้งเป็นแป้งแก่ตะวันแล้ว ขั้นตอนถัดมาคือการทดลองเบื้องต้นสำหรับการสกัดอินูลินจากแป้งแก่ตะวัน โดยใช้วิธีการสกัดอินูลินที่อ้างอิงจาก กชกร (2554) นั่นคือนำแป้งแก่ตะวันเตรียมโดยไม่ผ่านการลวกมาสกัดด้วยน้ำร้อน ในอัตราส่วนระหว่างแป้งแก่ตะวันและน้ำร้อนเป็น 1:7 นั่นคือชั่งแป้งแก่ตะวันผงน้ำหนัก 1,000 กรัม เติมน้ำที่มีอุณหภูมิ 85 °C ปริมาณ 7,000 กรัม แล้วนำไปให้ความร้อนแบบ double jacket ให้ความร้อนด้วยเตาแก๊ส ระหว่างการสกัดควบคุมให้อุณหภูมิของส่วนผสมระหว่างแป้งแก่ตะวันและน้ำร้อนอยู่ที่ระดับ 85 °C พร้อมทั้งกวนตลอดเวลา เป็นเวลา 60 นาที หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงแยกกากหยาบขั้นต้นด้วยเครื่อง Basket centrifuge ต่อด้วยการแยกตะกอนละเอียดด้วย Refrigerated centrifuge ที่อุณหภูมิ 4 °C ความเร็วรอบ 8,000 rpm เป็นเวลา 20 นาที ได้สารสกัดสีน้ำตาลอมเหลืองค่อนข้างใส แต่ยังมีตะกอนลอยปนอยู่เล็กน้อยเมื่อเทสารสกัดออกจากหลอด centrifuge จึงต้องทำการกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.4 (ความละเอียด 20-25 μm) และ 5 (ความละเอียด 2.5 μm) อีกขั้นตอนหนึ่งเพื่อแยกตะกอนละเอียดออก กระบวนการดังกล่าวรวมถึงการทำให้บริสุทธิ์และการทำแห้งสารสกัดเป็นอินูลินผงโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer) ดังแสดงดังภาพผนวกที่ 1.4

จากการทดลองเบื้องต้นดังกล่าว ซึ่งเป็นการสกัดอินูลินด้วยน้ำร้อน โดยให้ความร้อนแบบ double jacket และให้ความร้อนกับน้ำรอบ ๆ ภาชนะที่ใส่ส่วนผสมของแป้งแก่ตะวันกับน้ำด้วยเตาแก๊ส และคนด้วยมือตลอดเวลานั้น พบว่าอุณหภูมิของสารสกัดไม่ค่อยคงที่เนื่องจากไม่มีความแม่นยำในการปรับระดับการให้ความร้อน ส่วนการแยกตะกอนที่ประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอนคือ 1. ใช้ Basket centrifuge เพื่อแยกตะกอนหยาบ 2. ใช้ Refrigerated centrifuge เพื่อแยกตะกอนละเอียดและ 3. กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.4 และ 5 เป็นขั้นตอนสุดท้าย เมื่อพิจารณาแล้วพบว่าหากต้องการที่จะเพิ่มปริมาณตัวอย่างสำหรับการสกัดให้มากขึ้นสำหรับการทดลองในระดับ Pilot scale วิธีการกรอง 3 ขั้นตอนนี้ไม่เหมาะสมเนื่องจากต้องใช้อุปกรณ์ถึง 3 ชนิด มีการสูญเสียปริมาณสารสกัดในแต่ละขั้นตอน และใช้เวลามากในการกรอง ดังนั้น จึงมีการพัฒนากระบวนการดังกล่าวในการทดลองจริงต่อไปโดยใช้ถังกวนผสมแบบ double jacket ซึ่งควบคุมอุณหภูมิด้วย Electronic controller ที่ติดตั้งใบพัดกวนซึ่งใช้กำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้า และเลือกใช้ Basket centrifuge เป็นอุปกรณ์ในการแยกตะกอนออกเพียงชนิดเดียว โดยได้เปลี่ยนความละเอียดของถุงกรอง Basket centrifuge ให้มีความละเอียดมากขึ้นเพื่อแยกตะกอนออกจากสารสกัดให้ได้มากที่สุด



+



แก่นตะวันผง : น้ำ = 1:7



สกัดด้วยน้ำร้อน 85 °C 1 ชั่วโมง



แยกตะกอนหยาบด้วย Basket centrifuge



แยกตะกอนละเอียดด้วย Refrigerated centrifuge



กรองด้วยกระดาษกรอง

Whatman No. 4 (20-25 µm) และ 5 (2.5 µm)



Carbonation



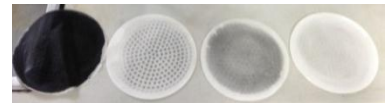
แยกตะกอนด้วย Refrigerated centrifuge



กรองด้วยกระดาษกรอง
Whatman No. 4 และ 5



กำจัดสีและกลิ่นด้วย activated carbon



กรองแยก activated carbon
Whatman No. 4, 1 (10 µm) และ 5



ทำแห้งด้วย Spray dryer



อินูลินผงจากแก่นตะวัน

ภาพผนวกที่ 1.4 การทดลองเบื้องต้นสำหรับกระบวนการสกัด การทำให้บริสุทธิ์ และการทำแห้งเป็นอินูลินผง

การทำให้บริสุทธิ์

หลังจากที่ได้สารสกัดที่ผ่านการกรองเอาตะกอนออกแล้ว นำสารสกัดที่ได้มาทำให้บริสุทธิ์ด้วยกระบวนการคาร์บอนชั้นเพื่อกำจัดน้ำตาลมोनอแซ็กคาไรด์ในน้ำสกัดอินูลิน และกำจัดสีและกลิ่นด้วยผงถ่านกัมมันต์ โดยดัดแปลงวิธีการจากงานวิจัยของ Zhi-fu *et al.* (2011)

กระบวนการคาร์บอนชั้นมีขั้นตอนดังนี้

1. นำสารสกัดอินูลินจากแป้งแก่จนวันที่ผ่านการกรองแล้วมาบ่มใน Water bath ควบคุมอุณหภูมิที่ 80 °C
2. เติมสารแคลเซียมออกไซด์ ควบคุมกับการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยเติมสารแคลเซียมออกไซด์จนกระทั่งค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำสกัดอินูลินมีค่าคงที่ในช่วงระหว่าง 10-12
3. เติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ลงในน้ำสกัดอินูลิน จนกระทั่งค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงเหลือประมาณ 6.5-7 หยุดการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ นำน้ำสกัดอินูลินตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
4. นำน้ำสกัดอินูลินไปปั่นเหวี่ยงด้วย Refrigerated centrifuge ที่อุณหภูมิ 4 °C ความเร็ว 8,000 rpm เป็นเวลา 15 นาที
5. นำมากรองผ่านกระดาษกรอง Whatman No.4 และ 5 เพื่อแยกตะกอนออก ได้ส่วนใสเป็นน้ำสกัดอินูลินที่มีน้ำตาลต่ำ

เนื่องจากน้ำสกัดอินูลินที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนชั้นจะมีสีน้ำตาลเข้ม และมีกลิ่นที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมี จึงต้องมีกระบวนการทำให้บริสุทธิ์เพิ่มเติมเพื่อกำจัดสีและกลิ่น นั่นคือ การกำจัดสีและกลิ่นด้วยผงถ่านกัมมันต์

ในการศึกษาเบื้องต้น ได้ทดลองเติมถ่านกัมมันต์ 2 ชนิด คือ แบบผงละเอียด และแบบเม็ด ซึ่งเป็นถ่านกัมมันต์เกรดที่ใช้สำหรับการกรองน้ำดื่มทั่วไป ลงในน้ำสกัดอินูลินที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนชั้น พบว่าถ่านกัมมันต์แบบผงมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีและกลิ่นมากกว่าแบบเป็นเม็ด ขั้นตอนกำจัดสีและกลิ่นด้วยผงถ่านกัมมันต์มีรายละเอียดดังนี้

1. รอบแรก บ่มน้ำสกัดอินูลินที่มีน้ำตาลต่ำบนอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่าที่อุณหภูมิ 80 °C เติมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เขย่าที่ความเร็วรอบ 100-150 rpm เป็นเวลา 30 นาที
2. กรองเอาผงถ่านออกด้วยกระดาษกรอง Whatman No.4, 1 (ความละเอียด 10 μ m) และ 5

3. ทำการกำจัดสีและกลิ่นรอบที่สองโดยเติมผงถ่านกัมมันต์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เขย่าที่ความเร็วรอบ 100-150 rpm ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 นาทีหรือจนกว่าสีของน้ำสกัดอินูลินที่มีน้ำตาลต่ำจะจางลง
4. กรองเอาผงถ่านออกด้วยกระดาษกรอง Whatman No.4, 1 และ 5
5. เก็บรักษาน้ำสกัดอินูลินที่ผ่านการกำจัดสีและกลิ่นที่อุณหภูมิ 4-10 °C เพื่อรอการนำไปทำให้เป็นผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

จากการทดลองเบื้องต้น ปัญหาที่พบจากการเติมผงถ่านกัมมันต์ลงไปในการสกัดเพื่อกำจัดสีและกลิ่น คือ ต้องใช้กระดาษกรองที่มีความละเอียดในการกรองหลายขนาดเนื่องจากผงถ่านมีอนุภาคเล็ก และกระดาษกรองอุดตันง่าย ทำให้ต้องเปลี่ยนกระดาษกรองบ่อย ๆ จึงเกิดการสูญเสียน้ำสกัดไปกับกระบวนการกรองพอสมควร และใช้ระยะเวลาในการกรองมาก

การแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อินูลินผง

ในการทดลองเบื้องต้นเพื่อแปรรูปน้ำสกัดอินูลินเป็นผลิตภัณฑ์อินูลินผงนั้น ได้ใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยกำหนดให้อุณหภูมิลมขาเข้า เท่ากับ 150 °C และอุณหภูมิลมขาออกคือ 90 °C โดยการควบคุมอุณหภูมิลมขาออกทำได้โดยการปรับอัตราการไหลของตัวอย่างเข้าเครื่องทำแห้ง (Feed rate) ซึ่งจากการทดลองเบื้องต้นพบว่าสภาวะการทำแห้งดังกล่าวสามารถแปรรูปให้น้ำสกัดอินูลินกลายเป็นผลิตภัณฑ์ผงแห้งตามที่ต้องการได้ อย่างไรก็ตาม ปัญหาหนึ่งที่พบจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยคือ มีการสูญเสียตัวอย่างผงเนื่องจากอินูลินผงไปเกาะติดแน่นอยู่ที่ขวดเก็บตัวอย่าง ซึ่งอยู่ในลักษณะที่จับตัวกันเป็นผลึกแข็งเล็ก ๆ ติดรอบขวดด้านใน ดังนั้นเพื่อลดปัญหานี้จึงทดลองเตรียมขวดเก็บตัวอย่างสำหรับเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยจำนวน 2 ขวด โดยขวดแรกจะใช้งานในขั้นตอนของการอุ่นเครื่องด้วยการพ่นฝอยน้ำธรรมดา รอจนกระทั่งอุณหภูมิของลมขาออกได้ 90 °C ก็นำขวดเก็บตัวอย่างขวดที่ 2 มาเปลี่ยน โดยขวดใบที่ 2 นี้ผ่านการอบแห้งที่ 105 °C ประมาณ 3 ชั่วโมงมาแล้ว เมื่อประกอบขวดเก็บตัวอย่างใบที่ 2 เข้ากับเครื่องอบแห้งแทนขวดใบที่ 1 แล้ว รอให้อุณหภูมิลมขาออกคงที่ 90 °C ประมาณ 10 นาที จึงค่อยเริ่มทำการป้อนตัวอย่างเข้าเครื่องทำแห้ง จากผลการทดลองดังกล่าวพบว่าจะช่วยลดการสูญเสียผงตัวอย่างเนื่องจากการเกาะติดของผงภายในขวดได้

หลังจากนั้นได้ทดลองนำโซเดียมเคซิเนต (NaCS) มาเป็นสารตัวพาเพื่อช่วยห่อหุ้มอนุภาคผงอินูลินและคาดว่าจะทำให้การเกาะติดของผงอินูลินภายในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยลดลง เนื่องจากงานวิจัยของ

(Adhikari *et al.*, 2009) ได้นำโซเดียมเคซีเนตมาช่วยในการผลิตน้ำตาลอสังฐานด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย แล้วพบว่าสามารถลดการเกาะติดของผงน้ำตาลซูโครสในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยได้ ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองเติมโซเดียมเคซีเนตปริมาณ 1% w/w ในสารละลายอินูลิน ซึ่งพบว่าทำให้เกิดการตกตะกอนที่ก้นภาชนะดังภาพผนวกที่ 1.5 ดังนั้นจึงทดลองปรับปริมาณการเติมโซเดียมเคซีเนตให้ลดลงเป็น 0.5% w/w โดยละลายที่อุณหภูมิ 55 °C แล้วนำสารละลายที่ได้ไปทำแห้งแบบพ่นฝอย จากผลการทำแห้งแบบพ่นฝอย สารละลายอินูลินโดยเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่ได้เติมโซเดียมเคซีเนต 0.5% w/w และกรณีที่ไม่เติมโซเดียมเคซีเนต เมื่อสารละลายอินูลินก่อนเติมโซเดียมเคซีเนตมีความเข้มข้นเท่ากันคือ 11.6 °Brix ใช้อุณหภูมิลมเข้า 150 °C และอุณหภูมิลมออกที่ 90 °C พบว่าสารละลายอินูลินที่ไม่ได้เติมโซเดียมเคซีเนตได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ผง (yield) เท่ากับ 74.04% ของปริมาณของแข็งในวัตถุดิบ และสารละลายอินูลินที่ได้เติมโซเดียมเคซีเนตได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ผง (yield) เท่ากับ 75.40% ซึ่งผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การเติมโซเดียมเคซีเนตไม่ได้ช่วยเพิ่มปริมาณผลิตภัณฑ์ผง (yield) มากนัก และปริมาณผลิตภัณฑ์ผงในกรณีที่ไม่ได้เติมโซเดียมเคซีเนตก็มีค่าปริมาณสูงในระดับที่น่าพึงพอใจ อีกทั้งการเติมโซเดียมเคซีเนตยังมิผลทำให้ความบริสุทธิ์ของอินูลินผงที่ได้หลังการทำแห้งแบบพ่นฝอยลดลง ดังนั้น จึงตัดสินใจที่จะไม่ใช้การเติมโซเดียมเคซีเนตในการทดลองต่อไป

เนื่องจากในการทดลองเบื้องต้นที่ผ่านมาใช้ระยะเวลาในการทำแห้งแบบพ่นฝอยไม่นานเนื่องจากปริมาณวัตถุดิบที่ป้อนเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยมีปริมาณน้อย จึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ผง (yield) ค่อนข้างสูง เนื่องจากการเกาะติดของผงอินูลินภายในเครื่องทำแห้งยังไม่สะสมมากจนทำให้เกิดพื้นผิวที่มีสภาพเหนียว แต่ในอุตสาหกรรมจริงจะต้องใช้ปริมาณวัตถุดิบมากและใช้ระยะเวลานานในการทำแห้ง จึงได้ทดลองทำแห้งสารละลายอินูลินเป็นเวลา 5 ชั่วโมงต่อเนื่อง เพื่อสังเกตว่าจะยังคงได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงสูงอยู่หรือไม่ ซึ่งผลการทดลองพบว่าปริมาณผลิตภัณฑ์ผงอยู่ที่ระดับ 70.36% ซึ่งยังคงสูงใกล้เคียงกับกรณีที่ใช้ระยะเวลาในการทำแห้งแบบพ่นฝอยสั้น จึงได้แนวทางสำหรับการทดลองต่อไปว่าสภาวะการทำแห้งที่ใช้ในการทดลองเบื้องต้นสามารถนำไปใช้ในการทดลองจริงต่อไปได้



ภาพผนวกที่ 1.5 สารละลายอินูลินหลังการเติมโซเดียมเคซีเนต (a) ปริมาณ 1% w/w และ (b) ปริมาณ 0.5% w/w

การตรวจวิเคราะห์สารสกัดและอินูลินผง

สารสกัดอินูลินและอินูลินผงที่ได้จากการทดลองเบื้องต้นถูกนำมาวัดค่าปริมาณ reducing sugar, น้ำตาลและฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์ Carbohydrate แต่ละกลุ่ม ค่า Hardness และเถ้า โดยหลักการเตรียมตัวอย่างคือ เนื่องจากน้ำสกัดอินูลินที่ได้จากแต่ละขั้นตอนมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ซึ่งวัดด้วย Refractometer อยู่ในช่วงประมาณ 8-10 °Brix ในการเตรียมสารละลายเริ่มต้นจากอินูลินผงจึงใช้ผงจำนวน 1 กรัม แล้วเติมน้ำกลั่น 9 ml เพื่อให้ได้สารละลายที่มีความเข้มข้นประมาณ 10 °Brix ซึ่งจะช่วยให้สามารถเปรียบเทียบผลการวัดระหว่างแต่ละตัวอย่างได้เนื่องจากตัวอย่างเริ่มต้นมีค่าความเข้มข้นอยู่ในระดับสม่ำเสมอ แล้วจึงนำสารละลายดังกล่าวพร้อมทั้งน้ำสกัดไปวัดค่าต่าง ๆ ต่อไป

จากผลการวัดค่าปริมาณ reducing sugar ด้วยวิธี Dinitrosalicylic acid method (DNS) ดังแสดงในตารางผนวกที่ 1.3 พบว่ากระบวนการคาร์บอนเนชั่นทำให้ปริมาณน้ำตาลลดลงได้ จาก 6.95 g/L เหลือ 3.07 g/L อีกทั้งเมื่อนำไปกำจัดสีและกลิ่นด้วยผงคาร์บอน ก็ทำให้ปริมาณน้ำตาลมอนอแซ็กคาไรด์ลดลงเช่นกัน จาก 3.07 g/L เป็น 1.43 g/L

ตารางผนวกที่ 1.3 ปริมาณ Reducing sugar ที่พบในน้ำสกัดอินูลินที่ได้จากขั้นตอนต่าง ๆ และสารละลายของอินูลินผงเปรียบเทียบกับอินูลินทางการค้า

Treatment	Reducing sugar (g/L)
ก่อนการ carbonation	6.95 ^d ± 0.00
หลังการ carbonation	3.07 ^c ± 0.01
หลังการเติม activated carbon	1.43 ^a ± 0.01
อินูลินผงจากการทดลอง	1.68 ^b ± 0.01
อินูลินทางการค้า (Orafti® HSI)	25.07 ^e ± 0.02

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ค่าตัวเลขที่แสดงผลในตารางมาจากการวัดค่า 3 ซ้ำ

นอกจากนี้ สารสกัดอินูลินและอินูลินผงที่ได้จากการทดลองเบื้องต้นยังถูกนำมาวัดค่าความเข้มข้นของน้ำตาลและฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์ (FOS) ได้แก่ ฟรักโทส (F) กลูโคส (G) ซูโครส (GF) 1-เคสโทส (GF₂) นีสโทส (GF₃) 1^F-ฟรักโทฟูราโนซิลนีสโทส (GF₄) ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography; HPLC) เพื่อทราบคุณภาพของสารสกัดอินูลินที่ได้ในขั้นตอนต่าง ๆ และอินูลินผง ดังแสดงผลในตารางผนวกที่ 1.4

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ากระบวนการคาร์บอนเนชันทำให้น้ำตาลฟรักโทสและกลูโคสถูกกำจัดออกไปและน้ำตาลซูโครสก็มีปริมาณลดลง ซึ่งทำให้ได้สารสกัดอินูลินที่มีความบริสุทธิ์มากขึ้นและระดับของ Reducing sugar ต่ำ ซึ่งในทางการค้าผงอินูลินที่มีปริมาณ Reducing sugar ต่ำ จะมีราคาสูงกว่าผงอินูลินที่มีปริมาณ Reducing sugar สูง

ตารางผนวกที่ 1.4 ปริมาณน้ำตาลและฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์ (FOS) ของสารสกัดอินูลินและสารละลายจากอินูลินผงที่ได้จากการทดลองเบื้องต้น

Treatment	Composition (g/L)					
	fructose	glucose	sucrose	GF2	GF3	GF4
หลังการ Basket centrifuge	3.50	-	37.98	21.45	24.41	9.52
ก่อนการ carbonation	4.21	-	-	20.73	26.36	10.48
หลังการ carbonation	-	-	6.88	10.83	18.62	8.72
หลังการเติม activated carbon	-	-	6.50	17.83	23.51	8.46
สารละลายอินูลินผงจากการทดลอง	-	-	6.66	16.15	20.27	7.54

นอกจากนี้ สารสกัดอินูลินและอินูลินผงที่ได้จากการทดลองเบื้องต้น ยังถูกนำมาวิเคราะห์ carbohydrate แต่ละกลุ่มคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับ Total carbohydrate เช่น น้ำตาลต่าง ๆ ได้แก่ ฟรักโทส (F) กลูโคส (G) ซูโครส (GF) 1-เคสโทส (GF₂) นีสโทส (GF₃) 1^F-ฟรักโทฟูราโนซิลนีสโทส (GF₄) และน้ำตาลอื่น ๆ ที่แสดงออกมาเป็น Degree of polymerization (DP) ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถภาพสูงแบบแลกเปลี่ยนไอออนบวกที่ใช้ Detector ชนิด pulsed amperometric (High Performance Anion Exchange Chromatography with Pulsed Amperometric Detection; HPAEC-PAD) โดยใช้คอลัมน์ Carbpac PA1 ขนาด 2 มิลลิเมตร x 250 มิลลิเมตร วัฏภาคเคลื่อนที่ที่ใช้คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH, HPLC grade; Fluka) ความเข้มข้น 150 มิลลิโมลาร์ และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 150 มิลลิโมลาร์/โซเดียมแอสซิเตต (NaOAC, HPLC grade; Scharlau) ความเข้มข้น 500 มิลลิโมลาร์ ควบคุมอัตราการไหลเท่ากับ 0.25 มิลลิลิตรต่อนาที เพื่อทราบคุณภาพของสารสกัดอินูลินที่ได้ในขั้นตอนต่าง ๆ และอินูลินผง แล้วเปรียบเทียบกับอินูลินทางการค้า (Orafti® HSI) ดังแสดงผลในตารางผนวกที่ 1.5

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ากระบวนการคาร์บอนชันช่วยให้สารสกัดมีปริมาณผลรวมของน้ำตาลกลูโคส ฟรักโทสและซูโครสลดลง จนได้ระดับมาตรฐานในเชิงการค้า ซึ่งในทางการค้าผงอินูลินยี่ห้อ

BENEO-Orafti ซึ่งเป็นยี่ห้อที่มีส่วนแบ่งการตลาดมากที่สุดในปัจจุบัน มีข้อกำหนดคุณลักษณะและคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายดังแสดงในตารางผนวกที่ 1.6 นอกจากนี้ จากผลการทดลองพบว่า หลังจากการแยกตะกอนด้วย Basket centrifuge คุณภาพของอินูลินที่ได้มี DP เฉลี่ย 6-10 เป็นส่วนใหญ่และมีน้ำตาล (ฟรักโทส, กลูโคส และซูโครส) 38.1% ซึ่งสามารถผลิตเป็นอินูลินผงเกรดที่ให้ความหวานและเป็นใยอาหารได้ด้วย และเมื่อนำน้ำสกัดไปผ่านกระบวนการคาร์บอนเนชั่นจะพบว่าตัวอย่างจะมีเปอร์เซ็นต์ของน้ำตาลฟรักโทสลดลงจาก 17.47% ไปเป็น 0% จากผลการทดลองในเบื้องต้นดังกล่าวทำให้ทราบว่ากระบวนการคาร์บอนเนชั่นช่วยให้สารสกัดอินูลินมีความบริสุทธิ์เพิ่มมากขึ้นจริงตามเอกสารอ้างอิง (Zhi-fu *et al.*, 2011)

ตารางผนวกที่ 1.5 Carbohydrate แต่ละชนิดคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับ Total carbohydrate ของสารสกัดอินูลินและอินูลินผงที่ได้จากการทดลองเบื้องต้น เปรียบเทียบกับอินูลินทางการค้า

Treatment	Percentage of total carbohydrate (%)									
	glucose	fructose	sucrose	DP3	DP4	DP5	DP6-10	DP11-20	DP21-30	DP>30
หลังการ Basket Centrifuge	-	14.65	23.45	14.97	7.78	6.50	18.32	11.55	2.78	0.00
ก่อนการ carbonation	-	17.47	0.00	13.14	8.46	7.68	27.64	19.48	5.38	0.75
หลังการ carbonation	-	0.00	9.07	13.30	9.68	8.88	31.59	21.24	5.80	0.45
หลังการเติม activated carbon	-	0.91	7.42	13.26	10.07	9.37	30.17	22.14	6.52	0.14
อินูลินผงจากการทดลอง	-	0.49	7.79	10.05	9.04	8.45	29.01	25.62	9.55	0.00
Orafti® HSI	0.88	6.22	10.81	5.17	22.21	12.04	27.04	12.18	3.44	0.00

ตารางผนวกที่ 1.6 กลุ่มผลิตภัณฑ์อินูลินยี่ห้อ BENEIO-Orafti และคุณสมบัติเชิงหน้าที่

Product name	Inulin content	Glucose/ Fructose/ Sucrose	Average DP (Degree of Polymerisation)	Sweetness	Functional properties
Orafti® ST-Gel	~92%	~8%	≥10	10%	Standard Inulin gel for high dispersibility
Orafti® GR	~92%	~8%	≥10	10%	Granulated Inulin
Orafti® HP	100%	0%	>23	0%	High performance Inulin for fat replacement at low temperatures
Orafti® HPX	100%	0%	≥23	0%	High performance Inulin for fat replacement at high temperatures
Orafti® LGI	~96%	~4%	≥8	20%	Low sugar Inulin
Orafti® HSI	86%	14%	<10	25%	High soluble Inulin

ที่มา : <http://www.orafti.com/Our-Products/Inulin> (accessed on 9 August 2012)

เมื่อนำอินูลินผงที่ผลิตได้จากการทดลองเบื้องต้น ซึ่งในกระบวนการผลิตได้ผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ทั้งการคาร์บอนชั่นและการกำจัดสีและกลิ่นด้วยผงถ่านกัมมันต์ไปตรวจวิเคราะห์ปริมาณเถ้าเพื่อเปรียบเทียบกับอินูลินทางการค้า (Orafti® HSI) ผลปรากฏว่า อินูลินที่ผลิตได้มีปริมาณเถ้าสูงกว่าอินูลินทางการค้ามากดังแสดงในตารางผนวกที่ 1.7 ซึ่งจากการวิเคราะห์หาสาเหตุของปริมาณเถ้าที่สูงในอินูลินผงที่ผลิตได้จากการทดลองก็คาดหมายในขั้นต้นว่าอาจเกิดจากการเติมแคลเซียมออกไซด์ลงไปในน้ำสกัดอินูลินระหว่างขั้นตอนคาร์บอนชั่นเพื่อทำปฏิกิริยาและทำให้เกิดการตกตะกอนของน้ำตาลโมเลกุลเล็ก โปรตีน และสิ่งเจือปนอื่น ๆ ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งอาจมีแคลเซียมไฮดรอกไซด์หลงเหลืออยู่ในน้ำสกัดอินูลิน จึงต้อง

มีการเพิ่มขั้นตอนในการทำให้บริสุทธิ์เพิ่มอีกหนึ่งขั้นตอนหลังจากการกำจัดสีและกลิ่น เพื่อกำจัดแคลเซียมที่หลงเหลืออยู่นั้นคือการใช้ Ion exchange resins

ตารางผนวกที่ 1.7 ปริมาณเถ้าของอินูลินน้ำตาลต่ำจากแก่นตะวันและอินูลินทางการค้า

ตัวอย่าง	Ash (% db)
อินูลินน้ำตาลต่ำจากแก่นตะวัน	$6.96^b \pm 0.06$
อินูลินทางการค้า (Orafti® HSI)	$0.03^a \pm 0.01$

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ค่าตัวเลขที่แสดงผลในตารางมาจากการวัดค่า 3 ซ้ำ

เนื่องจากในขั้นต้นมีการตั้งสมมุติฐานว่าปริมาณเถ้าที่สูงในอินูลินผงที่ผลิตได้จากการทดลองมีสาเหตุจากปริมาณแคลเซียมที่ตกค้างในสารสกัดอันเนื่องมาจากกระบวนการคาร์บอนชั่น ดังนั้นในการทดลองกำจัดแคลเซียมที่หลงเหลืออยู่โดยใช้ Ion exchange resins จึงใช้วิธีการตรวจสอบผลของการกำจัดแคลเซียมด้วยวิธีการไทเทรตกับสารละลาย Ethylenediamine tetraacetic acid (EDTA) ซึ่งเป็นวิธีการหาปริมาณของ Ca^{2+} , Mg^{2+} และ divalents ion อื่น ๆ ในน้ำ โดยปริมาณ EDTA ที่ใช้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณไอออนที่มีอยู่ และผลจากการวัดจะถูกแสดงในรูปของค่า Total hardness (ppm as CaCO_3) ดังแสดงในตารางผนวกที่ 1.8

จากการเก็บตัวอย่างน้ำสกัดอินูลินที่ผ่านแต่ละขั้นตอนรวมถึงการนำสารละลายที่เตรียมจากอินูลินผงที่ระดับความเข้มข้นใกล้เคียงกับน้ำสกัดอินูลิน มาวิเคราะห์ค่า Total hardness พบว่าค่า Total hardness ของน้ำสกัดหลังกระบวนการ Basket centrifuge มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,065.75 ppm as CaCO_3 สังเกตได้ว่าน้ำสกัดหลังการ Basket centrifuge นี้มีค่า Total hardness สูงทั้งนี้อาจเนื่องจากปริมาณ Ca^{2+} และ Mg^{2+} ที่มีมากอยู่แล้วในวัตถุดิบเริ่มต้น คือ 28 และ 16 mg/100 g ตัวอย่าง (http://www.foodcomp.dk/v7/fcdb_details.asp?FoodId=0101: accessed on 31 May 2014) และเมื่อผ่านกระบวนการคาร์บอนชั่นซึ่งมีการเติมแคลเซียมออกไซด์ลงไปทำให้ปริมาณ Total hardness เพิ่มขึ้นเป็น 5,202.31 ppm as CaCO_3 แสดงว่าการเติมแคลเซียมออกไซด์ลงไปในน้ำสกัดอินูลินระหว่างขั้นตอนคาร์บอนชั่นก่อให้เกิดแคลเซียมไอออนหลงเหลืออยู่ในน้ำสกัดอินูลินจริง จากนั้นค่า Total hardness จะลดลง

เล็กน้อยเมื่อนำไปกำจัดสีและกลิ่นโดยเติมผงถ่านกัมมันต์ การลดความกระด้างโดย ion exchange resin ในการทดลองนี้ใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดโซเดียม โดยเรซินทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนโลหะไอออน คือ Ca^{2+} ในน้ำสกัดอินูลินกับไอออน Na^+ ของเรซิน โดย Na^+ จะไปอยู่ในน้ำสกัดแทน ซึ่งไม่เกิดอันตรายต่อการบริโภค แต่อาจมีผลต่อปริมาณเถ้ามีค่าสูง จากผลการทดลองพบว่าน้ำสกัดอินูลินที่ผ่านการกรองด้วยเรซิน 5 รอบ ให้ค่า Total hardness ที่ลดลงจากหลังการเติมผงถ่านกัมมันต์ประมาณ 10 เท่า และเมื่อใช้เรซินกรองโดยเพิ่มจำนวนรอบมากขึ้นเป็น 10, 15 และ 20 รอบ ปริมาณ Total hardness ก็เริ่มคงที่อยู่ในช่วง 602.12 – 674.37 ppm as CaCO_3 แสดงถึงความอิ่มตัวของเรซินที่จะทำหน้าที่แลกเปลี่ยนไอออนกับน้ำสกัดอินูลิน เมื่อนำสารสกัดที่กรองผ่านเรซิน 20 รอบมาแล้วมากรองผ่านเรซินใหม่ 1 รอบ ทำให้ค่า Total hardness ลดลงเหลือ 192.68 ppm as CaCO_3 ซึ่งยังจัดได้ว่าอยู่ในกลุ่มน้ำกระด้าง บ่งบอกถึงยังคงมีปริมาณแคลเซียมไอออนหลงเหลืออยู่ในน้ำสกัดพอสมควร

ตารางผนวกที่ 1.8 ผลการวัดค่า Total Hardness ของน้ำสกัดอินูลินและสารละลายที่เตรียมจากอินูลินผง

Number	Treatment	Total Hardness (ppm as CaCO_3)
1	น้ำสกัดอินูลินหลังการ Basket centrifuge	$1065.75^c \pm 108.38$
2	น้ำสกัดอินูลินหลังการ carbonation	$5202.31^a \pm 250.30$
3	น้ำสกัดอินูลินหลังการเติม activated carbon	$4720.62^b \pm 83.43$
4	น้ำสกัดอินูลิน (carbonation + activated carbon + resin 5 cycles)	$433.53^e \pm 0.00$
5	น้ำสกัดอินูลิน (carbonation + activated carbon + resin 10 cycles)	$674.37^d \pm 83.43$
6	น้ำสกัดอินูลิน (carbonation + activated carbon + resin 15 cycles)	$626.20^{de} \pm 83.43$
7	น้ำสกัดอินูลิน (carbonation + activated carbon + resin 20 cycles)	$602.12^{de} \pm 41.72$
8	น้ำสกัดอินูลิน (carbonation + activated carbon + resin 20 cycles + new resin 1 cycle)	$192.68^f \pm 41.72$

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ค่าตัวเลขที่แสดงผลในตารางมาจากการวัดค่า 3 ซ้ำ

หลังจากที่ได้ทดลองกำจัดแคลเซียมที่หลงเหลืออยู่โดยใช้ Ion exchange resins แล้วพบว่าสามารถลดค่า Total Hardness ได้ จึงมีการนำตัวอย่างดังกล่าวมาวิเคราะห์ปริมาณเถ้าว่าจะเปลี่ยนแปลงหรือไม่อย่างไร ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางผนวกที่ 1.9

จากผลการทดลองพบว่า วัตถุดิบเริ่มต้น ก็คือแป้งแค้นตะวันไม่ว่าจะเตรียมจากห้องทดลองหรือสถาบันอาหารฯ มีปริมาณเถ้าเริ่มต้นใกล้เคียงกันนั่นคือ 4.61 – 5.18% db เมื่อนำน้ำสกัดไปผ่านกระบวนการต่าง ๆ พบว่า ตัวอย่างที่ผ่านการคาร์บอนขึ้น และกำจัดสีและกลิ่นด้วยผงถ่านกัมมันต์ แต่ยังไม่มีการทำให้บริสุทธิ์ด้วย Ion exchange resin มีเปอร์เซ็นต์เถ้าสูงสุด คือ 6.96% db นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำสกัดอินูลินที่ผ่านการกรองด้วยเรซินมีปริมาณเถ้าเปลี่ยนแปลงไม่มากและมีค่าสูงกว่าอินูลินทางการค้ามาก สาเหตุที่ไม่สามารถลดปริมาณเถ้าได้จากกระบวนการใช้ Ion exchange resin ก็เนื่องจากการลดความกระด้างโดย ion exchange resin ในการทดลองนี้ใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดโซเดียม โดยเรซินทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนโลหะไอออน คือ Ca^{2+} ในน้ำสกัดอินูลินกับไอออน Na^+ ของเรซิน จึงไม่ทำให้ปริมาณเถ้าเปลี่ยนแปลงเท่าใดนัก แต่ข้อมูลที่ได้จากการทดลองนี้ทำให้ตระหนักว่าปริมาณเถ้าสูงตั้งแต่ตอนเริ่มต้นซึ่งยังผ่านการคาร์บอนขึ้น จึงมีการสืบค้นข้อมูลต่อมาแล้วพบว่าปริมาณเถ้าที่สูงน่าจะมีสาเหตุมาจากองค์ประกอบโดยธรรมชาติของแค้นตะวันที่มีแร่ธาตุสูง เช่น โพแทสเซียม และ ฟอสฟอรัส ที่มีอยู่สูงถึง 561 และ 72.3 mg/100 g ตัวอย่างสด (http://www.foodcomp.dk/v7/fcdb_details.asp?FoodId=0101) ซึ่งเมื่อคิดเป็น %db ก็จะมีค่ามาก

ตารางผนวกที่ 1.9 ปริมาณเถ้าของผงอินูลินทางการค้า แป้งแค้นตะวัน และน้ำสกัดอินูลิน

Number	Treatment	Ash (% db)
1	อินูลินทางการค้า (Orafti® HSI)	0.03 ^d ± 0.01
2	แป้งแค้นตะวัน ที่เตรียมจากห้องทดลอง	4.61 ^c ± 0.02
3	แป้งแค้นตะวัน ที่เตรียมจากสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร	5.18 ^b ± 0.05
4	น้ำสกัดอินูลินหลังการ Basket centrifuge	5.16 ^b ± 0.04
5	น้ำสกัดอินูลิน (carbonation + activated carbon)	6.96 ^a ± 0.06
6	น้ำสกัดอินูลิน (carbonation + activated carbon + resin)	4.34 ^c ± 0.29
7	น้ำสกัดอินูลิน (carbonation + activated carbon + resin 5 cycles)	5.36 ^b ± 0.04
8	น้ำสกัดอินูลิน (carbonation + activated carbon + resin 10 cycles)	5.19 ^b ± 0.04
9	น้ำสกัดอินูลิน (carbonation + activated carbon + resin 20 cycles + new resin 1 cycle)	4.53 ^c ± 0.06

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ผลการทดลองได้จากการวัดค่า 3 ซ้ำ

ต่อมาจึงมีการทดลองเตรียมตัวอย่างน้ำสกัดอินูลินอีกครั้งแล้ว วิเคราะห์ปริมาณค่า Total hardness เทียบกับปริมาณเถ้าที่มีความสัมพันธ์กันหรือไม่อย่างไร ซึ่งจากผลการทดลองในตารางผนวกที่ 1.10 พบว่า ปริมาณ Total hardness ที่บ่งบอกปริมาณของ Ca^{2+} , Mg^{2+} และ divalents ion อื่น ๆ ของน้ำสกัดมีค่ามาก หลังการ carbonation และลดลงเมื่อผ่านการเติมผงถ่านกัมมันต์และกรองด้วย เรซินหลาย ๆ รอบรวมถึงการเปลี่ยนเรซินใหม่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนด้วย สำหรับผลการวัดปริมาณเถ้าพบว่ามีค่าในช่วง 5.34–6.05%db โดยเปอร์เซ็นต์เถ้าไม่เปลี่ยนแปลงหลังการกรองด้วยเรซิน เท่าใดนัก ไม่สอดคล้องกับค่า Total Hardness ปริมาณเถ้าที่วัดได้แสดงถึงปริมาณ แร่ธาตุที่อยู่ในน้ำสกัด จากงานวิจัยของ Fleming & Groot Wassink (1979) พบว่าหัวแก๊นตะวันประกอบไปด้วยความชื้น 80% และของแข็ง 20% โดยของแข็งนั้นประกอบไปด้วยอินูลิน 85% เถ้า 5% ส่วนที่เหลือเป็น โปรตีนและองค์ประกอบอื่น ๆ ซึ่งองค์ประกอบดังกล่าวสอดคล้องกับปริมาณเถ้าที่วัดได้จากการทดลองนี้ จึงสามารถสรุปได้ว่าการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการแลกเปลี่ยนไอออนด้วยเรซินสามารถลดความกระด้าง (Total hardness) ของน้ำสกัดอินูลินได้โดยการแลกเปลี่ยน Na^+ กับ Ca^{2+} แต่ไม่สามารถลดเปอร์เซ็นต์เถ้าได้

ตารางผนวกที่ 1.10 ปริมาณค่า Total Hardness และเปอร์เซ็นต์เถ้าของน้ำสกัดอินูลินที่ผ่านกระบวนการต่าง ๆ

Treatment	Total Hardness (ppm as CaCO ₃)	Ash (% db)
หลังการ carbonation	5539.50 ^a ± 417.16	5.75 ^{ab} ± 0.22
หลังการเติม activated carbon	4720.62 ^b ± 83.43	5.40 ^b ± 0.02
น้ำสกัดอินูลิน (carbonation + activated carbon + resin 5 cycles)	264.93 ^c ± 41.72	6.05 ^a ± 0.29
น้ำสกัดอินูลิน (carbonation + activated carbon + resin 5 cycles + new resin 1 cycle)	173.41 ^c ± 0.00	5.61 ^{ab} ± 0.46
น้ำสกัดอินูลิน (carbonation + activated carbon + resin 5 cycles + new resin 3 cycle)	81.89 ^c ± 8.34	5.88 ^{ab} ± 0.28
น้ำสกัดอินูลิน (carbonation + activated carbon + resin 5 cycles + new resin 10 cycle)	52.99 ^c ± 8.34	5.34 ^b ± 0.01

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวดิ่งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ผลการทดลองได้จากการวัดค่า 3 ซ้ำ

จากข้อมูลเรื่ององค์ประกอบของแก่นตะวันที่มีแร่ธาตุหลักคือ โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส แคลเซียม และแมกนีเซียม (http://www.foodcomp.dk/v7/fcdb_details.asp?FoodId=0101: accessed on 31 May 2014) ดังนั้นในการผลิตอินูลินจากแก่นตะวันหากสามารถควบคุมปริมาณเถ้าให้มีระดับที่ค่อนข้างคงที่ในทุก ๆ รอบการผลิต และหากมีหลักฐานว่าแร่ธาตุเหล่านี้ไม่มีผลเสียต่อผู้บริโภคหากบริโภคในปริมาณตามที่มีการใช้อินูลินเป็นส่วนประกอบในอาหารทั่วไปก็อาจไม่จำเป็นต้องกำจัดแร่ธาตุดังกล่าวก็ได้ พร้อมทั้งอาจมีการแสดงคุณประโยชน์ของแร่ธาตุต่าง ๆ เหล่านี้ได้อีกด้วย เช่น โพแทสเซียมจะทำงานร่วมกับโซเดียมในการควบคุมสมดุลของน้ำในร่างกายและช่วยให้หัวใจเต้นเป็นปกติ ฟอสฟอรัสจะทำงานร่วมกับแคลเซียมในการสร้างกระดูกและฟัน ช่วยควบคุมการปล่อยพลังงานในการเผาไหม้ของคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน ควบคุมสมดุลของความเป็นกรดและด่างในเลือด และเป็นส่วนประกอบของสมองและไขสันหลัง แคลเซียมเป็นส่วนประกอบสำคัญของกระดูกและฟัน ช่วยควบคุมการทำงานของหัวใจ กล้ามเนื้อ และระบบประสาท และ

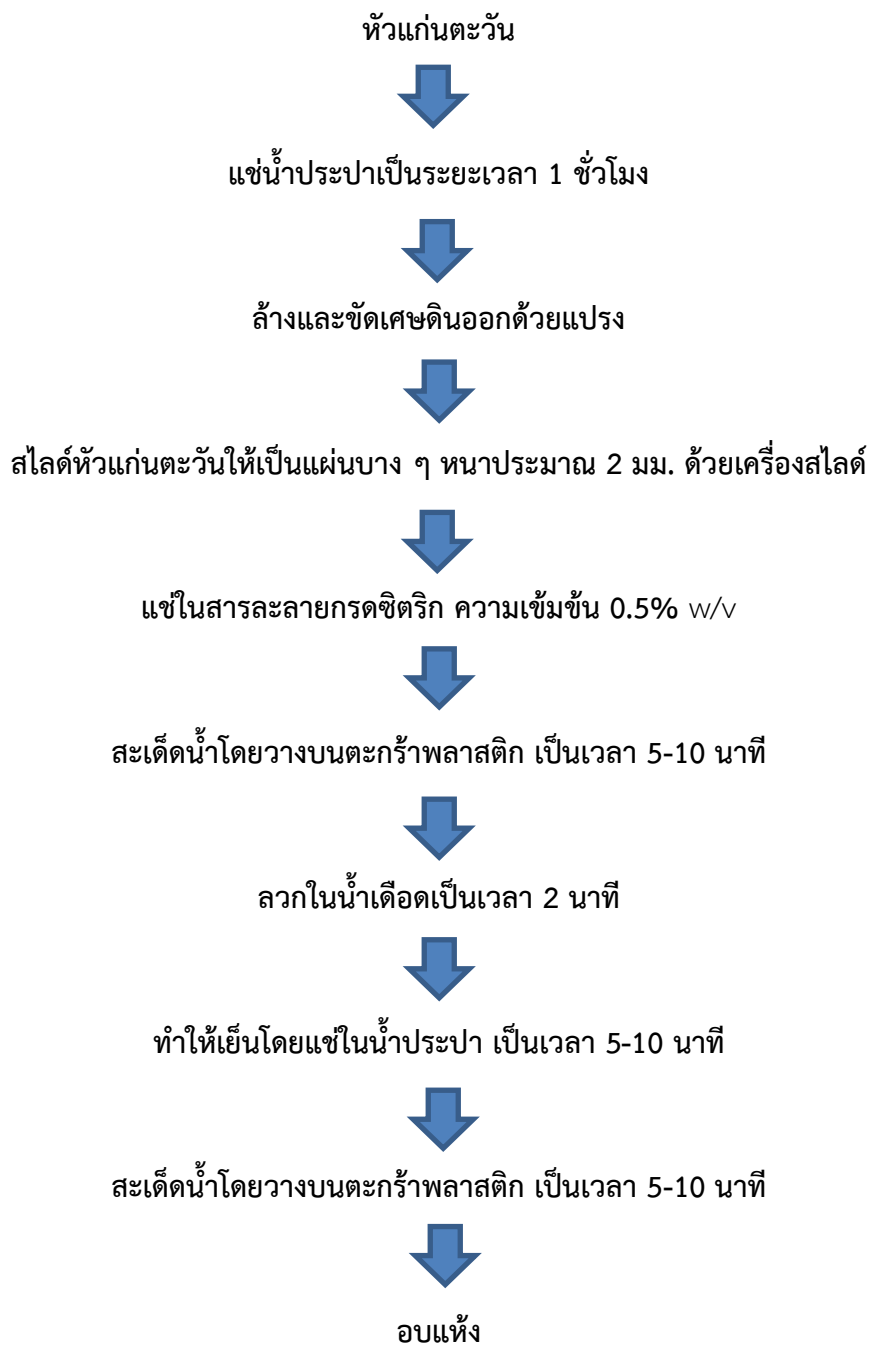
ช่วยทำให้เลือดแข็งตัวเมื่อร่างกายเกิดบาดแผล แมกนีเซียมจะทำงานร่วมกับแคลเซียมในการสร้างกระดูกและฟัน และหากร่างกายมีแมกนีเซียมต่ำ จะทำให้ความดันโลหิตสูง และเป็นโรคหัวใจ เป็นต้น
(<http://www.vcharkarn.com/varticle/42022>: accessed on 31 May 2014)

ภาคผนวกที่ 2

การทำแห้งหัวแก่นตะวันด้วยลมร้อนในระดับห้องปฏิบัติการ

ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างและการ pretreatment หัวแก่นตะวัน

การเตรียมตัวอย่างหัวแก่นตะวันก่อนนำไปทำแห้งมีขั้นตอนดังแสดงในภาพผนวกที่ 2.1 เริ่มต้นจากการนำหัวแก่นตะวันสดมาแช่น้ำประปาเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้สามารถขจัดล้างเอาเศษดินออกจากพื้นผิวของหัวแก่นตะวันได้ง่ายขึ้น โดยในการทดลองจริงทั้งระดับห้องปฏิบัติการและระดับนาร่องจะไม่ปอกเปลือกแก่นตะวันออก เนื่องจากผลการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบในเปลือกแก่นตะวัน พบว่ามีปริมาณคาร์โบไฮเดรตและอินูลินสูงดังแสดงในภาคผนวกที่ 10 หลังจากการล้างหัวแก่นตะวันแล้ว จะนำหัวแก่นตะวันไปผ่านเครื่องสไลด์ให้มีความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตรด้วยเครื่องสไลด์ผักและผลไม้ และแช่ในสารละลายกรดซิตริก 0.5 %w/v ทันทีที่สไลด์เสร็จเพื่อยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่พื้นผิวของชิ้นแก่นตะวันสไลด์ ทั้งให้สะอาดและนำไปลวกในน้ำเดือด 100 °C เป็นเวลา 2 นาที เพื่อลดการทำงานของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (PPO) ที่ทำให้เกิดจุดสีน้ำตาลในวัตถุดิบ และทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความสว่าง (L^*) สูง หลังจากกระบวนการลวกชิ้นแก่นตะวัน ถูกลดอุณหภูมิลงโดยการแช่น้ำ ทั้งให้สะอาดแล้วจึงนำเข้าสู่กระบวนการอบแห้ง



ภาพผนวกที่ 2.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างหัวแค้นตะวันก่อนการทำแห้งด้วยลมร้อน

กระบวนการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด (Tray dryer)

การทดลองเพื่อสร้างสมการอบแห้งชั้นบาง

หัวแค้นตะวันที่ผ่านกระบวนการเตรียมดังที่กล่าวมาข้างต้นแล้วจำนวน 3 กิโลกรัมซึ่งเป็นปริมาณที่วางแผนว่าจะใช้ในการทดลองระดับห้องปฏิบัติการสำหรับการเตรียมแป้งแค้นตะวันเพื่อการสกัดอินูลิน โดย

ชั้นแก๊สจะวันจะถูกนำมาทำแห้งโดยวางตัวอย่างเป็นชั้นบางบนถาดสแตนเลสที่ปูด้วยผ้าขาวบาง ดังแสดงในภาพผนวกที่ 2.2 อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการทำแห้งคือ 65 °C ในระหว่างการทำแห้งจะมีการเก็บตัวอย่างที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในห้องอบแห้ง นั่นคือเครื่องอบแห้งแบบถาดมีจำนวนทั้งหมด 10 ชั้น ชั้นละ 2 ถาด จะเก็บตัวอย่างชั้นที่ 2 (นับจากชั้นบนสุด) ชั้นที่ 5 (ชั้นกลาง) และชั้นที่ 9 โดยแต่ละชั้นสุ่มเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ถาด เก็บตัวอย่างที่เวลา 0, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 300, 360, 420 และ 480 นาที เพื่อนำไปสร้างกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นของตัวอย่างระหว่างกระบวนการทำแห้ง และนำข้อมูลไปใช้ในการสร้างสมการอบแห้งชั้นบางเพื่อใช้สำหรับประเมินระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้งชั้นแก๊สวันเพื่อให้ได้ระดับความชื้นต่าง ๆ ที่ต้องการ ซึ่งในการทำแห้งหัวแก๊สวันสำหรับกระบวนการผลิตอินูลินผงนั้นจำเป็นต้องทำแห้งให้มีค่าความชื้นต่ำกว่าระดับ 8% มาตรฐานเปียก (ทั้ง ๆ ที่ระดับความชื้นต่ำกว่า 14% มาตรฐานเปียกเป็นระดับที่ปลอดภัยสำหรับการเก็บรักษา) ก็เพื่อให้สามารถบดตัวอย่างหลังจากการทำแห้งให้เป็นผงแก๊สวันได้ตามที่ต้องการ

จากผลการทดลองพบว่าค่าความชื้นของตัวอย่างแก๊สวันที่วัดได้แสดงดังตารางผนวกที่ 2.1 ในขณะที่กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นของตัวอย่างระหว่างกระบวนการทำแห้งแสดงดังภาพผนวกที่ 2.3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การอบแห้งชั้นแก๊สวันให้มีความชื้น < 8% wb ใช้เวลาประมาณ 3 ถึง 3 ชั่วโมงครึ่ง ทั้งนี้ความแตกต่างของระยะเวลาการอบแห้งดังกล่าว คาดว่าเกิดจากความไม่สม่ำเสมอของความชื้นตัวอย่างภายในห้องอบแห้ง ดังนั้นตัวอย่างที่ถูกสุ่มมาจากตำแหน่งต่างกัน (ภายในถาดเดียวกัน) เพื่อวัดค่าความชื้นจึงอาจมีความแปรปรวนของค่าความชื้นพอสมควร อย่างไรก็ตาม ในการทำนายระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้งจะอาศัยสมการอบแห้งชั้นบางซึ่งสร้างจากผลการทดลอง ดังแสดงในภาคผนวกที่ 4 ต่อไป

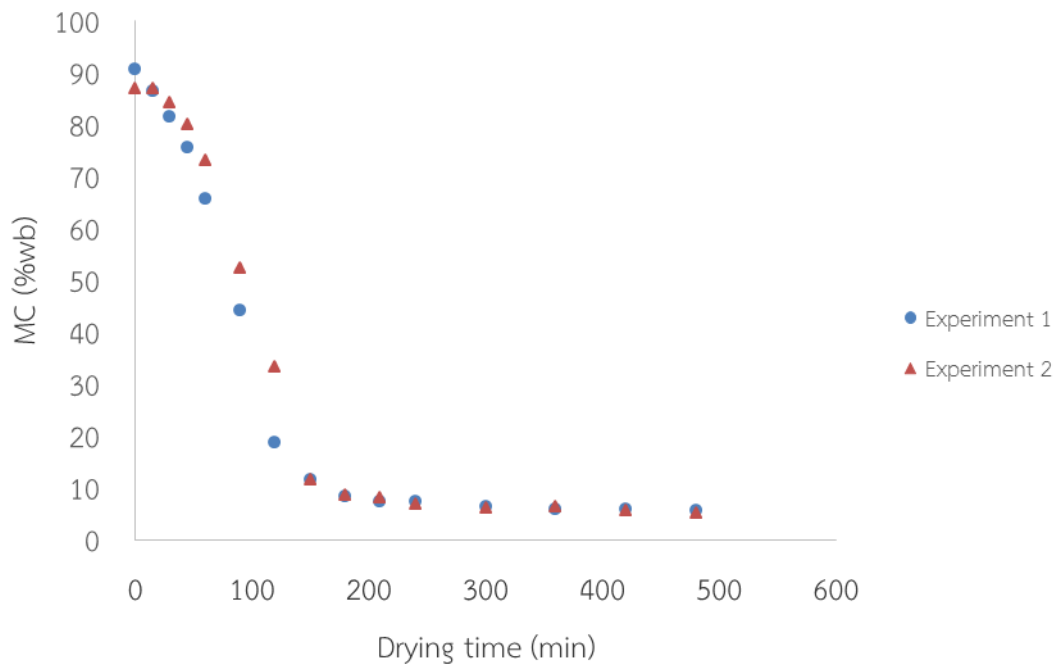


ภาพผนวกที่ 2.2 การอบแห้งตัวอย่างแก๊สวันแบบชั้นบางในระดับห้องปฏิบัติการ

ตารางผนวกที่ 2.1 ข้อมูลความชื้นของชั้นแกนตะวันที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบภาดที่อุณหภูมิ 65 °C ที่ใช้ในการสร้างสมการ

เวลาในการอบแห้ง (นาทื)	ความชื้น (% wb) (การทดลองที่ 1)	ความชื้น (% wb) (การทดลองที่ 2)
0	90.67 ± 0.33	86.87 ± 0.35
15	86.40 ± 1.40	86.98 ± 0.92
30	81.56 ± 1.06	84.11 ± 1.88
45	75.60 ± 3.06	79.92 ± 1.96
60	65.78 ± 4.20	73.09 ± 4.91
90	44.10 ± 7.80	52.22 ± 15.31
120	18.77 ± 7.79	33.21 ± 19.28
150	11.46 ± 1.23	11.61 ± 4.34
180	8.19 ± 0.17	8.67 ± 2.60
210	7.33 ± 0.33	8.06 ± 1.78
240	7.20 ± 0.81	6.78 ± 1.37
300	6.40 ± 0.13	6.16 ± 0.63
360	5.75 ± 0.37	6.27 ± 0.72
420	5.76 ± 0.39	5.53 ± 0.56
480	5.56 ± 0.41	5.21 ± 0.37

หมายเหตุ ผลการทดลองได้จากการวัดค่า 3 ซ้ำ



ภาพผนวกที่ 2.3 ค่าความชื้นของชิ้นแแกนตะวันที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 65 °C ที่ใช้ในการสร้างสมการ

การทดลองเพิ่มปริมาณตัวอย่างเพื่อทดสอบความแม่นยำของสมการ

หัวแแกนตะวันที่ผ่านกระบวนการเตรียมดังที่กล่าวมาข้างต้นแล้วจำนวน 5 กิโลกรัม ซึ่งมากกว่าจำนวนที่ใช้ในการทดลองเพื่อสร้างสมการอบแห้งชิ้นบาง (3 กิโลกรัม) จะถูกนำมาทำแห้งโดยวิธีการเช่นเดียวกับการทดลองอบแห้งเพื่อสร้างสมการอบแห้งชิ้นบางที่ผ่านมาก่อนหน้านี้ เพื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปทดสอบความแม่นยำของสมการที่พัฒนาขึ้นว่าจะสามารถทำนายค่าความชื้นของตัวอย่างแแกนตะวันได้แม่นยำมากน้อยเพียงใด ถ้าหากเพิ่มปริมาณตัวอย่างจาก 3 กิโลกรัม เป็น 5 กิโลกรัม

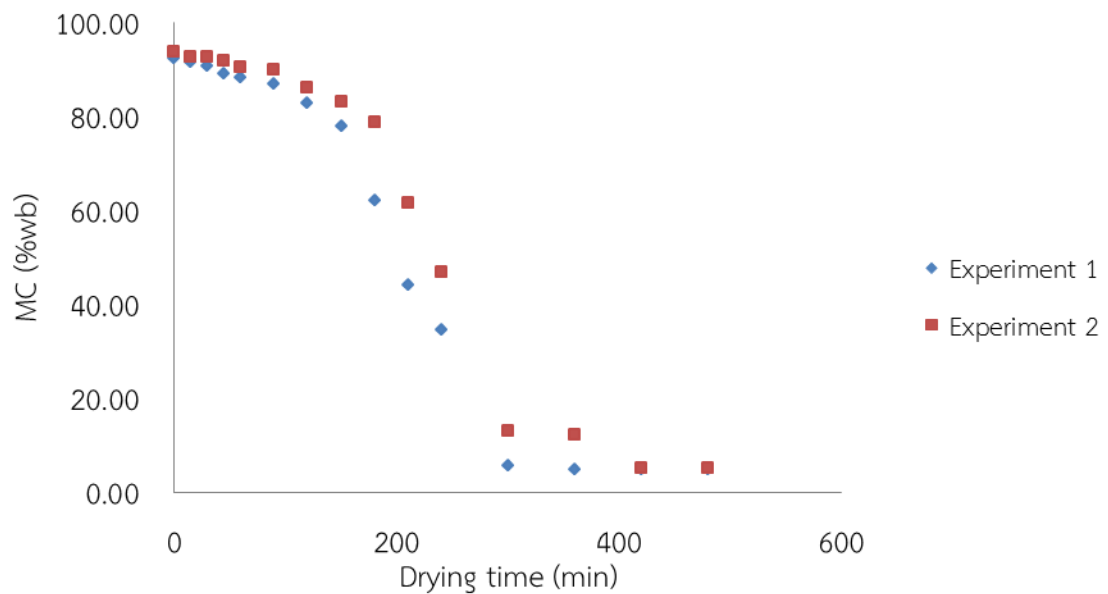
จากผลการทดลองพบว่าค่าความชื้นของตัวอย่างแแกนตะวันที่วัดได้แสดงดังตารางผนวกที่ 2.2 ในขณะที่กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นของตัวอย่างระหว่างกระบวนการทำแห้งแสดงดังภาพผนวกที่ 2.4 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การอบแห้งชิ้นแแกนตะวันจำนวน 5 กิโลกรัม ให้มีความชื้นไม่เกิน 8% wb ใช้เวลา 5 และ 7 ชั่วโมง จากผลการทดลอง 2 ชั่วโมง ทั้งนี้ความแตกต่างของระยะเวลาการอบแห้งดังกล่าวคาดว่าเกิดจากความไม่สม่ำเสมอของความชื้นตัวอย่างภายในห้องอบแห้ง ดังนั้นตัวอย่างที่ถูกสุ่มมาจากตำแหน่งต่างกัน (ภายในถาดเดียวกัน) เพื่อวัดค่าความชื้นจึงอาจมีความแปรปรวนของค่าความชื้นพอสมควร จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าการ

เพิ่มปริมาณตัวอย่างจาก 3 กิโลกรัม เป็น 5 กิโลกรัม ส่งผลให้ต้องใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสูงขึ้นชัดเจน สาเหตุคาดว่าเกิดจากสภาวะอากาศภายในห้องอบแห้งที่จะมีความชื้นสัมพัทธ์มากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณตัวอย่าง รวมถึงค่าอุณหภูมิของอากาศด้วย เนื่องจากการวัดอุณหภูมิของเครื่องอบแห้งแบบถาดนี้เป็นการวัดค่าลมร้อน หลังจากผ่านฮีตเตอร์ไฟฟ้าที่ทางเข้าห้องอบแห้ง ดังนั้นอุณหภูมิของอากาศที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในห้องอบแห้งจึงมีค่าน้อยกว่า 65 °C โดยจะน้อยกว่าค่าดังกล่าวมากน้อยเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับจำนวนตัวอย่างภายในห้องอบแห้ง สำหรับการทดสอบความแม่นยำของสมการอบแห้งชั้นบางนั้นจะแสดงในภาคผนวกที่ 4 ต่อไป

ตารางผนวกที่ 2.2 ค่าความชื้นของตัวอย่างแก่นตะวันที่อบแห้งแบบชั้นบางด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 65 °C

เวลา (นาท.)	ความชื้น (% wb) (การทดลองที่ 1)	ความชื้น (% wb) (การทดลองที่ 2)
0	92.45 ± 0.23	93.81 ± 0.15
15	91.68 ± 0.19	92.78 ± 0.11
30	90.90 ± 0.06	92.61 ± 0.03
45	89.21 ± 0.12	91.88 ± 0.24
60	88.41 ± 0.25	90.58 ± 0.37
90	86.82 ± 0.23	89.82 ± 0.42
120	82.86 ± 0.34	86.12 ± 0.19
150	78.07 ± 2.07	83.07 ± 0.84
180	62.12 ± 1.59	78.82 ± 0.05
210	44.25 ± 2.40	61.46 ± 5.97
240	34.50 ± 2.69	46.88 ± 1.56
300	5.60 ± 0.14	13.06 ± 0.17
360	4.74 ± 0.12	12.13 ± 0.32
420	4.76 ± 0.31	5.15 ± 0.05
480	4.81 ± 0.18	5.04 ± 0.23

หมายเหตุ ผลการทดลองได้จากการวัดค่า 3 ซ้ำ



ภาพผนวกที่ 2.4 ค่าความชื้นของตัวอย่างแ่งนตะวันระหว่างกระบวนการอบแห้งแบบชั้นบาง

การทดลองเพื่อวัดค่าสีของตัวอย่างหลังผ่านกระบวนการทำแห้ง

จากผลการทดลองในตารางผนวกที่ 2.2 แสดงให้เห็นว่าในการอบแห้งขึ้นแ่งนตะวันจำนวน 5 กิโลกรัม ให้มีความชื้นประมาณ 8% wb เพื่อสะดวกต่อการนำไปดเป็นผงแ่งนตะวันต่อไปนั้น จะต้องใช้ระยะเวลาประมาณ 5 - 7 ชั่วโมง ดังนั้นจึงมีการทดลองอบแห้งขึ้นแ่งนตะวันที่เตรียมด้วยขั้นตอนดังแสดงในภาพผนวกที่ 2.1 นั่นคือไม่มีการปกเปลือกออกและมีการลวกน้ำเดือดนาน 2 นาที แล้วเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ลวก โดยใช้ระยะเวลาการอบแห้งนาน 6 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปวัดค่าสี (L^* , a^* และ b^*) ปรากฏว่าได้ผลดังแสดงในตารางผนวกที่ 2.3 และภาพผนวกที่ 2.5 ซึ่งจากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างในทั้งสองกรณีมีสีที่ไม่คล้ำ นั่นคือเหมาะสมที่จะนำไปดเป็นแ่งนตะวันเพื่อนำไปใช้ประโยชน์หรือนำไปใช้ในการสกัดอินูลินเพื่อผลิตอินูลินผงต่อไป อย่างไรก็ตามหากเปรียบเทียบระหว่างกรณีลวกและไม่ลวกตัวอย่างด้วยน้ำเดือดจะพบว่าตัวอย่างที่ผ่านการลวกจะมีสีเข้มกว่าเล็กน้อย นั่นคือมีค่าความสว่าง (L^*) น้อยกว่า และค่าสีแดง (a^*) สูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการลวกอย่างมีนัยสำคัญ สาเหตุคาดว่าเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ (Non-enzymatic browning) เช่น Maillard reaction ซึ่งอาศัย reducing sugar และ amino acid ในตัวอย่างเป็นสารตั้งต้น และมีความร้อนในกระบวนการลวกเป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยา แม้กระนั้นก็ตามการลวกมีประโยชน์ในการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์และสิ่งปนเปื้อนในวัตถุดิบเริ่มต้น และช่วยยับยั้งการ

ทำงานของเอนไซม์ในวัตถุดิบ ซึ่งเอนไซม์จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีและองค์ประกอบทางเคมีภายในผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษาได้ ดังนั้นการลวกจึงยังคงมีความจำเป็นในการเตรียมวัตถุดิบหัวแค้นตะวัน ก่อนการทำแห้งในงานวิจัยนี้ สำหรับการศึกษาเปรียบเทียบเพิ่มเติมเกี่ยวกับคุณสมบัติของแป้งแค้นตะวันและผงอินูลินที่ได้จากหัวแค้นตะวันในกรณีที่ปอกเปลือก/ไม่ปอกเปลือก และลวก/ไม่ลวก ก่อนการทำแห้ง ถูกแสดงในภาคผนวกที่ 11

ตารางผนวกที่ 2.3 ค่าสีของขึ้นแค้นตะวันที่ทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่ 65 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

ตัวอย่าง	ค่าสี		
	L*	a*	b*
ขึ้นแค้นตะวันอบแห้ง (ไม่ลวก)	77.41 ^a ± 1.14	-0.50 ^b ± 0.17	15.41 ^a ± 0.34
ขึ้นแค้นตะวันอบแห้ง (ลวก)	56.16 ^b ± 0.36	1.92 ^a ± 0.26	16.11 ^a ± 0.56

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$); L* แสดงถึงความสว่าง ($0 \leq L \leq 100$) ในขณะที่ a*(+), a*(-), b*(+) และ b*(-) แสดงค่า สีแดง, สีเขียว, สีเหลือง และสีน้ำเงิน ตามลำดับ; ผลการทดลองได้จากการวัดค่า 3 ซ้ำ



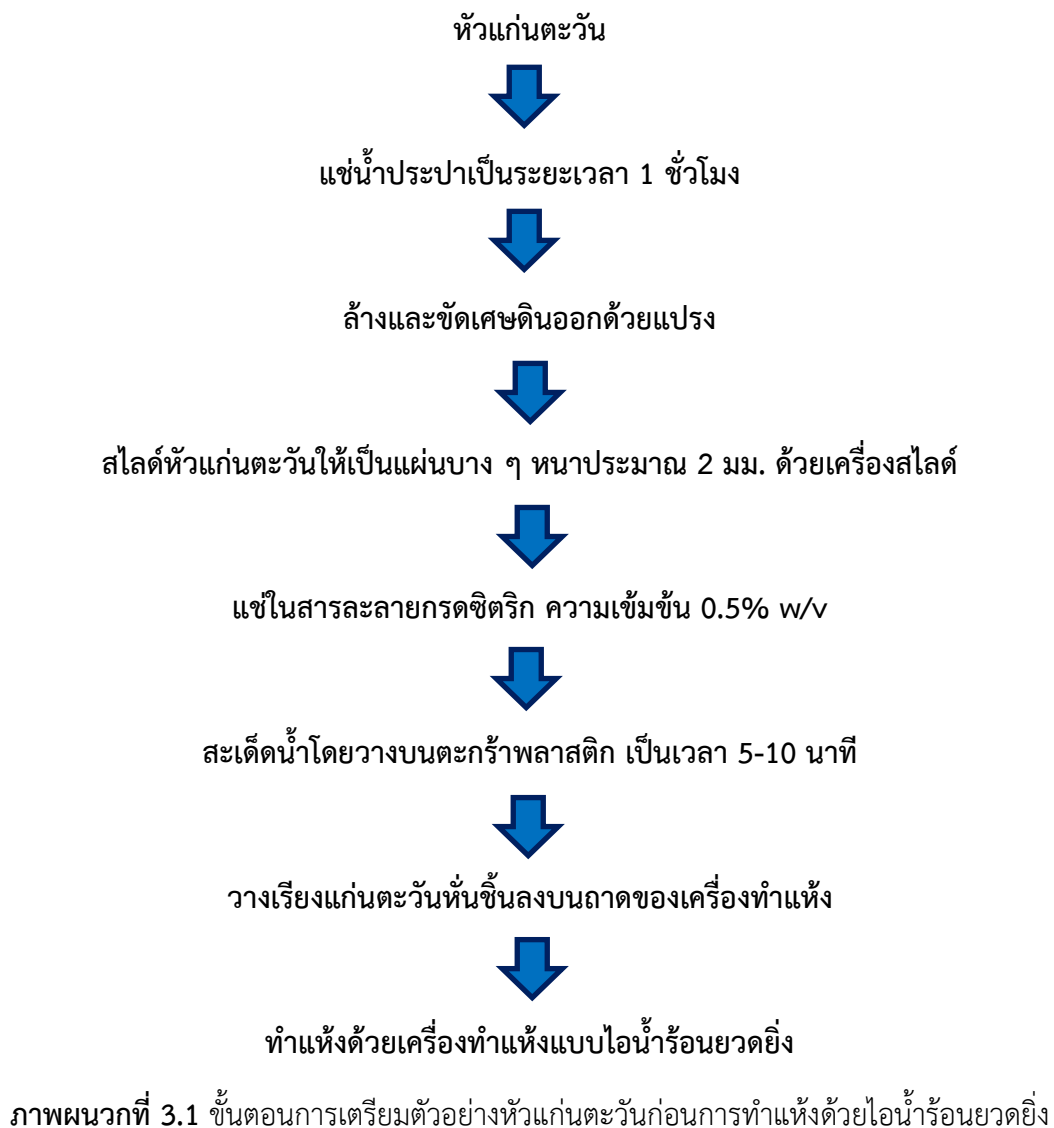
ภาพผนวกที่ 2.5 ขึ้นแค้นตะวันที่ทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 65 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

ภาคผนวกที่ 3

การทำแห้งห้วแก่ตะวันด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งในระดับห้องปฏิบัติการ

ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างและการ pretreatment ห้วแก่ตะวัน

การเตรียมตัวอย่างห้วแก่ตะวันก่อนนำไปทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งคล้ายกับการเตรียมตัวอย่างเพื่อทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด ยกเว้นไม่มีขั้นตอนการลวกน้ำร้อน เนื่องจากการใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งในระหว่างการทำแห้งคาดว่าจะสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ได้เช่นเดียวกับการลวกด้วยน้ำร้อน ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดว่า การใช้เทคนิคการทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะเปรียบเสมือนการลวกน้ำร้อนและทำแห้งตัวอย่างในเวลาเดียวกัน ซึ่งหากตัวอย่างชิ้นห้วแก่ตะวันที่ผ่านการอบแห้งมีลักษณะทางกายภาพที่ดี เทคนิคการทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งก็เป็นวิธีที่น่าสนใจศึกษาต่อไป เนื่องจากช่วยลดขั้นตอนการลวกน้ำร้อนได้ การเตรียมตัวอย่างห้วแก่ตะวันก่อนทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีขั้นตอนดังแสดงในภาพผนวกที่ 3.1



การทดลองทำแห้งหัวแก๊สตะวันด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (Superheated steam drying) จะอาศัยการนำไอน้ำที่อยู่ในสถานะใกล้เคียงกับไอน้ำอิ่มตัว (Saturated steam) ที่ผลิตโดยหม้อต้มไอน้ำซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 100 °C มาอุ่นให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็นไอน้ำร้อนยวดยิ่งด้วยฮีตเตอร์ไฟฟ้า ก่อนป้อนเข้าสู่ห้องอบแห้งเพื่อเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนไปสู่อาหารและพาความชื้นออกไปจากผลิตภัณฑ์ที่ต้องการอบแห้ง ภาพผนวกที่ 3.2 แสดงเครื่องทำแห้งแบบไอน้ำร้อนยวดยิ่งและหม้อต้มไอน้ำ ในการสุ่มเก็บตัวอย่างชิ้นแก๊สตะวันเพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าความชื้นและค่าสี จะทำการแบ่งตำแหน่งและบริเวณภายในห้องอบแห้งดังแสดงในภาพผนวกที่



ด้านหน้า

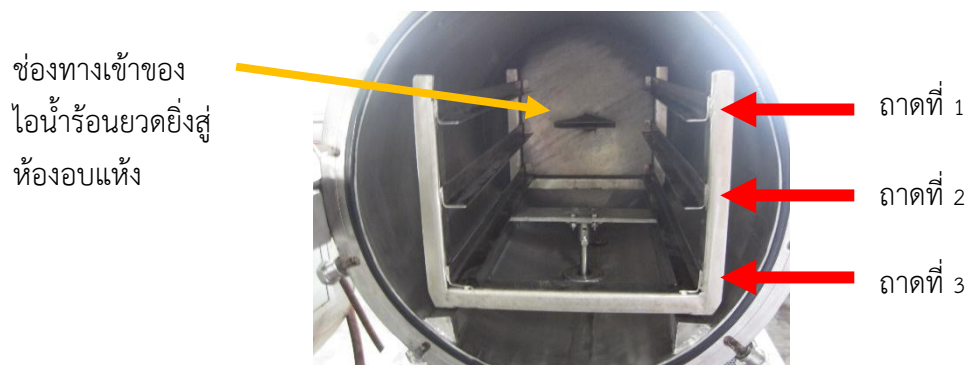


ด้านข้าง

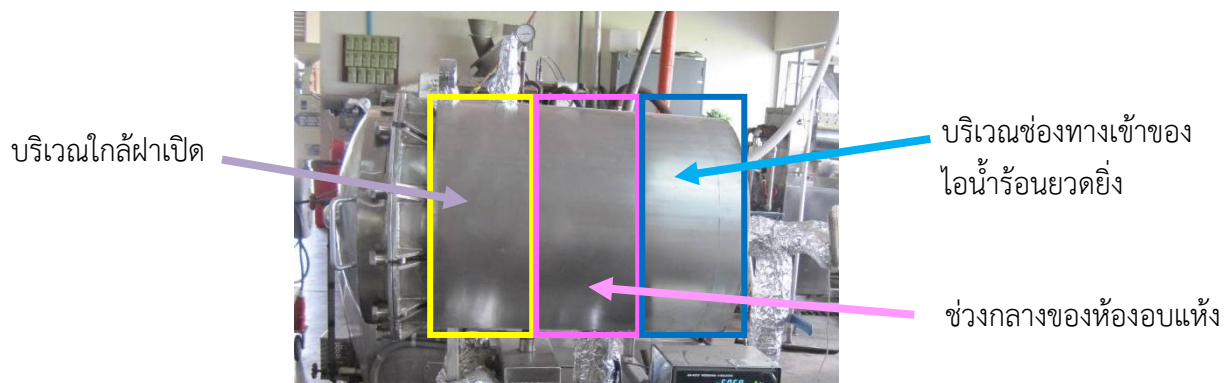


หม้อต้มไอน้ำ

ภาพผนวกที่ 3.2 ภาพด้านหน้าและด้านข้างของเครื่องทำแห้งแบบไอน้ำร้อนยวดยิ่ง และภาพหม้อต้มไอน้ำ



ภาพถ่ายจากด้านหน้าเมื่อเปิดฝาห้องอบแห้ง



ภาพถ่ายจากด้านข้างของห้องอบแห้ง

ภาพผนวกที่ 3.3 การแบ่งตำแหน่งและบริเวณภายในห้องอบแห้ง

สำหรับการทดลองทำแห้งหัวแก่นตะวันด้วยเครื่องทำแห้งแบบไอน้ำร้อนยวดยิ่งนั้น จะใช้อุณหภูมิของไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ 3 ระดับ คือ 120, 140 และ 160 °C โดยควบคุมระดับความดันเกจภายในห้องอบแห้งที่ 0.2 kg/cm^2 ในระหว่างการทำแห้งได้สุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์หาค่าความชื้นและวัดค่าสีทุก ๆ 2 ชั่วโมง ทำการอบแห้งเป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง

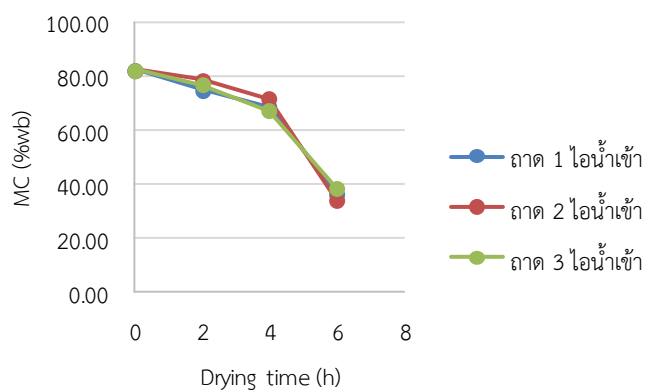
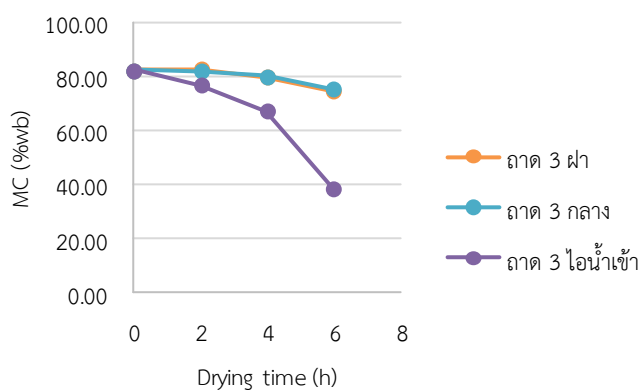
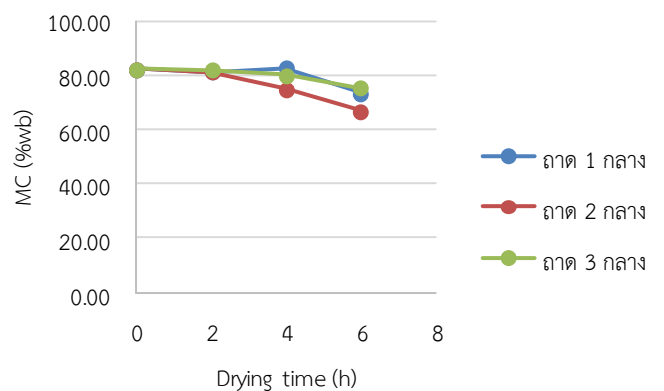
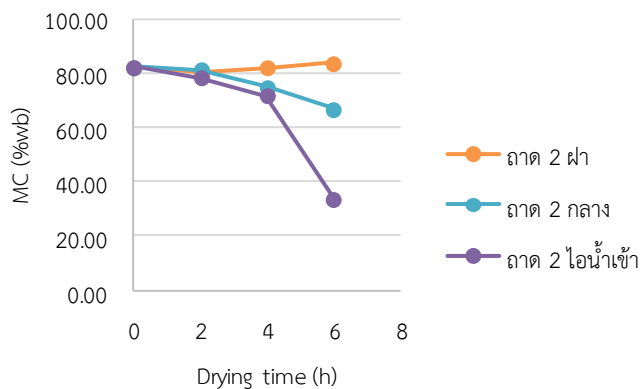
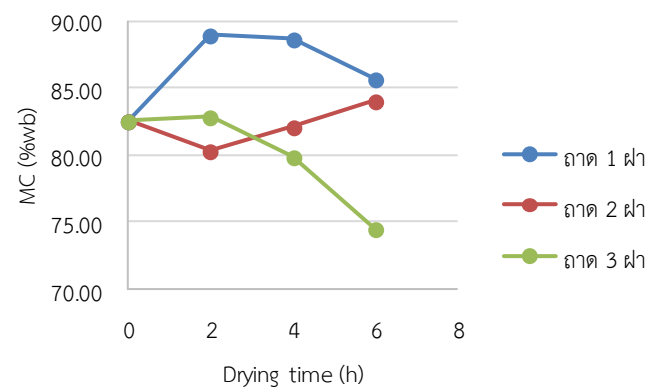
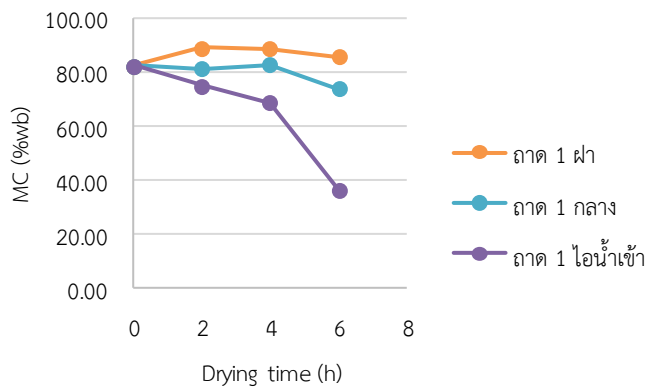
ผลการวัดค่าความชื้นของตัวอย่างขึ้นแก่นตะวันที่ถูกทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120 °C แสดงดังตารางผนวกที่ 3.1 และภาพผนวกที่ 3.4 ขึ้นแก่นตะวันที่ผ่านการแช่กรดซิตริกและทิ้งให้สะเด็ดน้ำมีความชื้นเริ่มต้น 82.5% wb เมื่อพิจารณาค่าความชื้นของขึ้นแก่นตะวันที่สุ่มเก็บมาจากแต่ละภาค (ภาคที่ 1 – 3) ที่ผ่านการอบแห้งเป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าค่าความชื้นลดลงเล็กน้อยและมีความแปรปรวนของค่าความชื้นของตัวอย่างในแต่ละภาคตามบริเวณของการสุ่มตัวอย่าง โดยตัวอย่างที่อยู่บริเวณช่องทางเข้าของไอน้ำจะมีค่าความชื้นลดลงมากกว่าตัวอย่างที่อยู่กลางห้องอบแห้งและบริเวณใกล้ฝาเปิดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) หลังจากการอบแห้งเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง พบว่าบริเวณที่ตัวอย่างมีค่าความชื้นต่ำที่สุดคือบริเวณช่องทางเข้าของไอน้ำเช่นเดียวกัน โดยตัวอย่างที่สุ่มมาจากภาคที่ 1-3 ในบริเวณดังกล่าวจะมีค่าความชื้นลดลงอยู่ในช่วง 67.2–71.7% wb และเมื่อผ่านการอบแห้งเป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง พบว่าค่าความชื้นของตัวอย่างขึ้นแก่นตะวันที่อยู่ภายในภาควิทยภัณฑ์เดียวกันยังคงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่างที่อยู่บริเวณช่องทางเข้าของไอน้ำในภาคที่ 1-3 จะมีค่าความชื้นอยู่ในช่วง 33.7-38.4% wb ในขณะที่ตัวอย่างซึ่งอยู่บริเวณกลางห้องอบแห้งและใกล้ฝาเปิดจะมีค่าความชื้นอยู่ในระดับที่สูงกว่ามาก นั่นคืออยู่ในช่วง 67.1-75.3% wb และ 74.4-85.7% wb ตามลำดับ

ตารางผนวกที่ 3.1 ค่าความชื้นของตัวอย่างแก่นตะวันที่ทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120 °C

ตำแหน่ง	บริเวณ	ความชื้น (% wb)			
		ชั่วโมงที่ 0	ชั่วโมงที่ 2	ชั่วโมงที่ 4	ชั่วโมงที่ 6
ถาดที่ 1	ใกล้ฝาเปิด	82.5 ± 0.55	89.0 ^a ± 1.11	88.7 ^a ± 0.55	85.7 ^a ± 0.38
	กลาง	82.5 ± 0.55	81.3 ^{bc} ± 0.77	82.7 ^b ± 0.00	73.8 ^b ± 1.03
	ทางเข้าไอน้ำ	82.5 ± 0.55	74.9 ^f ± 0.56	68.7 ^f ± 0.21	36.4 ^{de} ± 0.38
ถาดที่ 2	ใกล้ฝาเปิด	82.5 ± 0.55	80.3 ^{cd} ± 0.18	82.1 ^b ± 0.96	84.1 ^a ± 0.30
	กลาง	82.5 ± 0.55	81.3 ^{bc} ± 0.60	74.9 ^d ± 1.09	67.1 ^c ± 3.22
	ทางเข้าไอน้ำ	82.5 ± 0.55	78.5 ^{de} ± 0.65	71.7 ^e ± 0.20	33.7 ^e ± 0.28
ถาดที่ 3	ใกล้ฝาเปิด	82.5 ± 0.55	82.8 ^b ± 0.12	79.8 ^c ± 0.33	74.4 ^b ± 2.54
	กลาง	82.5 ± 0.55	82.0 ^{bc} ± 0.62	80.1 ^c ± 0.67	75.3 ^b ± 0.65
	ทางเข้าไอน้ำ	82.5 ± 0.55	76.9 ^e ± 1.62	67.2 ^g ± 0.45	38.3 ^d ± 3.15

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ผลการทดลองได้จากการวัดค่า 3 ซ้ำ

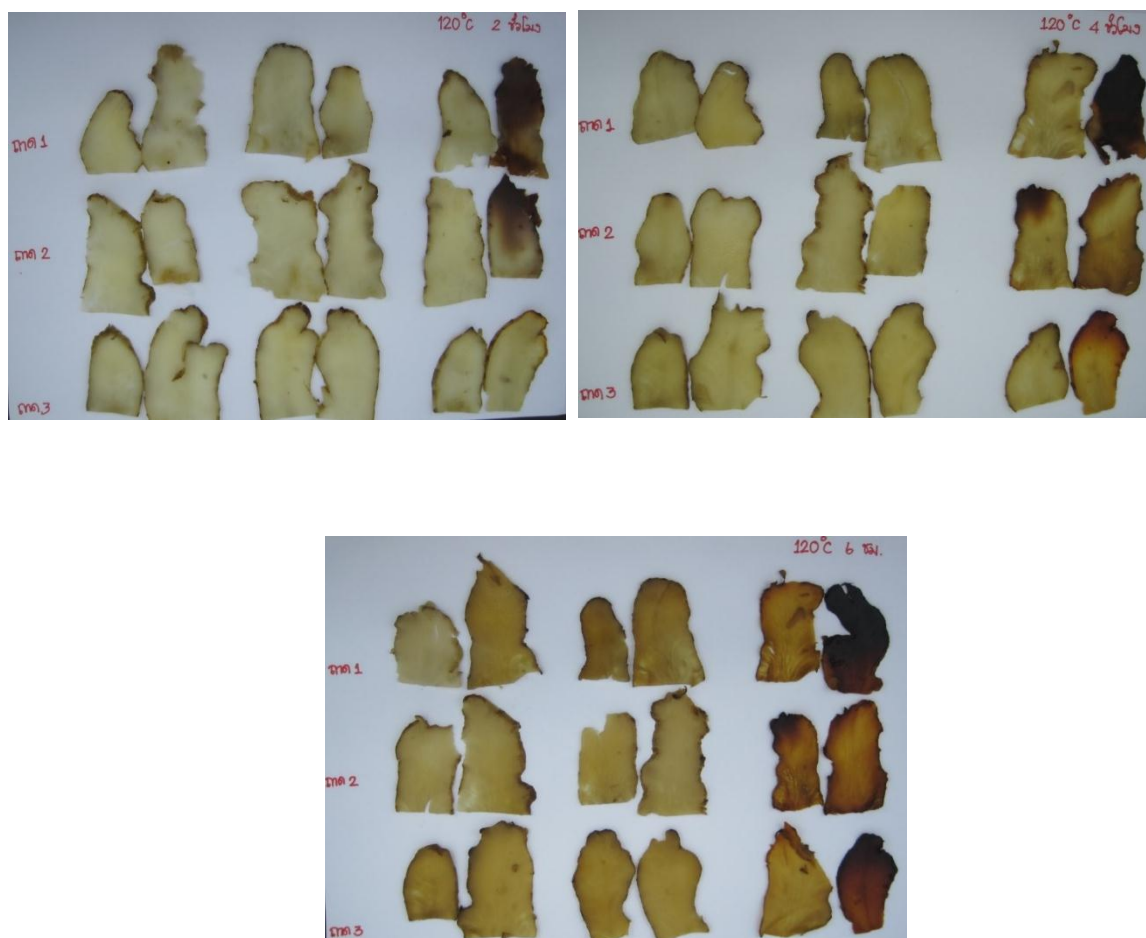


ภาพผนวกที่ 3.4 ค่าความชื้นของแกนตะวันที่ทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120 °C ตามบริเวณของ
ห้องอบแห้ง (รูปด้านซ้ายมือ) และ ตำแหน่งของเถา (รูปด้านขวามือ)

จากตารางผนวกที่ 3.1 และภาพผนวกที่ 3.4 จะเห็นได้ว่า ตัวอย่างแกนตะวันอบแห้งที่สุ่มมาจากถาดที่ 1 บริเวณใกล้ฝาเปิด ที่เวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง มีค่าความชื้นสูงกว่าความชื้นเริ่มต้น ทั้งนี้คาดว่าเกิดจากการควบแน่นของไอน้ำที่บริเวณพื้นผิวของตัวอย่าง เนื่องจากในช่วงเริ่มต้นของการทำแห้ง เมื่อไอน้ำร้อนยวดยิ่งสัมผัสกับตัวอย่างแกนตะวันซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของไอน้ำมาก ความร้อนจากไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะถ่ายเทให้แก่ผลิตภัณฑ์ ซึ่งความร้อนดังกล่าวเป็นความร้อนสัมผัส (Sensible heat) ที่มีอยู่ในไอน้ำร้อนยวดยิ่งซึ่งหากปริมาณความร้อนสัมผัสของไอน้ำมีไม่มากพอ (หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ degree of superheat ของไอน้ำร้อนยวดยิ่งไม่มากพอ) ไอน้ำบางส่วนก็จะมีอุณหภูมิลดลงจนถึงจุดอิ่มตัวและเกิดการถ่ายเทความร้อนแฝงจนทำให้เกิดการควบแน่นของไอน้ำที่บริเวณพื้นผิวของตัวอย่างได้ ทำให้ตัวอย่างมีค่าความชื้นเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวถือเป็นเรื่องที่มีมักจะเกิดขึ้นเป็นปกติในช่วงแรกของการทำแห้งอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง การควบแน่นของไอน้ำที่บริเวณพื้นผิวของตัวอย่างนี้จะส่งผลให้ต้องใช้เวลาในการทำแห้งผลิตภัณฑ์นานขึ้น (ฉัตรชัย, 2548) ดังนั้นการใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120 °C ซึ่งมี degree of superheat ของไอน้ำร้อนยวดยิ่งไม่มาก (ประมาณ $120\text{ }^{\circ}\text{C} - 100\text{ }^{\circ}\text{C} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) จึงก่อให้เกิดปรากฏการณ์ดังกล่าว

หากพิจารณาลักษณะของขึ้นแกนตะวันที่ผ่านการทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง พบว่าตัวอย่างในถาดที่ 1, 2 และ 3 บริเวณใกล้ฝาเปิดมีเนื้อสัมผัสที่นิ่มและละ ซึ่งคาดว่าเกิดจากการที่ตัวอย่างแกนตะวันมีค่าความชื้นสูงและสัมผัสกับไอน้ำเป็นระยะเวลานาน จึงเปรียบเสมือนกับการลวกขึ้นแกนตะวันเป็นระยะเวลานาน

จากภาพถ่ายของตัวอย่างแกนตะวันที่ผ่านการทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นระยะเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง ดังแสดงในภาพผนวกที่ 3.5 จะเห็นได้ว่าที่ระยะเวลา 2 ชั่วโมง ตัวอย่างแกนตะวันในถาดที่ 1 และ 2 บริเวณใกล้ทางเข้าของไอน้ำร้อนยวดยิ่ง จะมีการเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลเข้ม และเมื่อตัวอย่างถูกทำแห้งเป็นระยะเวลา 4 และ 6 ชั่วโมง พบว่าสีของตัวอย่างแกนตะวันจะมีความเข้มมากยิ่งขึ้นอย่างชัดเจน โดยบริเวณใกล้ทางเข้าของไอน้ำร้อนยวดยิ่งตัวอย่างจะมีสีน้ำตาลเข้มมากจนตัวอย่างบางชิ้นเกิดการไหม้ ซึ่งลักษณะปรากฏของตัวอย่างในลักษณะนี้ไม่เป็นที่ต้องการ เนื่องจากจะส่งผลต่อคุณภาพของผงแป้งแกนตะวันและผงอินูลินหากนำตัวอย่างแกนตะวันดังกล่าวไปผ่านกระบวนการผลิตในขั้นตอนต่อไป



ภาพผนวกที่ 3.5 ตัวอย่างแก่นตะวันที่ทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นระยะเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง ณ บริเวณต่าง ๆ

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อกระบวนการทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งผ่านไป 6 ชั่วโมง ตัวอย่างแก่นตะวันในบริเวณใกล้ทางเข้าของไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะมีค่าความชื้นต่ำที่สุด คือ 33.7-38.4% wb ซึ่งก็ยังสูงกว่าค่าความชื้นที่ต้องการมาก เนื่องจากระดับความชื้นสุดท้ายที่ต้องการคือ 8% wb เพื่อสะดวกต่อการนำไปดเป็นผงแป้งแก่นตะวันต่อไป ทั้ง ๆ ที่หากใช้เครื่องทำแห้งแบบถาด โดยกำหนดอุณหภูมิลมร้อนที่ 65 °C เป็นระยะเวลาเท่ากันคือ 6 ชั่วโมง ก็จะได้ตัวอย่างแก่นตะวันที่มีค่าความชื้นตามที่ต้องการแล้ว นอกจากนี้ ยังพบว่า ชิ้นแก่นตะวันที่ได้จากการทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง มีสีน้ำตาลเข้ม มีกลิ่นไหม้เล็กน้อย และมีลักษณะเนื้อสัมผัสเหนียวเหมือนอาหารกึ่งแข็งไม่สามารถนำไปดให้แห้งเป็นผงแก่นตะวันเพื่อนำไปสกัดอินูลินได้

เมื่อนำตัวอย่างแกนตะวันที่ผ่านการทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมงไปวัดค่าสี ได้ผลแสดงดังตารางผนวกที่ 3.2 จากผลการทดลองพบว่าค่าความสว่าง (L^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ของตัวอย่างจาก 3 บริเวณของห้องอบแห้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยตัวอย่างบริเวณใกล้ฝาเปิดมีความสว่างมากที่สุด และตัวอย่างบริเวณทางเข้าไอน้ำมีค่าความสว่างและค่าสีเหลืองน้อยที่สุดแต่มีค่าสีแดงสูงสุด นอกจากนี้หากเปรียบเทียบค่าสีของตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งกับตัวอย่างที่ทำแห้งด้วยลมร้อนซึ่งมีผลการวัดค่าสีดังตารางผนวกที่ 2.3 จะเห็นได้ชัดเจนว่าตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะมีค่าความสว่างน้อยกว่าแต่มีค่าสีแดงและสีเหลืองสูงกว่ามาก

ตารางผนวกที่ 3.2 ค่าสีของชิ้นแกนตะวันที่ทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง

ตำแหน่งที่	ค่าสี		
	L^*	a^*	b^*
1. ใกล้ฝาเปิด	$38.84^a \pm 0.83$	$3.93^b \pm 0.02$	$20.50^b \pm 0.48$
2. กลาง	$35.23^b \pm 0.12$	$5.85^a \pm 0.11$	$23.69^a \pm 0.72$
3. ทางเข้าไอน้ำ	$21.01^c \pm 0.19$	$6.25^a \pm 0.82$	$6.42^c \pm 0.50$

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$); L^* แสดงถึงความสว่าง ($0 \leq L \leq 100$) ในขณะที่ $a^*(+)$, $a^*(-)$, $b^*(+)$ และ $b^*(-)$ แสดงค่า สีแดง, สีเขียว, สีเหลือง และสีน้ำเงิน ตามลำดับ; ผลการทดลองได้จากการวัดค่า 3 ซ้ำ

ผลการทดลองทำแห้งตัวอย่างชิ้นแกนตะวันด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 140 °C แสดงดังตารางผนวกที่ 3.3-3.4 และภาพผนวกที่ 3.6-3.7 จากผลการวัดค่าความชื้นของตัวอย่างแกนตะวันที่ตำแหน่งต่าง ๆ พบว่ามีแนวโน้มเช่นเดียวกับการทดลองที่อุณหภูมิ 120 °C แต่การใช้อุณหภูมิไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ 140 °C จะส่งผลให้ค่าความชื้นของตัวอย่างมีค่าต่ำกว่ากรณีที่ใช้อุณหภูมิ 120 °C นั่นคืออัตราการทำแห้งสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของไอน้ำร้อนยวดยิ่ง เนื่องจากไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 140 °C จะมีค่า degree of superheat

ของไอน้ำร้อนยวดยิ่งสูงกว่า (ประมาณ $140\text{ }^{\circ}\text{C} - 100\text{ }^{\circ}\text{C} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$) ซึ่งค่า degree of superheat ที่สูงขึ้นจะทำให้ไอน้ำเกิดการควบแน่นที่พื้นผิวของตัวอย่างน้อยลงในช่วงเริ่มต้นของการทำแห้ง นอกจากนี้ ยังทำให้ไอน้ำสามารถรับความชื้นจากตัวอย่างแ干ตะวันได้ในปริมาณมากขึ้นและในอัตราที่รวดเร็วขึ้น

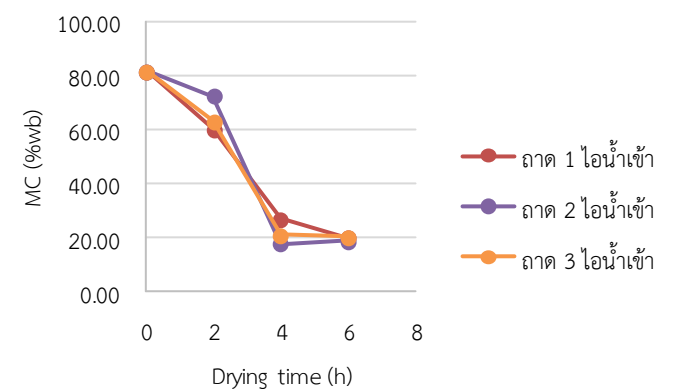
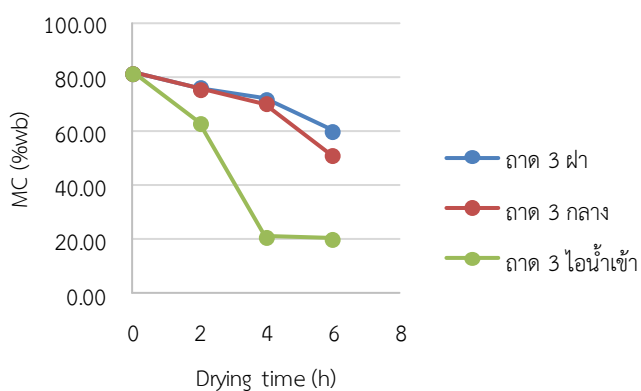
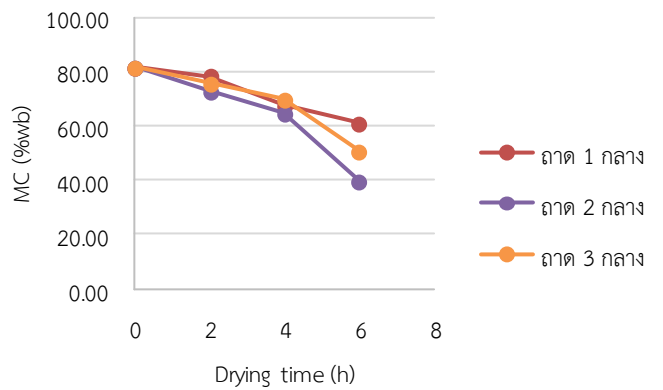
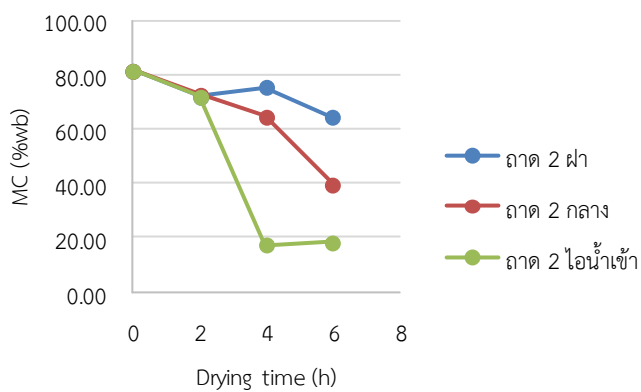
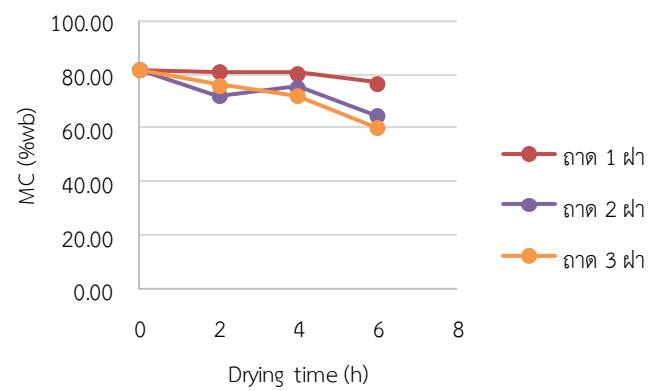
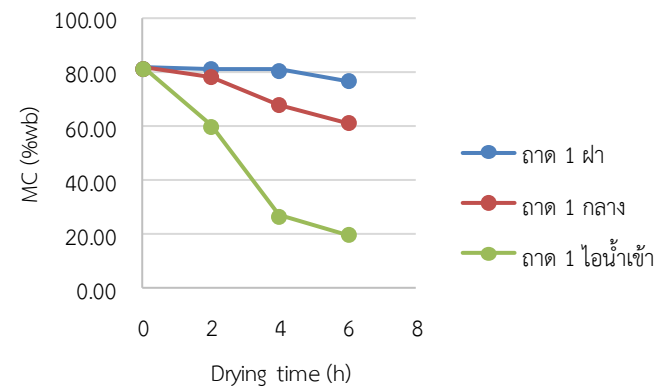
สำหรับลักษณะเนื้อสัมผัสของขึ้นแ干ตะวันหลังการทำแห้งที่อุณหภูมิ $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง พบว่า ตัวอย่างในถาดที่ 1, 2 และ 3 บริเวณใกล้ฝาเปิดมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มและละเอียดเหมือนกับกรณีที่ใช้ อุณหภูมิ $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งคาดว่าเกิดจากการที่ตัวอย่างแ干ตะวันมีค่าความชื้นสูงและสัมผัสกับไอน้ำเป็นระยะเวลานาน จึงเปรียบเสมือนกับการลวกขึ้นแ干ตะวันเป็นระยะเวลานาน ส่วนตัวอย่างแ干ตะวันที่อยู่ใกล้ทางเข้าไอน้ำร้อนยวดยิ่งพบว่ามีลักษณะกึ่งแห้งและเหนียว

ตารางผนวกที่ 3.3 ค่าความชื้นของตัวอย่างแ干ตะวันที่ทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ $140\text{ }^{\circ}\text{C}$

ตำแหน่ง	บริเวณ	ความชื้น (% wb)			
		ชั่วโมงที่ 0	ชั่วโมงที่ 2	ชั่วโมงที่ 4	ชั่วโมงที่ 6
ถาดที่ 1	ใกล้ฝาเปิด	81.7 ± 0.34	$81.1^a \pm 0.22$	$80.9^a \pm 0.58$	$76.9^a \pm 1.62$
	กลาง	81.7 ± 0.34	$78.3^{ab} \pm 1.02$	$67.8^{cd} \pm 3.28$	$61.2^c \pm 2.19$
	ทางเข้าไอน้ำ	81.7 ± 0.34	$60.1^e \pm 0.43$	$26.5^e \pm 3.61$	$19.5^f \pm 0.01$
ถาดที่ 2	ใกล้ฝาเปิด	81.7 ± 0.34	$72.0^c \pm 2.57$	$75.3^{ab} \pm 0.70$	$64.5^b \pm 1.29$
	กลาง	81.7 ± 0.34	$72.9^c \pm 1.34$	$64.7^d \pm 7.46$	$39.6^e \pm 1.65$
	ทางเข้าไอน้ำ	81.7 ± 0.34	$72.2^c \pm 1.00$	$17.3^f \pm 0.45$	$18.3^f \pm 0.03$
ถาดที่ 3	ใกล้ฝาเปิด	81.7 ± 0.34	$76.2^b \pm 0.57$	$72.0^{bc} \pm 0.81$	$60.1^c \pm 1.91$
	กลาง	81.7 ± 0.34	$75.8^b \pm 0.12$	$69.9^{bcd} \pm 0.20$	$50.8^d \pm 1.03$
	ทางเข้าไอน้ำ	81.7 ± 0.34	$63.0^d \pm 1.73$	$20.8^{ef} \pm 0.48$	$19.9^f \pm 0.47$

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

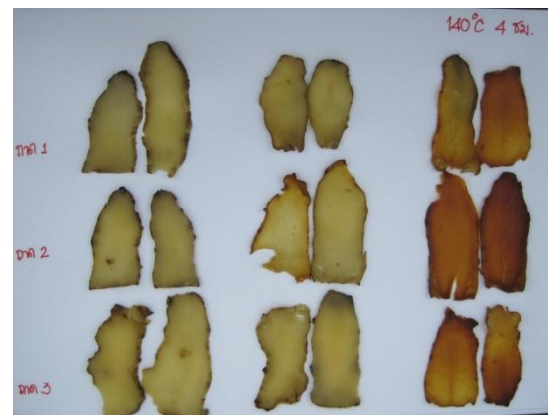
ผลการทดลองได้จากการวัดค่า 3 ซ้ำ



ภาพผนวกที่ 3.6 ค่าความชื้นของแผ่นตะวันที่ทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 140 °C ตามบริเวณของห้องอบแห้ง (รูปด้านซ้ายมือ) และ ตำแหน่งของถาด (รูปด้านขวามือ)

เมื่อพิจารณาภาพถ่ายของชิ้นแแกนตะวันดังภาพผนวกที่ 3.7 จะเห็นได้ว่าที่ระยะเวลา 2 ชั่วโมง ตัวอย่างแแกนตะวันในภาคที่ 2 บริเวณใกล้ทางเข้าของไอน้ำร้อนยวดยิ่ง จะมีการเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลเข้มขึ้นเล็กน้อย และเมื่อตัวอย่างถูกทำแห้งเป็นระยะเวลา 4 และ 6 ชั่วโมง พบว่าสีของตัวอย่างแแกนตะวันจะมีความเข้มมากยิ่งขึ้นอย่างชัดเจน โดยบริเวณใกล้ทางเข้าของไอน้ำร้อนยวดยิ่งตัวอย่างจะมีสีน้ำตาลเข้มมากจนตัวอย่างมีสีน้ำตาลเข้ม มีกลิ่นไหม้ บางชิ้นแห้งกรอบ บางชิ้นแห้งเหนียว ส่วนบริเวณอื่น ๆ ชิ้นแแกนตะวันมีสีน้ำตาล มีลักษณะกึ่งแห้ง ซึ่งลักษณะปรากฏของตัวอย่างในลักษณะนี้ไม่เป็นที่ต้องการ เนื่องจากจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผงแแกนตะวันและผงอินูลินหากนำตัวอย่างแแกนตะวันดังกล่าวไปผ่านกระบวนการผลิตในขั้นตอนต่อไป

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อกระบวนการทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 140 °C ผ่านไป 6 ชั่วโมง ตัวอย่างแแกนตะวันในบริเวณใกล้ทางเข้าของไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะมีค่าความชื้นต่ำที่สุด คือ 18.3-19.9% wb ซึ่งก็ยังสูงกว่าค่าความชื้นที่ต้องการมาก เนื่องจากระดับความชื้นสุดท้ายที่ต้องการคือ 8% wb เพื่อสะดวกต่อการนำไปบดเป็นผงแแกนตะวันต่อไป ทั้ง ๆ ที่หากใช้เครื่องทำแห้งแบบถาด โดยกำหนดอุณหภูมิลมร้อนที่ 65 °C เป็นระยะเวลาเท่ากันคือ 6 ชั่วโมง ก็จะได้ตัวอย่างแแกนตะวันที่มีค่าความชื้นตามที่ต้องการแล้ว นอกจากนี้ยังพบว่าชิ้นแแกนตะวันที่ได้จากการทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง มีสีและลักษณะเนื้อสัมผัสที่ไม่สามารถนำไปบดให้แห้งเป็นผงแแกนตะวันเพื่อนำไปสกัดอินูลินได้



ภาพผนวกที่ 3.7 ตัวอย่างแก่นตะวันที่ทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 140 °C เป็นระยะเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง ณ บริเวณต่าง ๆ

เมื่อนำตัวอย่างแก่นตะวันที่ผ่านการทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 140 °C เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมงไปวัดค่าสี ได้ผลแสดงดังตารางผนวกที่ 3.4 ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวมีแนวโน้มเช่นเดียวกับการทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120 °C แต่ว่าตัวอย่างที่ใช้อุณหภูมิ 140 °C จะมีค่าความสว่างน้อยกว่าและมีค่าสีแดงสูงกว่า

ตารางผนวกที่ 3.4 ค่าสีของชิ้นแค้นตะวันที่ทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 140 °C เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง

ตำแหน่งที่	ค่าสี		
	L*	a*	b*
1. ใกล้ฝาเปิด	36.71 ^a ± 1.25	5.84 ^b ± 0.32	20.95 ^a ± 0.49
2. กลาง	27.06 ^b ± 0.99	8.91 ^a ± 0.23	14.55 ^b ± 0.56
3. ทางเข้าไอน้ำ	20.74 ^c ± 0.57	3.26 ^c ± 0.19	2.48 ^c ± 0.26

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$); L* แสดงถึงความสว่าง ($0 \leq L \leq 100$) ในขณะที่ a*(+), a*(-), b*(+) และ b*(-) แสดงค่า สีแดง, สีเขียว, สีเหลือง และสีน้ำเงิน ตามลำดับ; ผลการทดลองได้จากการวัดค่า 3 ซ้ำ

ผลการทดลองทำแห้งตัวอย่างชิ้นแค้นตะวันที่ด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 160 °C แสดงดังตารางผนวกที่ 3.5-3.6 และภาพผนวกที่ 3.8-3.9 จากผลการวัดค่าความชื้นของตัวอย่างแค้นตะวันที่ตำแหน่งต่าง ๆ พบว่ามีแนวโน้มเช่นเดียวกับการทดลองที่อุณหภูมิ 120 และ 140 °C

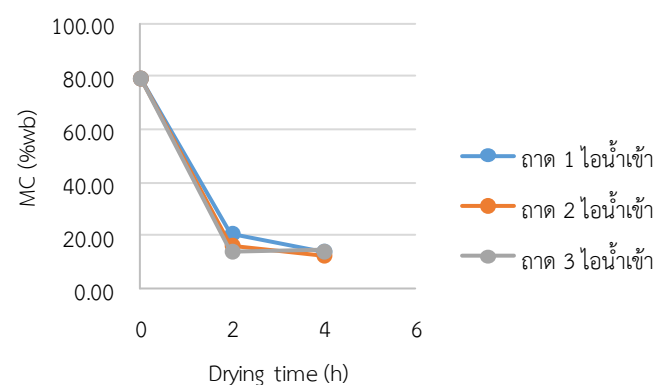
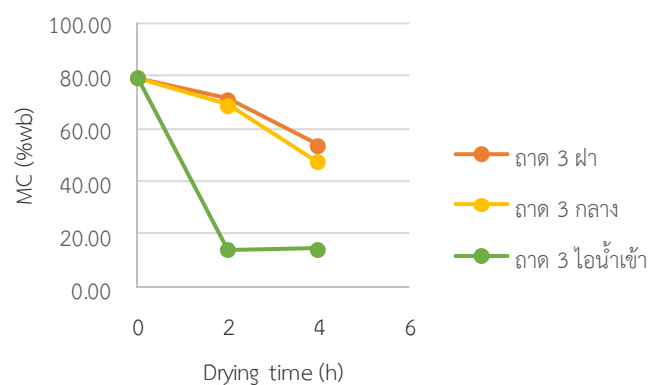
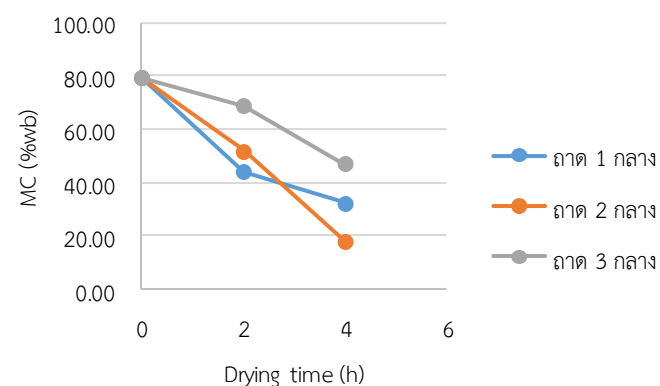
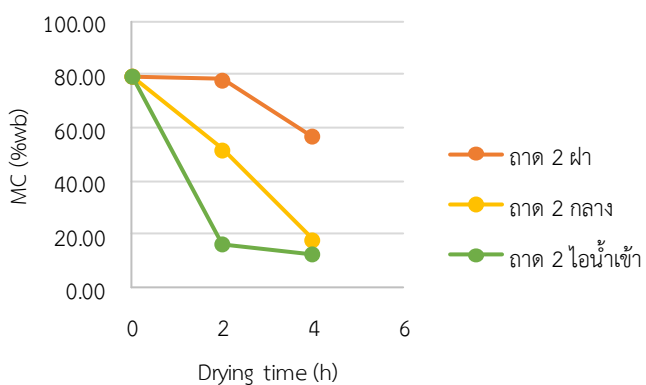
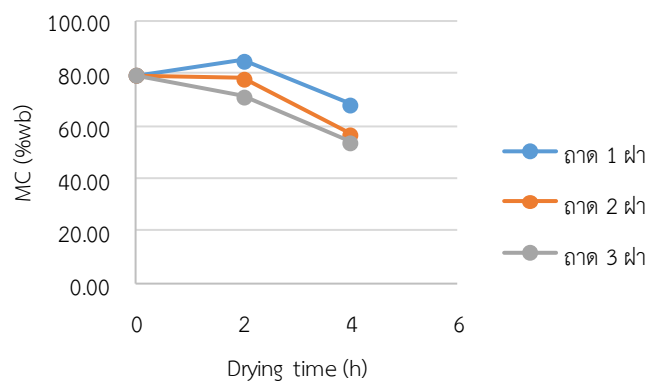
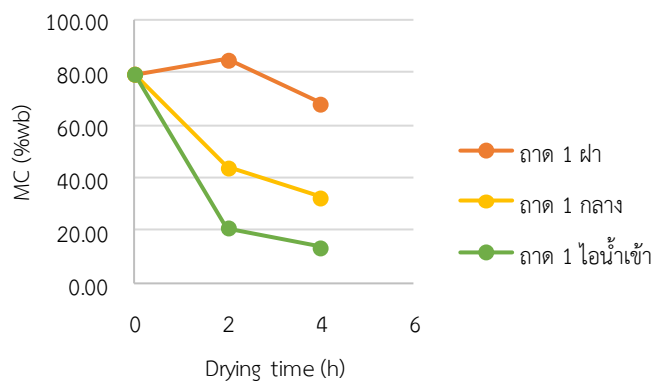
สำหรับลักษณะเนื้อสัมผัสของชิ้นแค้นตะวันที่หลังการทำแห้งที่อุณหภูมิ 160 °C เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง พบว่า ตัวอย่างในภาชนะที่ 1, 2 และ 3 บริเวณใกล้ฝาเปิดมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มและละเอียดเช่นเดียวกับกรณีที่ใช้อุณหภูมิ 120 และ 140 °C ส่วนตัวอย่างแค้นตะวันที่อยู่ใกล้ทางเข้าไอน้ำร้อนยวดยิ่งพบว่ามีลักษณะแห้งและเหนียว มีสีน้ำตาลเข้ม และมีกลิ่นไหม้ ดังแสดงในภาพผนวกที่ 3.8 จึงไม่เหมาะสมต่อการนำไปผลิตเป็นแป้งแค้นตะวันที่และสักดอินูลิน

ตารางผนวกที่ 3.5 ค่าความชื้นของตัวอย่างแก่นตะวันที่ทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 160 °C

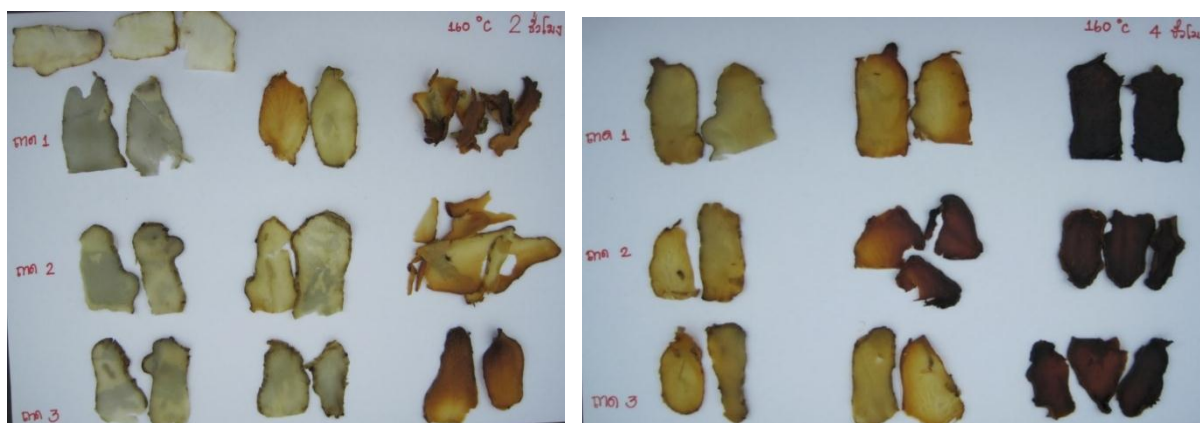
ตำแหน่ง	บริเวณ	ความชื้น (% wb)		
		ชั่วโมงที่ 0	ชั่วโมงที่ 2	ชั่วโมงที่ 4
ถาดที่ 1	ใกล้ฝาเปิด	79.3 ± 1.11	85.1 ^a ± 0.59	68.2 ^a ± 4.04
	กลาง	79.3 ± 1.11	44.1 ^e ± 3.77	32.4 ^d ± 0.07
	ทางเข้าไอน้ำ	79.3 ± 1.11	20.7 ^f ± 0.05	13.7 ^{ef} ± 0.50
ถาดที่ 2	ใกล้ฝาเปิด	79.3 ± 1.11	78.2 ^b ± 1.04	56.8 ^b ± 1.41
	กลาง	79.3 ± 1.11	52.0 ^d ± 0.05	18.0 ^e ± 1.31
	ทางเข้าไอน้ำ	79.3 ± 1.11	15.9 ^{fg} ± 0.41	12.3 ^f ± 0.29
ถาดที่ 3	ใกล้ฝาเปิด	79.3 ± 1.11	71.3 ^c ± 5.54	54.0 ^b ± 3.12
	กลาง	79.3 ± 1.11	68.9 ^c ± 0.00	47.2 ^c ± 0.69
	ทางเข้าไอน้ำ	79.3 ± 1.11	13.8 ^g ± 0.50	14.3 ^{ef} ± 0.19

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ผลการทดลองได้จากการวัดค่า 3 ซ้ำ



ภาพผนวกที่ 3.8 ค่าความชื้นของแกนตะวันที่ทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 160 °C ตามบริเวณของ
ห้องอบแห้ง (รูปด้านซ้ายมือ) และ ตำแหน่งของเถา (รูปด้านขวามือ)



ภาพผนวกที่ 3.9 ตัวอย่างแก่นตะวันที่ทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 160 °C เป็นระยะเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง ณ บริเวณต่าง ๆ

เมื่อนำตัวอย่างแก่นตะวันที่ผ่านการทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 160 °C เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมงไปวัดค่าสี ได้ผลแสดงดังตารางผนวกที่ 3.6 ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวมีแนวโน้มเช่นเดียวกับการทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120 และ 140 °C นั่นคือ ตัวอย่างบริเวณทางเข้าไอน้ำมีสีเข้มที่สุด สีที่เข้มของขึ้นแก่นตะวันคาดว่าเกิดจากปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชัน (caramelization reaction) ซึ่งการเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชันเป็นการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากน้ำตาลเมื่ออยู่ในสภาวะอุณหภูมิสูงและเกิดการสูญเสีย น้ำ นอกจากนี้ ยังเกิดจาก Maillard reaction ซึ่งอาศัย reducing sugar และ amino acid ในตัวอย่างเป็นสารตั้งต้น และมีความร้อนจากไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยา รวมทั้งการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานอาจทำให้ตัวอย่างเกิดการไหม้ได้

ตารางผนวกที่ 3.6 ค่าสีของชิ้นแแกนตะวันที่ทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 160 °C เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง

ตำแหน่งที่	ค่าสี		
	L*	a*	b*
1. ใกล้ฝาเปิด	45.89 ^a ± 1.62	0.85 ^c ± 0.01	14.54 ^b ± 0.09
2. กลาง	36.14 ^b ± 0.73	10.86 ^a ± 0.34	23.18 ^a ± 0.25
3. ทางเข้าไอน้ำ	21.39 ^c ± 0.28	4.24 ^b ± 0.25	3.67 ^c ± 0.24

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$); L* แสดงถึงความสว่าง ($0 \leq L \leq 100$) ในขณะที่ a*(+), a*(-), b*(+) และ b*(-) แสดงค่า สีแดง สีเขียว สีเหลือง และสีน้ำเงิน ตามลำดับ; ผลการทดลองได้จากการวัดค่า 3 ซ้ำ

จากผลการทดลองทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งแสดงให้เห็นชัดเจนว่า เทคนิคการทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งไม่เหมาะที่จะนำมาใช้กับตัวอย่างแแกนตะวัน เนื่องจากใช้ระยะเวลานานในการทำแห้ง และทำให้ตัวอย่างมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่เละหรือแห้งเหนียว และมีสีที่เข้มจัด เมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งด้วยลมร้อนซึ่งใช้ระยะเวลาสั้นกว่า ตัวอย่างมีความสม่ำเสมอของความชื้นมากกว่า ลักษณะเนื้อสัมผัสและสีของผลิตภัณฑ์ดีกว่า และมีต้นทุนในการทำแห้งถูกกว่า ดังนั้นเฉพาะผลการทดลองทำแห้งห้วแแกนตะวันด้วยลมร้อนจึงถูกนำมาใช้ประเมินระยะเวลาที่ต้องใช้ในการทำแห้งและสร้างสมการอบแห้งขึ้นบางโดยมีรายละเอียดดังภาคผนวกที่ 4

ภาคผนวกที่ 4

การนำผลการทดลองจากการทำแห้งหั่วแ่งแ่งวันในระดับห้องปฏิบัติการมาใช้สร้างสมการอบแห้งชั้นบาง และประเมินระยะเวลาที่ต้องใช้ในการทำแห้ง

การนำผลการทดลองจากการทำแห้งหั่วแ่งแ่งวันในระดับห้องปฏิบัติการมาใช้ประเมินระยะเวลาที่ต้องใช้ในการทำแห้งสามารถทำได้โดยเริ่มจากการสร้างสมการอบแห้งชั้นบางจากผลการทดลองแล้วนำสมการดังกล่าวมาใช้ทำนายระยะเวลาที่ต้องใช้ในการทำแห้งเพื่อให้หั่วแ่งแ่งวันมีความชื้นในระดับที่ต้องการ นั่นคือความชื้นต่ำกว่าระดับ 8% มาตรฐานเปียก เพื่อให้สามารถบดตัวอย่างหลังจากการทำแห้งให้เป็นผงหั่วแ่งแ่งวันได้ตามที่ต้องการ

การสร้างสมการอบแห้งชั้นบางจากผลการทดลอง

ผลการทดลองอบแห้งหั่วแ่งแ่งวันจำนวน 3 กิโลกรัม ซึ่งเป็นปริมาณที่วางแผนว่าจะใช้ในการทดลองระดับห้องปฏิบัติการสำหรับการเตรียมตัวอย่างแบ่งหั่วแ่งแ่งวันเพื่อการสกัดอินูลิน ด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 65 °C ดังแสดงในตารางผนวกที่ 2.1 ถูกนำมาใช้สร้างสมการอบแห้งชั้นบางด้วยวิธี Non-linear regression โดยนำผลการทดลองมาคำนวณหาอัตราส่วนความชื้น (Moisture Ratio, MR) ดังสมการที่ 4.1 แล้วนำค่ามาเปรียบเทียบกับสมการอบแห้งชั้นบางดังแสดงในตารางผนวก 4.1

$$MR = \frac{M_t - M_{eq}}{M_i - M_{eq}} \quad \dots\dots\dots(4.1)$$

โดยที่ M_t เป็นค่าความชื้น ณ เวลา t ใด ๆ ในระหว่างการอบแห้ง, ค่า M_i เป็นค่าความชื้นเริ่มต้น และ M_{eq} เป็นค่าความชื้นสมดุลของวัตถุ ซึ่งจะขึ้นกับสภาวะที่ใช้ในการอบแห้ง ซึ่งค่าความชื้นทั้งหมดที่นำมาใช้คำนวณนั้นต้องเป็นความชื้นมาตรฐานแห้ง จากการทดลองหาความชื้นสมดุลโดยทดลองอบแห้งชั้นหั่วแ่งแ่งวันที่อุณหภูมิ 65 °C จนกระทั่งมีน้ำหนักคงที่ พบว่า ค่าความชื้นสมดุลที่อุณหภูมิดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 0.0371 ± 0.0020 (มาตรฐานแห้ง) หรือ 3.71% db

ตารางผนวกที่ 4.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พิจารณาใช้สร้างสมการอบแห้งชั้นบางของชิ้นแ่งนตะวัน

Model	Mathematical equation	References
Lewis	$MR = \exp(-kt)$	Ayensu (1997)
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	Agrawal and Singh (1977)
Modified Page	$MR = \exp[-(kt)^n]$	Yaldiz <i>et al.</i> (2001)
Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	Westerman <i>et al.</i> (1973)
Midilli <i>et al.</i>	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	Midilli <i>et al.</i> (2002)
Two-term	$MR = a \exp(-k_0t) + b \exp(-k_1t)$	Henderson (1974)
Two-term exponential	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kat)$	Sharaf-Eldeen <i>et al.</i> (1980)
Wang and Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	Wang and Singh (1978)

ผลการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนความชื้นที่คำนวณได้จากผลการทดลองกับสมการอบแห้งชั้นบางแสดงในตารางผนวกที่ 4.2 การพิจารณาว่าสมการอบแห้งใดสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงความชื้นของแ่งนตะวันระหว่างการอบแห้งได้ดีที่สุดพิจารณาจากค่าทางสถิติที่นิยมใช้สำหรับการประเมินความแม่นยำของสมการ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination; R^2) และ ค่า root mean square error (RMSE) โดยสมการที่มีความแม่นยำต้องมีค่า R^2 สูงและค่า RMSE น้อย

ตารางผนวกที่ 4.2 ค่าคงที่สำหรับสมการรอบแห้งชั้นบางและค่าทางสถิติที่ใช้สำหรับการประเมินความแม่นยำ

ของแบบจำลอง

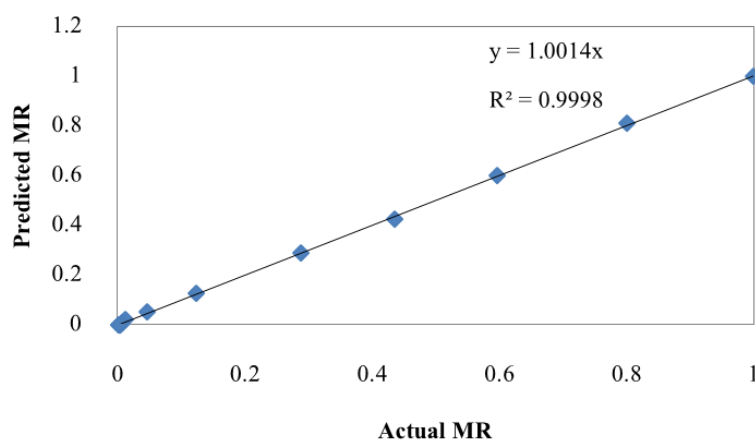
Model	Calculated parameter	Values
Lewis	k	0.0198
	R^2	0.9918
	RMSE	0.0004
Page	k	0.0067
	n	1.2733
	R^2	0.9998
	RMSE	0.0000
Modified Page	k	0.0197
	n	1.2733
	R^2	0.9998
	RMSE	0.0000
Henderson and Pabis	a	1.0429
	k	0.0207
	R^2	0.9935
	RMSE	0.0003
Midilli <i>et al.</i>	a	0.9964
	k	0.0065
	n	1.2824
	b	0.000006
	R^2	0.9998
	RMSE	0.0000
Two-term	a	0.5214
	k_0	0.0207
	b	0.5214
	k_1	0.0207
	R^2	0.9935
	RMSE	0.0003
Two-term exponential	a	0.0026
	k	7.4617
	R^2	0.9916
	RMSE	0.0004
Wang and Singh	a	-0.0080
	b	0.000013
	R^2	0.7203
	RMSE	0.0150

หมายเหตุ:

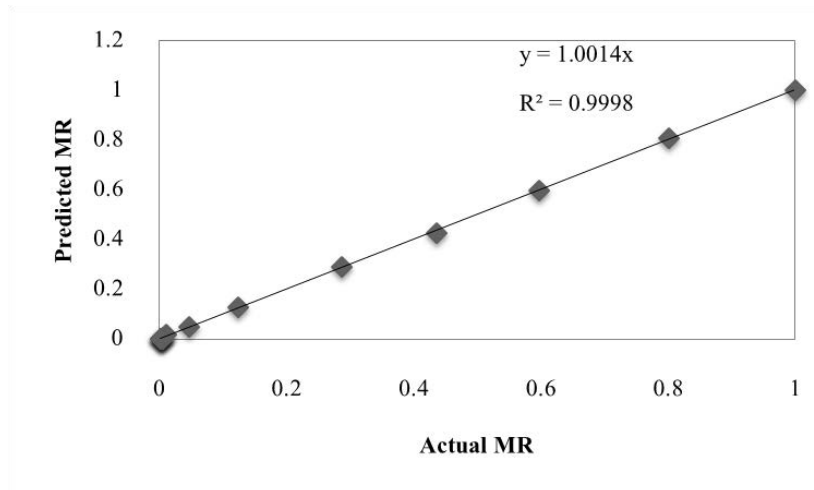
$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Measured } MR \text{ value} - \text{Predicted } MR \text{ value})^2}{\sum_{i=1}^n (\text{Measured } MR \text{ value} - \text{Average } MR \text{ value})^2}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{Measured } M_t \text{ value} - \text{Predicted } M_t \text{ value})^2}{n}}$$

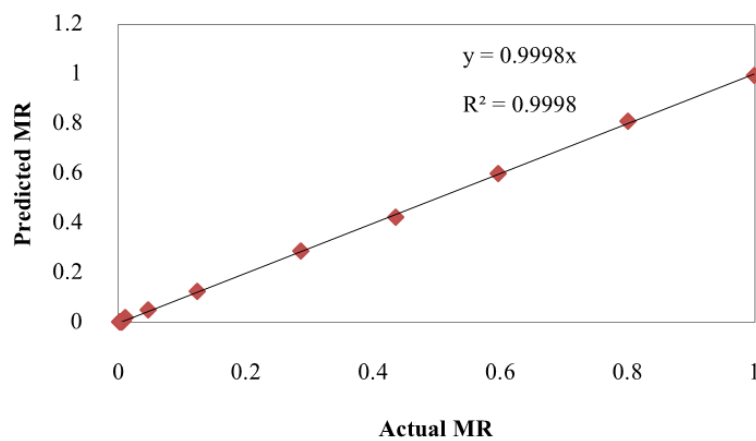
เมื่อพิจารณาค่า R^2 พบว่า Page model, Modified page model และ Midilli *et al.* มีค่า R^2 สูงและมีค่า RMSE ต่ำ จึงมีการสร้างกราฟเปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นของชิ้นแก่งตะวันในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 °C ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการทำนายโดยสมการทั้ง 3 สมการ ดังภาพผนวกที่ 4.1 ถึง 4.3 นอกจากนี้ ได้มีการสรุปค่าความชื้นที่ได้จากการทดลองและจากการทำนายโดย 3 สมการดังกล่าวไว้ในตารางผนวกที่ 4.3



ภาพผนวกที่ 4.1 ค่าอัตราส่วนความชื้นของชิ้นแก่งตะวันในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 °C ที่ได้จากการทดลอง
เปรียบเทียบกับค่าจากการทำนายโดยใช้ Page model



ภาพผนวกที่ 4.2 ค่าอัตราส่วนความชื้นของชิ้นแ่งนตะวันในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 °C ที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับค่าจากการทำนายโดยใช้ Modified Page model



ภาพผนวกที่ 4.3 ค่าอัตราส่วนความชื้นของชิ้นแ่งนตะวันในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 °C ที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับค่าจากการทำนายโดยใช้ Midilli et al. model

ตารางผนวกที่ 4.3 ความชื้นของขึ้นแก่นตะวันที่ได้จากการทดลองและจากการทำนายโดยสมการ

Time (min)	Moisture content (db, decimal)			
	Experiment	Page	Modified Page	Modilli <i>et al.</i>
0	8.177 ± 2.194	8.177	8.177	8.148
15	6.561 ± 0.213	6.623	6.623	6.620
30	4.898 ± 0.654	4.916	4.916	4.919
45	3.590 ± 0.602	3.489	3.489	3.491
60	2.378 ± 0.600	2.399	2.399	2.397
90	1.045 ± 0.328	1.061	1.061	1.056
120	0.415 ± 0.249	0.446	0.446	0.445
150	0.131 ± 0.003	0.190	0.190	0.193
180	0.092 ± 0.004	0.091	0.091	0.098
210	0.084 ± 0.006	0.055	0.055	0.065
240	0.075 ± 0.003	0.043	0.043	0.054
300	0.067 ± 0.002	0.038	0.038	0.052
360	0.064 ± 0.004	0.037	0.037	0.055
420	0.060 ± 0.002	0.037	0.037	0.058
480	0.057 ± 0.003	0.037	0.037	0.061

การใช้สมการอบแห้งขึ้นบางทำนายระยะเวลาที่ต้องใช้ในการทำแห้ง

จากการสร้างสมการอบแห้งขึ้นบางพบว่าสมการ Page model, Modified Page model และ Midilli *et al.* มีความแม่นยำในการทำนายระยะเวลาในการทำแห้งแก่นตะวัน ดังนั้น จึงสามารถใช้ประโยชน์จากสมการเหล่านี้ในการทำนายระยะเวลาที่ต้องใช้ในการทำแห้งแก่นตะวันได้ ในที่นี้จะยกตัวอย่างการคำนวณโดยใช้ Page's Model

$$MR = \exp(-kt^n)$$

ทราบค่าคงที่ จากการประมาณค่าคงที่โดยการวิเคราะห์ถดถอยไม่เชิงเส้น; $k = 0.0067$ $n = 1.2733$

$$MR = \frac{M_t - M_{eq}}{M_i - M_{eq}}$$

$$\frac{M_t - M_{eq}}{M_i - M_{eq}} = \exp(-kt^n)$$

ต้องการให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้น 8% wb ซึ่งคิดเป็น db (ทศนิยม) ได้จากสูตร

$$M_d = \frac{M_w}{1 - M_w}$$

$$M_d = \frac{0.08}{1 - 0.08}$$

$$M_d = 0.086 = M_t$$

จากการทดลองแก่นตะวันมีความชื้นเริ่มต้น $M_i(\%wb) = 88.77\%$

$$\text{ดังนั้น } M_i(db) = \frac{0.88}{1 - 0.88} = 7.33$$

$$\text{ค่า } M_{eq}(db) = 0.0371$$

เพราะฉะนั้นแทนค่าลงไปในสมการ

$$\frac{M_t - M_{eq}}{M_i - M_{eq}} = \exp(-kt^n)$$

$$\frac{0.086 - 0.0371}{7.33 - 0.0371} = \exp(-0.0067 * t^{1.2733})$$

$$0.006705 = \exp(-0.0067 * t^{1.2733})$$

$$\ln 0.006705 = -0.0067 * t^{1.2733}$$

$$-5.0049 = -0.0067 * t^{1.2733}$$

$$\frac{-5.0049}{-0.0067} = t^{1.2733}$$

$$\frac{-5.0049}{-0.0067} = t^{1.2733}$$

$$747.0003 = t^{1.2733}$$

$$\sqrt[1.2733]{747.0003} = \sqrt[1.2733]{t^{1.2733}}$$

$$t = 180.55$$

ดังนั้น จากการทำนายโดย Page model ในการอบแห้งชิ้นแก่นตะวันจากความชื้นเริ่มต้น 88.77% wb ให้ได้ความชื้นลดลงเหลือ 8% wb ต้องใช้ระยะเวลา 180.55 นาที

ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น

ค่าอัตราส่วนความชื้นที่ทำนายโดย Page model แสดงดังตารางผนวกที่ 4.4 และนำข้อมูลนี้มาใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น (D_{eff}) ของชิ้นแกล่นตะวันที่อุณหภูมิในการทำแห้ง 65°C

ตารางผนวกที่ 4.4 ค่าอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการทำนาย (MR_{pre}) โดย Page model และ $\ln(MR)$ ของชิ้นแกล่นตะวันที่ทำแห้งที่อุณหภูมิ 65°C

Time (min)	Time (s)	MR pre	Ln (MR)
0	0	1	0
15	900	0.80916	-0.21176
30	1800	0.599389	-0.51184
45	2700	0.424122	-0.85774
60	3600	0.290199	-1.23719
90	5400	0.125777	-2.07325
120	7200	0.050266	-2.99043
150	9000	0.018815	-3.97309
180	10800	0.006662	-5.01128
210	12600	0.002247	-6.09806
240	14400	0.000726	-7.22823
300	18000	6.75E-05	-9.60343
360	21600	5.49E-06	-12.1129
420	25200	3.97E-07	-14.7397
480	28800	2.58E-08	-17.4715

การหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น (D_{eff}) ของชิ้นแกล่นตะวันที่อุณหภูมิในการทำแห้ง 65°C เริ่มต้นจากการนำค่าจากตารางผนวกที่ 4.4 มาพล็อตกราฟระหว่าง $\ln(MR)$ กับระยะเวลาในการทำแห้งดังภาพผนวกที่ 4.4 เพื่อหาค่าความชัน (slope) ของกราฟดังกล่าวสำหรับการคำนวณดังนี้

จากสมการที่พัฒนาจาก Fick's second law of diffusion กรณีที่เป็นวัสดุรูปทรง Infinite slab;

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(\frac{-\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right)$$

$$\ln(MR) = \ln\left(\frac{8}{\pi^2}\right) - \left(\frac{D_{eff} \pi^2}{4L^2}\right) t$$

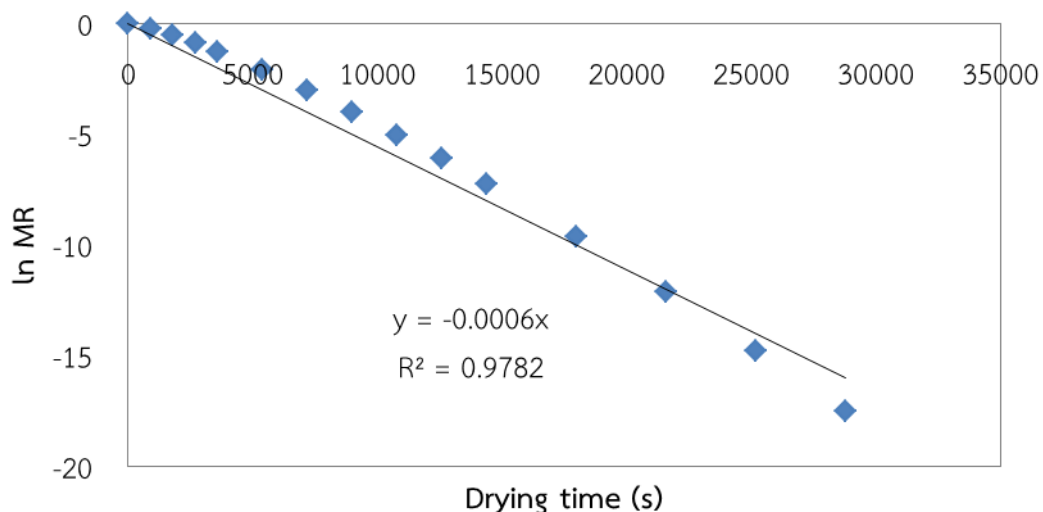
จากรูปแบบสมการดังกล่าว เมื่อพล็อตกราฟระหว่างค่า $\ln(MR)$ กับระยะเวลาในการทำแห้ง ค่าความชันของกราฟดังกล่าวมีค่าเท่ากับ $-\left(\frac{D_{eff} \pi^2}{4L^2}\right)$ ดังนั้นจะได้

$$D_{eff} = -\text{slope} \left(\frac{4L^2}{\pi^2}\right)$$

ชิ้นแก๊นตะวันมีความหนา 2 mm และทำแห้งโดยวางบนตะแกรงอบแห้งที่มีรู้ด้านล่างของถาด จึงแทนค่า $L = 1 \text{ mm} = 0.001 \text{ m}$ ดังนั้นสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นของชิ้นแก๊นตะวัน

$$D_{eff} = 0.0006 \times \frac{4(0.001)^2}{3.414^2}$$

D_{eff} เท่ากับ $1.9138 \times 10^{-10} \text{ m/s}$



ภาพผนวกที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(MR)$ และ เวลาในการทำแห้งที่อุณหภูมิ 65°C

การทดลองใช้สมการอบแห้งขึ้นบางทำนายระยะเวลาที่ต้องใช้ในการทำแห้งในกรณีที่เพิ่มปริมาณตัวอย่าง

สมการอบแห้งขึ้นบางที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ผลการทดลองกรณีใช้แก่นตะวันจำนวน 3 กิโลกรัม ถูกนำมาทดลองใช้ทำนายค่าความชื้นของตัวอย่างและเปรียบเทียบผลการทำนายกับผลการทดลองอบแห้งแก่นตะวันจำนวนที่เพิ่มขึ้นเป็น 5 กิโลกรัม เพื่อจะได้ทราบว่าสมการดังกล่าวสามารถทำนายค่าความชื้นของตัวอย่างแก่นตะวันได้แม่นยำมากน้อยแค่ไหนหากเพิ่มปริมาณตัวอย่างจาก 3 กิโลกรัม เป็น 5 กิโลกรัม โดยมีวิธีการคำนวณระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้งด้วยสมการ Page's Model ดังนี้

$$MR = \exp(-kt^n)$$

ทราบค่าคงที่ จากการประมาณค่าคงที่โดยการวิเคราะห์ถดถอยไม่เชิงเส้น; $k = 0.0067$ $n = 1.2733$

$$MR = \frac{M_t - M_{eq}}{M_i - M_{eq}}$$

$$\frac{M_t - M_{eq}}{M_i - M_{eq}} = \exp(-kt^n)$$

ต้องการให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้น 8% wb ซึ่งคิดเป็น db (ทศนิยม) ได้จากสูตร

$$M_d = \frac{M_w}{1 - M_w}$$

$$M_d = \frac{0.08}{1 - 0.08}$$

$$M_d = 0.086 = M_t$$

จากการทดลองอบแห้งโดยเพิ่มตัวอย่างเป็น 5 กิโลกรัม พบว่าแก่นตะวันมีความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยจาก 2 การทดลอง (ดังภาคผนวกที่ 2) คือ

$$M_i(\%wb) = 93.13\%$$

$$\text{ดังนั้น } M_i(db) = \frac{0.93}{1-0.93} = 13.28$$

$$\text{ค่า } M_{eq}(db) = 0.0371$$

แทนค่าลงในสมการ

$$\frac{M_t - M_{eq}}{M_i - M_{eq}} = \exp(-kt^n)$$

$$\frac{0.086 - 0.0371}{13.28 - 0.0371} = \exp(-0.0067 * t^{1.2733})$$

$$0.003692 = \exp(-0.0067 * t^{1.2733})$$

$$\ln 0.003692 = -0.0067 * t^{1.2733}$$

$$-5.6015 = -0.0067 * t^{1.2733}$$

$$\frac{-5.6015}{-0.0067} = t^{1.2733}$$

$$836.0447 = t^{1.2733}$$

$$^{1.2733}\sqrt{836.0447} = ^{1.2733}\sqrt{t^{1.2733}}$$

$$t = 197.16$$

ดังนั้น จากการทำนายโดยสมการ Page model ในการอบแห้งขึ้นแก่นตะวันจำนวน 5 กิโลกรัมจาก ความชื้นเริ่มต้น 93.13% wb ให้ความชื้น 8% wb ต้องใช้เวลา 197.24 นาที (ประมาณ 3.28 ชั่วโมง) ซึ่ง จากผลการทดลองอบแห้งขึ้นแก่นตะวันจำนวน 5 กิโลกรัม ดังแสดงในภาคผนวกที่ 2 ขึ้นแก่นตะวันจะมีความชื้นลดลงเหลือประมาณ 8% wb จะต้องใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 5-7 ชั่วโมง ซึ่งมากกว่าการทำนายเวลาในการอบแห้งโดยใช้สมการเกือบ 2 เท่า แสดงว่าการเพิ่มปริมาณตัวอย่างจาก 3 กิโลกรัม เป็น 5 กิโลกรัม ส่งผลให้ต้องใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสูงขึ้นมาก สาเหตุคาดว่าเกิดจากสภาวะอากาศภายในห้องอบแห้งที่จะมีความชื้นสัมพัทธ์มากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณตัวอย่าง รวมถึงค่าอุณหภูมิของอากาศด้วย เนื่องจากการวัดอุณหภูมิของเครื่องอบแห้งแบบถาดนี้เป็นการวัดค่าลมร้อนหลังจากผ่านฮีทเตอร์ไฟฟ้าที่ทางเข้าห้องอบแห้ง ดังนั้นอุณหภูมิของอากาศที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในห้องอบแห้งจึงมีค่าน้อยกว่า 65 °C โดยจะต่ำกว่าค่าดังกล่าวเล็กน้อยเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับจำนวนตัวอย่างภายในห้องอบแห้ง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสมการอบแห้งขึ้นบางที่พัฒนาขึ้นจะสามารถทำนายระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งขึ้นแก่นตะวันได้อย่างแม่นยำภายใต้สภาวะที่ใช้ในการทดลองที่นำผลการทดลองมาใช้สร้างสมการเท่านั้น หากใช้นอกขอบเขตสภาวะดังกล่าวผลการทำนายที่ได้อาจมีความคลาดเคลื่อนสูงได้

ภาคผนวกที่ 5

การตรวจสอบโครงสร้างในระดับจุลภาคของตัวอย่างแกนตะวันสดและตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้ง

เพื่อการศึกษาผลของการลวกและสภาวะที่ใช้ในการอบแห้งที่มีต่อลักษณะโครงสร้างของขึ้นแกนตะวัน ขึ้นแกนตะวันที่ถูกเตรียมด้วยกระบวนการแตกต่างกัน จำนวน 7 ตัวอย่าง จึงถูกนำมาวิเคราะห์โครงสร้างทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอไมโครสโคป (stereomicroscope) รุ่น Leica S8 APO (Leica Microsystems Ltd., Germany) ซึ่งแต่ละตัวอย่างมีรายละเอียดของกระบวนการเตรียมดังนี้

1. ขึ้นแกนตะวันสด (ไม่ลวก) หากอ้างอิงจากภาพผนวกที่ 2.1 จะเป็นตัวอย่างหลังจากแช่ในสารละลายกรดซิตริก ความเข้มข้น 0.5% w/v แล้วสะเด็ดน้ำโดยวางบนตะแกรงพลาสติก เป็นเวลา 5-10 นาที
2. ขึ้นแกนตะวัน (ลวก) หากอ้างอิงจากภาพผนวกที่ 2.1 จะเป็นตัวอย่างหลังจากการลวกในน้ำเดือดเป็นเวลา 2 นาที ทำให้เย็นโดยแช่ในน้ำประปา แล้วสะเด็ดน้ำโดยวางบนตะแกรงพลาสติก เป็นเวลา 5-10 นาที
3. ขึ้นแกนตะวัน (ไม่ลวก) อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด 65°C 6 ชั่วโมง คือตัวอย่างในข้อที่ 1 ซึ่งถูกนำมาอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 65°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง
4. ขึ้นแกนตะวัน (ลวก) อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด 65°C 6 ชั่วโมง คือตัวอย่างในข้อที่ 2 ซึ่งถูกนำมาอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 65°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง
5. ขึ้นแกนตะวันอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 120°C 6 ชั่วโมง คือตัวอย่างในข้อที่ 1 ซึ่งถูกนำมาอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง
6. ขึ้นแกนตะวันอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 140°C 6 ชั่วโมง คือตัวอย่างในข้อที่ 1 ซึ่งถูกนำมาอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 140°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง
7. ขึ้นแกนตะวันอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 160°C 4 ชั่วโมง คือตัวอย่างในข้อที่ 1 ซึ่งถูกนำมาอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 160°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

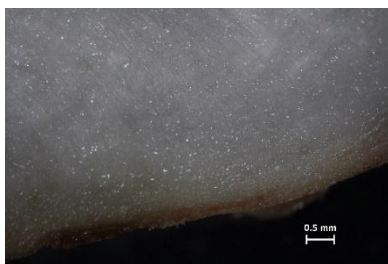
นอกจากการวิเคราะห์โครงสร้างทางกายภาพของทั้ง 7 ตัวอย่าง ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอไมโครสโคปแล้ว ยังมีการนำตัวอย่างขึ้นแกนตะวันที่ 3, 4 และ 7 ไปวิเคราะห์โครงสร้างบริเวณชั้นผิวและภาพตัดขวางของตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope; SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-6610LV (Seal Laboratories, USA) อีกด้วย เพื่อที่จะได้ทราบผลของการลวกและวิธีการอบแห้งที่มีต่อลักษณะโครงสร้างของขึ้นแกนตะวันในเชิงลึกมากยิ่งขึ้น

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอไมโครสโคป

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอไมโครสโคปของชิ้นแแกน ตะวันที่ถูกเตรียมด้วยกระบวนการแตกต่างกัน ทั้ง 7 ตัวอย่าง ถูกแสดงดังภาพผนวกที่ 5.1

จากภาพผนวกที่ 5.1 จะเห็นได้ว่าโครงสร้างของชิ้นแแกนตะวันสด (ไม่ลวก) ประกอบไปด้วยเซลล์ขนาดเล็กจำนวนมาก โดยชิ้นแแกนตะวันที่ผ่านการลวก (5.1 b) มีลักษณะโครงสร้างที่ขุ่นมากกว่าชิ้นแแกนตะวันสด (5.1 a) และเมื่อนำไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบภาตที่อุณหภูมิ 65°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่าชิ้นแแกนตะวันที่ลวก (5.1 d) มีสีที่คล้ำกว่าชิ้นแแกนตะวันกรณีที่ไม่ลวกแล้วนำไปอบแห้ง (5.1 c) จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การลวกมีผลต่อลักษณะปรากฏด้านสีของชิ้นแแกนตะวัน โดยทำให้สีของตัวอย่างเข้มขึ้น เนื่องจาก Non-enzymatic browning reaction เช่น Maillard reaction ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่าง Reducing sugars และ amino acids ที่มีอยู่ในชิ้นแแกนตะวัน โดยมีความร้อนในระหว่างการลวกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และการลวกจะมีผลทำให้สารตั้งต้นของปฏิกิริยาดังกล่าวออกมาจากโครงสร้างของชิ้นแแกนตะวันและทำปฏิกิริยากันมากขึ้น นอกจากนี้ Hughes *et al.* (1962) กล่าวว่า Non-enzymatic darkening reaction สามารถเกิดจากปฏิกิริยาระหว่าง iron และ phenolic acids เกิดเป็น Fe^{2+} complex และ o-diphenolic acid ซึ่งการลวกอาจจะมีผลทำให้สารตั้งต้นของปฏิกิริยาดังกล่าวออกมาจากโครงสร้างของตัวอย่างและทำปฏิกิริยากันมากขึ้น และเมื่อชิ้นแแกนตะวันที่ผ่านการลวกสัมผัสกับอากาศ Fe^{2+} complex จะเกิดการออกซิไดซ์เป็น Fe^{3+} bluish-gray ซึ่งมีสีน้ำเงินเทา

สำหรับลักษณะโครงสร้างของชิ้นแแกนตะวันที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบไอน้ำร้อน ยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120, 140 และ 160°C เป็นเวลา 6, 6 และ 4 ชั่วโมงตามลำดับ (5.1 e, f, g) จะเห็นได้ว่ามีพื้นผิวที่คล้ายกับยางเหนียว มีสีน้ำตาลเข้มมาก โดยเฉพาะกรณีที่ใช้อุณหภูมิ 160°C ซึ่งลักษณะปรากฏของตัวอย่างในลักษณะนี้ไม่เป็นที่ต้องการและไม่เหมาะสมต่อการผลิตแปงแแกนตะวันเพื่อการสกัดอินูลิน ซึ่งคาดว่ากระบวนการทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะของตัวอย่างให้เป็น Rubbery state ซึ่งมีลักษณะเป็นยางเหนียว เนื่องจากองค์ประกอบหลักภายในชิ้นแแกนตะวันคือ อินูลิน และน้ำตาลรีดิวซ์ ซึ่งจะเปลี่ยนสภาพเป็น Rubbery ได้ง่าย เพราะองค์ประกอบเหล่านี้มีค่า Glass transition temperature ต่ำ ส่วนสาเหตุที่ตัวอย่างมีสีน้ำตาลเข้มมาก เกิดจาก Non-enzymatic browning reaction ซึ่งมีความร้อนในระหว่างการทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา



(a)

ซิ่นแก่นตะวันสด (ไม่ลวก)



(b)

ซิ่นแก่นตะวัน (ลวก)



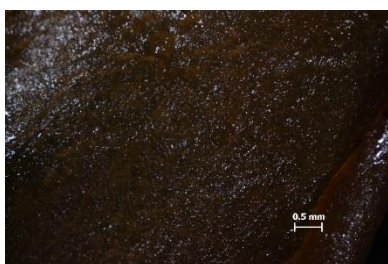
(c)

ซิ่นแก่นตะวัน (ไม่ลวก) อบแห้งด้วย
เครื่องอบแห้งแบบถาด
65 °C 6 ชั่วโมง



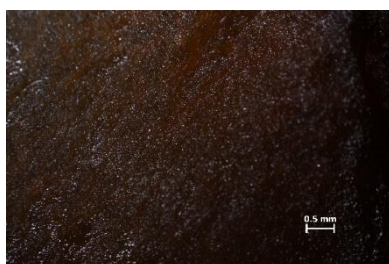
(d)

ซิ่นแก่นตะวัน (ลวก) อบแห้ง
ด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด
65 °C 6 ชั่วโมง



(e)

ซิ่นแก่นตะวันอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้ง
แบบไอน้ำร้อนยวดยิ่ง
120 °C 6 ชั่วโมง



(f)

ซิ่นแก่นตะวันอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้ง
แบบไอน้ำร้อนยวดยิ่ง
140 °C 6 ชั่วโมง



(g)

ซิ่นแก่นตะวันอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้ง
แบบไอน้ำร้อนยวดยิ่ง
160 °C 4 ชั่วโมง

ภาพผนวกที่ 5.1 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอไมโครสโคป (stereomicroscope) แสดงโครงสร้างของซิ่นแก่นตะวันสด (ไม่ลวก) (a), ซิ่นแก่นตะวัน (ลวก) (b), ซิ่นแก่นตะวัน (ไม่ลวก/ลวก) อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด 65 °C 6 ชั่วโมง (c, d) และ ซิ่นแก่นตะวันอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ 120 °C, 140 °C 6 ชั่วโมง และ 160 °C 4 ชั่วโมง (e, f, g)

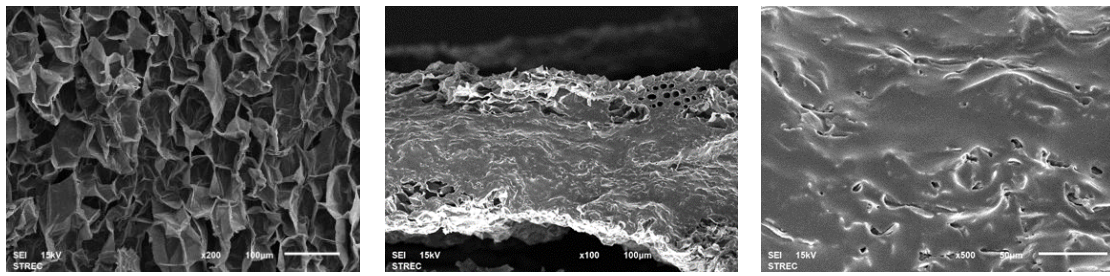
ผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope; SEM) ของตัวอย่างขึ้นแกนตะวันที 3, 4 และ 7 ถูกแสดงดังภาพผนวกที่ 5.2

จากภาพผนวกที่ 5.2 จะเห็นได้ว่า บริเวณพื้นผิวของขึ้นแกนตะวัน ทั้งกรณีที่ไม่ผ่านการลวกและผ่านการลวก ที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด (ดังภาพผนวกที่ 5.2 a, d) โครงสร้างของผนังเซลล์มีลักษณะเป็นรูปพรุนที่ชัดเจนและเล็ก และจากภาพตัดขวาง (ดังภาพผนวกที่ 5.2 b, e) จะเห็นได้ว่าขึ้นแกนตะวันอบแห้งที่ผ่านการลวกมีความบางมากกว่าขึ้นแกนตะวันที่ไม่ลวก ทั้งนี้เนื่องจากการลวกทำให้น้ำเยื่อของเซลล์อ่อนตัว เกิดการสูญเสียความแข็งแรงของโครงสร้างของผนังเซลล์ และมีรูปพรุนเกิดภายในขึ้นแกนตะวันมากกว่า โดยสังเกตได้จากภาพขยาย 500 เท่า ดังแสดงในภาพผนวกที่ 5.2 (c, f) ซึ่งรูปพรุนดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจากการแพร่ของความชื้นจากภายในออกสู่ภายนอกที่รวดเร็วระหว่างการอบแห้ง จากงานวิจัยของ Hiranvarachet *et al.* (2011) แสดงให้เห็นว่า เมื่อความชื้นเริ่มระเหยออกไปจากเซลล์ จะส่งผลให้ผนังเซลล์อ่อนตัวลง และเกิดการสูญเสียโครงสร้าง

สำหรับขึ้นแกนตะวันที่อบแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบไอน้ำร้อนยวดยิ่งนั้น พบว่าบริเวณผิวหน้าและภาพตัดขวางของขึ้นแกนตะวันจะมีลักษณะเป็นรูปพรุนน้อยกว่าตัวอย่างที่อบแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด ดังแสดงในภาพผนวกที่ 5.2 (g, h, i) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกระบวนการทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะของตัวอย่างให้เป็น Rubbery state ซึ่งมีลักษณะเป็นยางเหนียว โครงสร้างจึงมีรูปพรุนน้อย นอกจากนี้ในช่วงเริ่มต้นของการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง จะเกิดการควบแน่นของไอน้ำที่ผิวของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ปกติสำหรับการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง การที่ขึ้นแกนตะวันมีความชื้นสูงในช่วงเริ่มต้นเนื่องจากการควบแน่นร่วมกับการใช้อุณหภูมิของไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่สูงมาก จึงทำให้โครงสร้างบริเวณพื้นผิวเกิดลักษณะที่เป็น Rubbery state มากยิ่งขึ้น นอกจากนี้จากผลการศึกษาในภาคผนวกที่ 3 แสดงให้เห็นว่าอัตราการระเหยน้ำในระหว่างการทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่าต่ำมาก เมื่อเทียบกับการทำแห้งด้วยลมร้อนในเครื่องทำแห้งแบบถาด อัตราการระเหยน้ำที่ต่ำในระหว่างการทำแห้งก่อให้เกิดลักษณะโครงสร้างภายในขึ้นแกนตะวันที่มีความเป็นรูปพรุนน้อย เนื่องจากน้ำจะค่อย ๆ แพร่ผ่านช่องว่างระหว่างเซลล์ออกมาสู่พื้นผิวในระหว่างการทำแห้ง ในขณะที่การทำแห้งซึ่งมีอัตราการระเหยน้ำที่สูงจะเกิดแรงขับเคลื่อนเนื่องจาก

ผลต่างระหว่างความดันของน้ำภายในและบริเวณพื้นผิวของตัวอย่างมาก ส่งผลให้เกิดแรงดันที่ขยายช่องว่างภายในโครงสร้างของขึ้นแกนตะวันและเกิดเป็นรูพรุนมากขึ้น

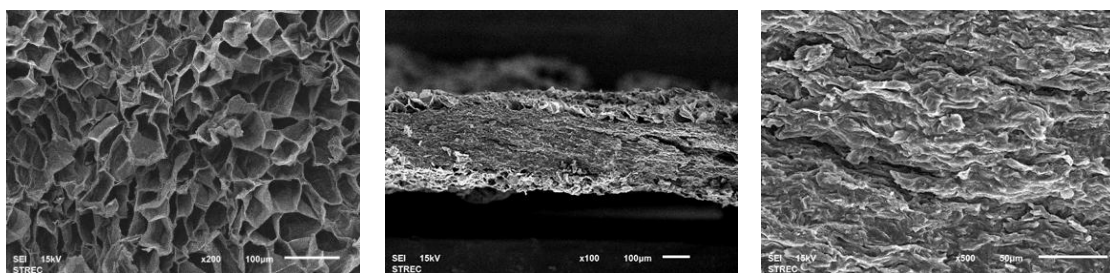


(a)

(b)

(c)

ชั้นแก๊สคาร์บอน (ไม่ลวก) อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด 65 °C 6 ชั่วโมง

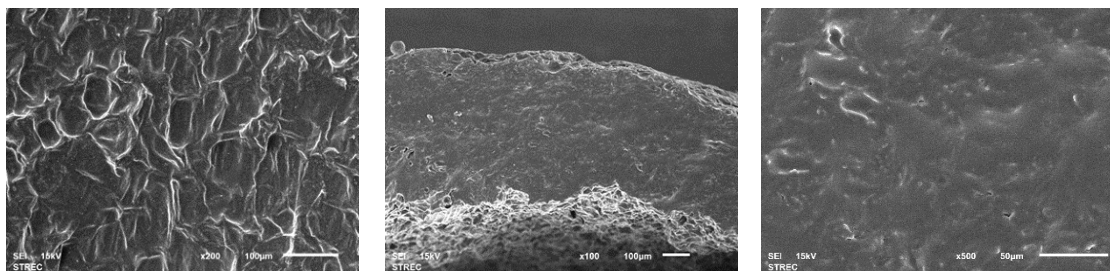


(d)

(e)

(f)

ชั้นแก๊สคาร์บอน (ลวก) อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด 65 °C 6 ชั่วโมง



(g)

(h)

(i)

ชั้นแก๊สคาร์บอนอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 160 °C 4 ชั่วโมง

ภาพผนวกที่ 5.2 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope; SEM) แสดงโครงสร้างของชั้นแก๊สคาร์บอน (ไม่ลวก/ลวก) ที่บริเวณผิวหน้า (100 เท่า) (a/d), ภาพตัดขวาง (100 เท่า) (b/e), ภาพตัดขวาง (500 เท่า) (c/f) เมื่ออบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด 65 °C 6 ชั่วโมง, และโครงสร้างของชั้นแก๊สคาร์บอนอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ 160 °C 4 ชั่วโมง ที่บริเวณผิวหน้า (100 เท่า) (g), ภาพตัดขวาง (100 เท่า) (h), ภาพตัดขวาง (500 เท่า) (i)

ภาคผนวกที่ 6

ผลการสกัดอินูลินจากหัวแก่นตะวันและการทำสารสกัดอินูลินให้บริสุทธิ์ พร้อมการทำสมดุลมวลสาร

หลังจากที่หัวแก่นตะวันผ่านกระบวนการทำแห้งและบดเป็นผงแล้ว นำแป้งแก่นตะวันที่ได้มาสกัดอินูลิน และนำสารสกัดที่ได้ไปผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ รวมทั้งทำสมดุลมวลสาร เพื่อหากระบวนการที่เหมาะสม ในการผลิตอินูลินผง

ผลการสกัดอินูลินจากแป้งแก่นตะวันพร้อมทั้งสมดุลมวลสาร

การทดลองสกัดอินูลินจากแป้งแก่นตะวันพร้อมทั้งคำนวณสมดุลมวลสารครั้งที่ 1

ในงานวิจัยนี้ได้มีการทดลองสกัดอินูลินจากแป้งแก่นตะวันด้วยแนวทางที่ได้มีการศึกษาไว้เบื้องต้น พร้อมทั้งคำนวณสมดุลมวลสารเพื่อตรวจสอบว่า มีการสูญเสียอินูลินในแต่ละขั้นตอนมากน้อยเพียงใด และ ปริมาณผลผลิตที่ได้ในรูปของ % Yield มีค่าเท่าใด เพื่อนำผลการวิเคราะห์ที่ได้ไปใช้ในการพัฒนากระบวนการ สกัดต่อไป ซึ่งกระบวนการสกัดพร้อมทั้งผลการคำนวณถูกแสดงดังภาพผนวกที่ 6.1

ในภาพผนวกที่ 6.1 ค่า % Loss ที่แสดงเป็นค่าการสูญเสียมวลสารที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนรวมการ สูญเสียทั้งส่วนที่เป็นน้ำและของแข็งเข้าด้วยกันเมื่อเปรียบเทียบกับมวลสารเริ่มต้นที่ป้อนเข้าไปสู่แต่ละขั้นตอน ซึ่งจากตัวเลข % Loss ที่เกิดขึ้น จะเห็นได้ว่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นมีค่ามากในขั้นตอนการเหวี่ยงแยกตะกอน ด้วย Basket centrifuge และ Refrigerated centrifuge นั่นคือมีค่าเท่ากับ 25.98% และ 22.25% ตามลำดับ ซึ่งสิ่งที่สูญเสียไปในสองขั้นตอนนี้ส่วนใหญ่คือตะกอนที่ไม่ละลายน้ำซึ่งถูกแยกออกมาจากน้ำสกัด ด้วยถุงกรองและกระดาษกรอง โดยหากพิจารณาถึงองค์ประกอบของหัวแก่นตะวันเริ่มต้นแล้ว พบว่าประกอบ ไปด้วยความชื้นประมาณ 80% และของแข็ง 20% โดยของแข็งนั้นประกอบไปด้วยอินูลิน 85% ถ้า 5% ส่วน ที่เหลือเป็นโปรตีนและองค์ประกอบอื่น ๆ (Fleming *et al.*, 1979) ดังนั้น ในแป้งแก่นตะวันซึ่งได้จากการนำ หัวแก่นตะวันไปอบแห้งคาดหมายได้ว่าองค์ประกอบเป็นอินูลินประมาณ 85% db นั่นเอง ดังนั้น หากตะกอน ของแข็งส่วนใหญ่ที่สูญเสียในขั้นตอนการเหวี่ยงแยกตะกอนก็จะมีส่วนที่เป็นอินูลินสูญเสียไปด้วย ยิ่งสูญเสีย ตะกอนมากก็จะมีอินูลินมากตามไปด้วย

สำหรับขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ด้วยคาร์บอนชั้นพบว่ามีการสูญเสียเกิดขึ้น 7.81% ซึ่งของแข็งที่ถูก กำจัดออกไปในขั้นตอนนี้เกิดจาก แคลเซียมออกไซด์ที่เติมลงไปในการสกัดแล้วเกิดปฏิกิริยากลายเป็น

แคลเซียมคาร์บอเนตก่อให้เกิดสภาวะที่สามารถตกตะกอนสิ่งเจือปนต่าง ๆ รวมถึงน้ำตาลโมเลกุลขนาดเล็กออกจากสารสกัดซึ่งเป็นของแข็งที่ต้องการกำจัดออกไปเพื่อให้สารสกัดอินูลินมีความบริสุทธิ์มากขึ้น ส่วนในขั้นตอนการเติมผงถ่านกัมมันต์แล้วมีการกรองผงถ่านออกก็มี % Loss สูงถึง 17.35% เนื่องจากการกรองด้วยกระดาษกรองที่มีรูพรุนหลายขนาด เพื่อกำจัดผงถ่านออกจากสารสกัด ทำให้ต้องกรองหลายรอบผ่านชุดกรองที่ต้องใช้ vacuum pump ซึ่งก็ก่อให้เกิดการสูญเสียมวลความชื้นและมวลของแข็งไปกับกระบวนการกรองดังกล่าว สุดท้ายเป็นขั้นตอนการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่ง % Loss ที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นการระเหยของมวลน้ำ ส่วนอินูลินผงที่ติดค้างอยู่ในเครื่องทำแห้งพบว่ามีปริมาณไม่มากนักเมื่อสังเกตด้วยสายตา

หากมองภาพรวมตลอดทั้งกระบวนการตั้งแต่วิธีขั้นตอนการสกัดจนถึงการทำแห้งเป็นผลิตภัณฑ์ผงพบว่าสามารถคำนวณค่า % Yield ของกระบวนการได้ดังนี้

$$\% \text{ Yield} = [\text{มวลผงอินูลินที่ได้สุดท้าย} / \text{มวลอินูลินที่อยู่ในแป้งแกล่นตะวันเริ่มต้นที่นำมาสกัด}] \times 100$$

แป้งแกล่นตะวัน 1,691 กรัม (มีความชื้น 8% wb)

$$\begin{aligned} \text{คิดเป็นมวลแห้ง (ของแข็งทั้งหมด)} &= ((100-8)/100) \times 1,691 \\ &= 1,555.7 \quad \text{กรัม} \end{aligned}$$

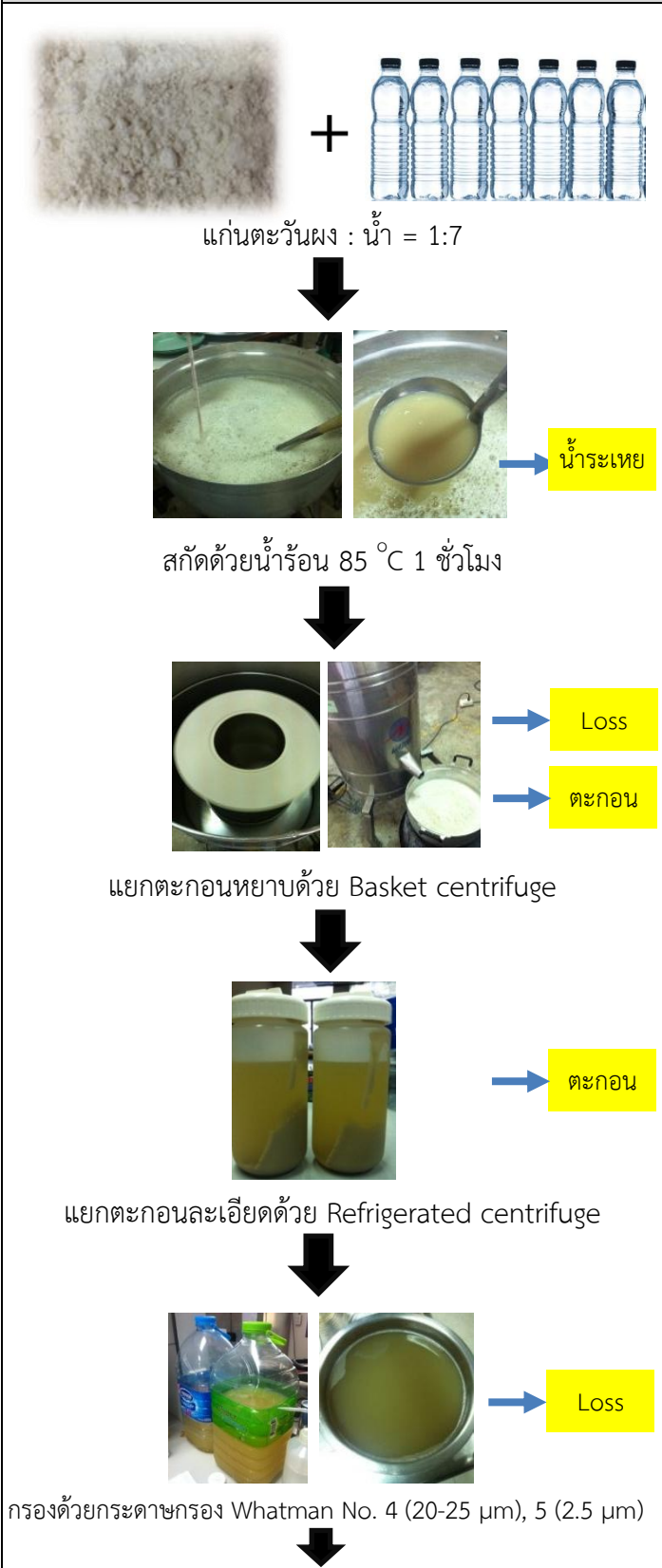
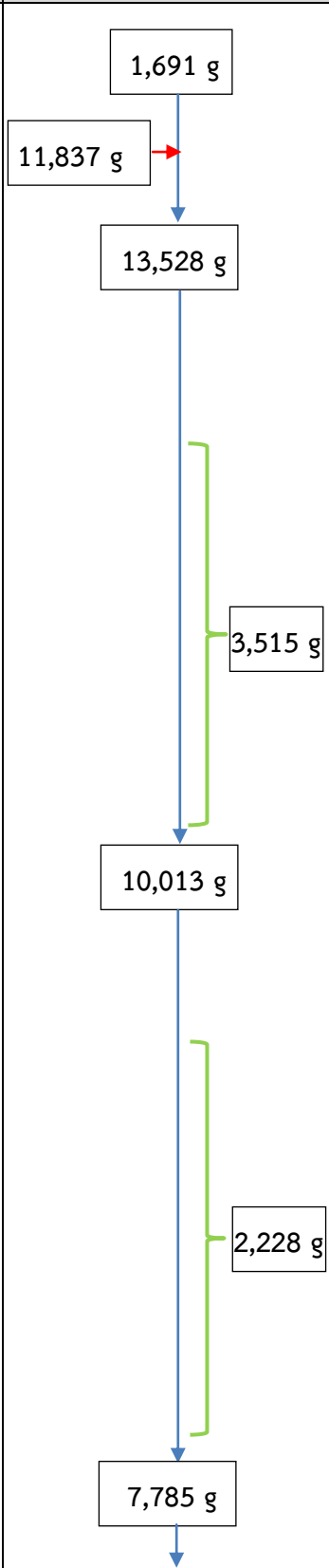
ถ้าของแข็งที่อยู่ในแป้งแกล่นตะวันเป็นอินูลิน 90% (Beirão-da-Costa et al., 2013)

$$\begin{aligned} \text{จากแป้งแกล่นตะวัน 1,691 กรัมจะมีอินูลิน} &= (90/100) \times 1,555.7 \\ &= 1,400 \quad \text{กรัม} \end{aligned}$$

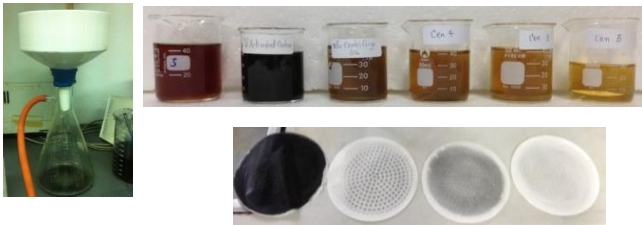
$$\text{มวลผงอินูลินที่ได้สุดท้ายหลังการทำแห้งแบบพ่นฝอย} = 536 \quad \text{กรัม}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น แทนค่าได้ } \% \text{ Yield} &= [536/1,400] \times 100 \\ &= 38.3\% \end{aligned}$$

ตารางผนวกที่ 6.1 การทำสมดุลมวลสารครั้งที่ 1

1. การสกัด	สมดุลมวลสาร	% Loss
 แก่นตะวันผง : น้ำ = 1:7 สกัดด้วยน้ำร้อน 85 °C 1 ชั่วโมง แยกตะกอนหยาดด้วย Basket centrifuge แยกตะกอนละเอียดด้วย Refrigerated centrifuge กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No. 4 (20-25 µm), 5 (2.5 µm)	 11,837 g 1,691 g 13,528 g 3,515 g 10,013 g 2,228 g 7,785 g	25.98% 22.25%

2. การทำให้บริสุทธิ์โดย Carbonation	สมดุลมวลสาร	% Loss
อุ่นน้ำสกัดให้มีอุณหภูมิ 80 °C เติมแคลเซียมออกไซด์ลงไป จนกระทั่ง pH น้ำสกัดคงที่ $\approx 10-12$ Loss เติม CO₂ ลงในน้ำสกัด จน pH ของน้ำสกัดเป็นกลางคือ 6.5-7 จึงหยุดเติม CO₂ ทิ้งไว้ให้เย็น แยกตะกอนละเอียดด้วย Refrigerated centrifuge ตะกอน กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No. 4 (20-25 μm), 5 (2.5 μm)	7,785 g 101 g 7,886 g 616 g 7,270 g	7.81%

3. การกำจัดสีและกลิ่นโดยผงถ่านกัมมันต์	สมดุลมวลสาร	% Loss
↓  เติมผงถ่านกัมมันต์ 5 % ลงในน้ำสกัดที่มีอุณหภูมิ 80 °C กวนตลอดเวลา 30 นาที ↓ → Loss กรองเอาผงถ่านออกด้วยกระดาษกรอง Whatman No.4, 1 และ 5 ↓ → ผงถ่าน เติมผงถ่านกัมมันต์ 5 % ลงในน้ำสกัด กวนตลอดเวลา 10 นาที หรือจนกว่าสีของน้ำสกัดจะจางลง ที่อุณหภูมิห้อง ↓ → Loss  กรองเอาผงถ่านออกด้วยกระดาษกรอง Whatman No.4, 1 และ 5 ↓ → ผงถ่าน	↓ 7,270 g 363.5 g 363.5 g 7,997 g 1,388 g 6,609 g ↓	17.35%

4. การทำแห้งแบบพ่นฝอย	สมดุลมวลสาร	% Loss
น้ำสกัดอินูลินน้ำตาลต่ำ น้ำระเหย ทำแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer) ที่มีอุณหภูมิลมเข้าและขาออกคือ 150 และ 90 °C อินูลินผงน้ำตาลต่ำจากแก่นตะวัน	6,609 g 6,073 g 536 g	91.89%

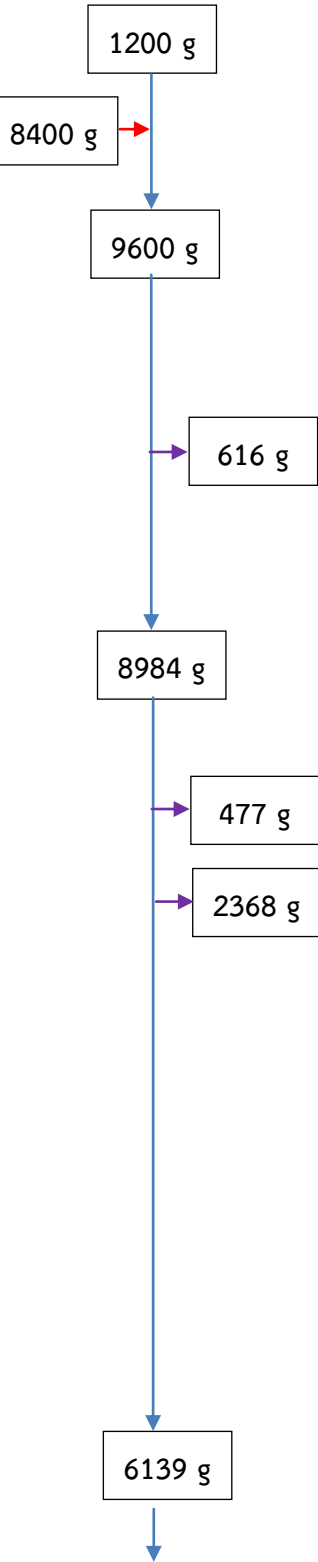
การทดลองสกัดอินูลินจากแป้งแค้นตะวันและการคำนวณสมมูลมวลสารครั้งที่ 2

จากผลการทดลองสกัดอินูลินจากแป้งแค้นตะวันพร้อมทั้งคำนวณสมมูลมวลสารครั้งที่ 1 ทำให้ทราบข้อมูลเกี่ยวกับ % Loss ที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนว่าเกิดขึ้นในขั้นตอนใดมาก และเมื่อมีการปรับปรุงกระบวนการที่ใช้ในการสกัดและการทำให้บริสุทธิ์จึงได้คำนวณสมมูลมวลสารอีกครั้ง เพื่อจะได้ทราบว่ากระบวนการที่มีการปรับปรุงมีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด โดยกระบวนการที่ใช้ในการสกัดและการทำให้บริสุทธิ์ครั้งที่ 2 ได้มีการปรับเปลี่ยนจากการทดลองครั้งที่ 1 ดังนี้

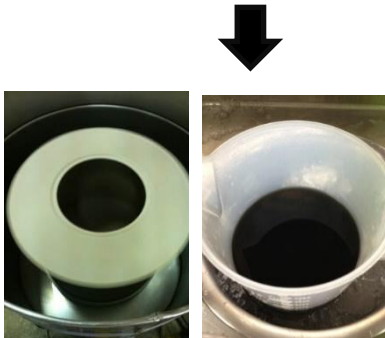
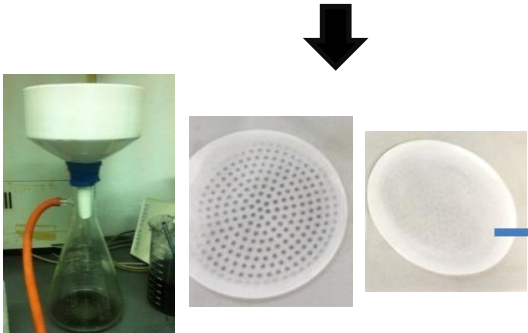
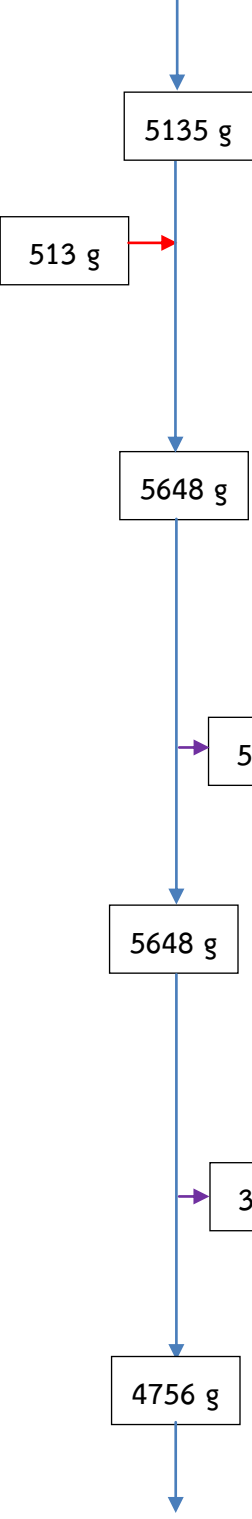
- ในขั้นตอนการสกัดด้วยน้ำร้อนเปลี่ยนมาใช้ถังที่มีใบพัดกวนและควบคุมอุณหภูมิด้วยชุดควบคุมอุณหภูมิแบบอิเล็กทรอนิกส์แทนการต้มแบบ Double jacket ด้วยเตาแก๊ส เพื่อให้มีความคล้อยคลึงกับการผลิตในเชิงพาณิชย์
- การแยกตะกอนในระหว่างขั้นตอนการสกัดและคาร์บอนเนชั่น จะใช้ Basket centrifuge ที่มีอุปกรณ์ขนาดละเอียดในการแยกตะกอนแทนการใช้ Bench-top refrigerated centrifuge และกระดาษกรอง เนื่องจากมีความเหมาะสมกับการผลิตในเชิงพาณิชย์มากกว่า จะมีเฉพาะขั้นตอนการกำจัดสีและกลิ่นที่ต้องใช้ Basket centrifuge ร่วมกับกระดาษกรองเพื่อกำจัดผงถ่านกัมมันต์ซึ่งมีขนาดเล็กมากออกจากสารสกัดให้มากที่สุด
- มีการเพิ่มกระบวนการทำให้บริสุทธิ์อีกหนึ่งขั้นตอนหลังจากการใช้ถ่านกัมมันต์กำจัดสีและกลิ่น คือ การใช้ Ion exchange resin เพื่อลดปริมาณแคลเซียมไอออนที่ตกค้างในสารสกัดเนื่องจากกระบวนการคาร์บอนเนชั่น

ซึ่งกระบวนการที่ใช้ในการสกัดและการทำให้บริสุทธิ์ครั้งที่ 2 พร้อมทั้งผลการคำนวณสมมูลมวลสารแสดงดังภาพผนวกที่ 6.2

ตารางผนวกที่ 6.2 การทำสมดุลมวลสารครั้งที่ 2

1. การสกัด	สมดุลมวลสาร	ปริมาณของแข็ง
 แกล่นตะวันผง : น้ำ = 1:7 สกัดด้วยน้ำร้อน 85 °C 1 ชั่วโมง ด้วยถังกวนควบคุมอุณหภูมิ แยกตะกอนด้วย Basket centrifuge ใช้ถุงกรองที่มีความละเอียด น้ำสกัดอินูลิน	 1200 g 8400 g 9600 g 616 g 8984 g 477 g 2368 g 6139 g	100% -31.5% 68.5%

2. การทำให้บริสุทธิ์โดย Carbonation	สมดุลมวลสาร	ของแข็ง
อุ่นน้ำสกัดให้มีอุณหภูมิ 80 °C เติมแคลเซียมออกไซด์ลงไป จนกระทั่ง pH น้ำสกัดคงที่ $\approx 10-12$ เติม CO₂ ลงในน้ำสกัด จน pH ของน้ำสกัดเป็นกลางคือ 6.5-7 จึงหยุดเติม CO₂ ทั้งหมดให้เย็น ตะกอน แยกตะกอนละเอียดด้วย Basket centrifuge	6139 g 45 g 6184 g 1050 g 5135 g	68.5% +3.7% 72.2% -26.9% 45.3%

3. การกำจัดสีและกลิ่นโดยผงถ่านกัมมันต์	สมดุลมวลสาร	ของแข็ง
 เติมผงถ่านกัมมันต์ 10 % ลงในน้ำสกัดที่มีอุณหภูมิ 80 °C กวนตลอดเวลา 30 นาที  ผงถ่าน แยกผงถ่านกัมมันต์ด้วย Basket centrifuge  ผงถ่าน กรองเอาผงถ่านออกด้วยกระดาษกรอง Whatman No.4, 1 และ 5	 <pre> graph TD A[5135 g] --> B[5648 g] C[513 g] --> B B --> D[5648 g] E[513 g] --> D D --> F[4756 g] G[379 g] --> F </pre>	45.3% +42.7% 88.1% -42.7% 45.3% -3.9% 41.4%

4. การทำให้บริสุทธิ์โดย ion exchange resin	สมดุลมวลสาร	ของแข็ง
นำน้ำสกัดมากรองผ่านเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดโซเดียม	4756 g	41.4%
5. การทำแห้งแบบพ่นฝอย		
น้ำสกัดอินูลินน้ำตาลต่ำ Solid loss ในเครื่องอบแห้ง และมวลน้ำระเหยออก ทำแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer) ที่มีอุณหภูมิลมเข้าและขาออกคือ 150 และ 90 °C อินูลินผงน้ำตาลต่ำจากแค้นตะวัน	4756 g 4485 g 271 g	41.4% -18.8% 22.6%

จากผลการทดลองสกัดอินูลินจากแป้งแค้นตะวันพร้อมทั้งคำนวณสมมูลมวลสารครั้งที่ 2 ดังแสดงในตารางผนวกที่ 6.2 นั้น ซึ่งหากมองภาพรวมตลอดทั้งกระบวนการตั้งแต่ขั้นตอนการสกัดจนถึงการทำแห้งเป็นผลิตภัณฑ์ผง พบว่าสามารถคำนวณค่า % Yield ของกระบวนการได้ตามขั้นตอนดังนี้

$$\% \text{ Yield} = [\text{มวลผงอินูลินที่ได้สุดท้าย} / \text{มวลอินูลินที่อยู่ในแป้งแค้นตะวันเริ่มต้นที่นำมาสกัด}] \times 100$$

ใช้แป้งแค้นตะวันเริ่มต้น 1,200 กรัม (มีความชื้น 8% wb)

$$\begin{aligned} \text{คิดเป็นมวลแห้ง (ของแข็งทั้งหมด)} &= ((100-8)/100) \times 1,200 \\ &= 1,104 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

ถ้าของแข็งนั้นเป็นอินูลิน 90% (Beirão-da-Costa et al., 2013)

$$\begin{aligned} \text{จากแป้งแค้นตะวันผง 1,200 กรัมจะมีอินูลิน} &= (90/100) \times 1,104 \\ &= 993.6 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

$$\text{มวลผงอินูลินที่ได้สุดท้ายหลังการทำแห้งแบบพ่นฝอย} = 271 \text{ กรัม}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น แทนค่าได้ \% Yield} &= [271/993.6] \times 100 \\ &= 27.3\% \end{aligned}$$

เมื่อเปรียบเทียบ % Yield ที่ได้จากการทดลองสกัดอินูลินจากแป้งแค้นตะวันพร้อมทั้งคำนวณสมมูลมวลสารทั้ง 2 ครั้งพบว่า การทดลองครั้งแรกได้ % Yield อินูลินผง 38.3% และครั้งที่ 2 ได้ 27.3% และจากการคำนวณสมมูลมวลสารครั้งที่ 2 พบว่าในขั้นตอนการแยกเหวี่ยงแยกตะกอนด้วย Basket centrifuge มีการสูญเสียของแข็งมากถึง 31.5% ซึ่งของแข็งในขั้นตอนนี้คือแป้งแค้นตะวันที่ละลายน้ำไม่หมด อีกทั้งตะกอนที่แยกออกมาจากการเหวี่ยงแยกกากนี้ไม่ได้นำมาสกัดอินูลินซ้ำ ดังนั้น กระบวนการสกัดนี้ต้องได้รับการพัฒนาเพื่อให้มีการสูญเสียอินูลินน้อยลง และเหลือตะกอนจากการสกัดน้อย เนื่องจากอินูลินสามารถละลายได้ในน้ำร้อน ในการทดลองที่ผ่านมาได้ใช้สัดส่วนของแป้งแค้นตะวันผงและน้ำร้อนที่ระดับ 1:7 ตามงานวิจัยของ กชกร (2554) ซึ่งอาจยังไม่เหมาะสม ในการทดลองต่อไปจึงได้ศึกษาอัตราส่วนของแป้งแค้นตะวันผงและน้ำที่เหมาะสมในการสกัดอินูลินต่อไป

การทดลองหาอัตราส่วนการสกัดของแก๊นตะวันผงและน้ำที่เหมาะสม

ในการศึกษาอัตราส่วนของแก๊นตะวันและน้ำที่เหมาะสมในการสกัดอินูลินนั้น ได้กำหนดสภาวะที่ใช้ในการทดลองคือ อัตราส่วนแก๊นตะวันต่อน้ำร้อนที่ 1:20, 1:25, 1:30, 1:35, 1:40 และ 1:45 อุณหภูมิและเวลาในการสกัด 2 สภาวะ คือ 85 °C 30 นาที และ 85 °C 1 ชั่วโมง ทดลองในระดับห้องปฏิบัติการโดยให้ความร้อนด้วย Water bath แบบที่มี Shaker โดยอุ่นน้ำในภาชนะ (Flask) ให้มีอุณหภูมิ 85 °C แล้วจึงเติมแก๊นตะวันลงไป เขย่าตลอดเวลา เมื่อครบเวลาในการสกัด นำสารสกัดที่ได้ไปกรองโดยชุดกรองที่มีกระดาษกรอง Whatman No.4 (ความละเอียด 20-25 µm) ซึ่งน้ำหนักร่างที่สกัดได้ไปกรองได้ ตะกอนที่เหลืออยู่บนกระดาษกรอง และนำไปคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ของส่วนสารสกัดที่กรองได้ (Permeate) ตะกอนที่เหลือ (Retentate) และการสูญเสียที่เกิดขึ้นในการกรอง (Loss) โดย

$$\text{Permeate} = \left[\frac{\text{น้ำหนักสารสกัดที่กรองได้}}{\text{น้ำหนักของแก๊นตะวันและน้ำเริ่มต้น}} \right] \times 100$$

$$\text{Retentate} = \left[\frac{\text{น้ำหนักตะกอนที่เหลืออยู่บนกระดาษกรอง}}{\text{น้ำหนักของแก๊นตะวันและน้ำเริ่มต้น}} \right] \times 100$$

$$\text{Loss} = \left[\frac{\text{น้ำหนักของแก๊นตะวันและน้ำเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักสารสกัดที่กรองได้} - \text{น้ำหนักตะกอนที่เหลืออยู่บนกระดาษกรอง}}{\text{น้ำหนักของแก๊นตะวันและน้ำเริ่มต้น}} \right] \times 100$$

วัดค่าบrixของสารสกัดที่ได้เพื่อนำมาประเมินค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนที่ละลายได้ (Solubility) จากสูตร

$$\text{Solubility (\%)} = \frac{[(\text{°Brix}/100) \times \text{น้ำหนักของสารสกัดได้}]}{\text{น้ำหนักของแก๊นตะวันเริ่มต้น}} \times 100$$

ตารางผนวกที่ 6.3 เปอร์เซ็นต์ของส่วนสารสกัดที่กรองได้ (Permeate), ตะกอนที่เหลือ (Retentate), การสูญเสียที่เกิดขึ้นในการกรอง (Loss) และค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนที่ละลายได้ (Solubility) ที่ประเมินจากค่า °Brix ของสารสกัด

JA:Water	Condition	Permeate (%)	Retentate (%)	Loss (%)	°Brix	Solubility (%)
1:20	85 °C 30 min	72.68 ± 10.14	19.33 ± 7.49	7.99 ± 10.14	3.5-4	56.86 ^{bc} ± 2.58
1:25	85 °C 30 min	80.72 ± 8.55	14.84 ± 6.42	4.44 ± 2.13	3.0	62.96 ^b ± 6.66
1:30	85 °C 30 min	88.42 ± 0.39	9.06 ± 0.40	2.52 ± 0.01	2.8	76.75 ^a ± 0.33
1:35	85 °C 30 min	90.10 ± 0.51	7.69 ± 0.49	2.21 ± 0.02	2.5	82.70 ^a ± 1.82
1:40	85 °C 30 min	92.27 ± 1.05	6.79 ± 0.26	0.94 ± 0.79	2.0	75.66 ^a ± 0.85
1:45	85 °C 30 min	84.71 ± 8.36	5.66 ± 0.25	9.63 ± 8.12	1.9	74.04 ^a ± 7.30
1:20	85 °C 1 h	71.27 ± 2.57	21.40 ± 1.69	7.34 ± 0.88	3.5	52.38 ^c ± 1.89
1:25	85 °C 1 h	81.06 ± 0.96	15.27 ± 1.67	3.68 ± 0.71	3.0	63.23 ^b ± 0.75
1:30	85 °C 1 h	86.88 ± 2.78	11.25 ± 1.66	1.87 ± 1.12	2.8	75.42 ^a ± 2.41

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ค่าตัวเลขที่แสดงผลในตารางมาจากการทดลอง 3 ซ้ำ

จากผลการทดลองในตารางผนวกที่ 6.3 แสดงให้เห็นว่า การใช้ระยะเวลาในการสกัด 30 นาทีหรือ 1 ชั่วโมง ที่อัตราส่วนแบ่งแก่นตะวันต่อน้ำร้อนระดับเดียวกันให้ค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนที่ละลายได้ (Solubility) ในสารสกัดอินูลินไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น จึงเลือกที่จะใช้ระยะเวลาในการสกัดที่สั้น คือ 30 นาที สำหรับอัตราส่วนน้ำร้อนที่ใช้พบว่า การใช้ในอัตราส่วน 30 – 45 ต่อน้ำหนักแบ่งแก่นตะวันให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของส่วนที่ละลายได้ (Solubility) ในระดับที่ใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม ในการทดลองต่อไปจะเลือกใช้อัตราส่วน 1:35 เนื่องจากให้ค่า Solubility ที่สูงที่สุด

ภาคผนวกที่ 7

ผลการวิเคราะห์หาองค์ประกอบในแป้งแค้นตะวัน สารสกัดอินูลิน และอินูลินผง

สารสกัดที่ได้จากการนำแป้งแค้นตะวันมาสกัดอินูลินและสารสกัดหลังจากผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ถูกนำมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบโดยใช้

- (1) Proximate analysis (AOAC, 2000) เพื่อหาปริมาณองค์ประกอบหลักแต่ละตัว
- (2) Spectrophotometer เพื่อหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดและปริมาณ Reducing sugar content
- (3) HPLC method (Zhi-fu et al., 2009) เพื่อหาปริมาณ Sucrose, Fructose, Glucose, Fructooligosaccharide (DP = 3-5) และอินูลิน

ผลการวิเคราะห์หาองค์ประกอบโดยใช้วิธี Proximate analysis

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธี Proximate analysis ทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบในตัวอย่างต่อไปนี้

- 1) แป้งแค้นตะวันที่ได้จากหัวแค้นตะวันที่ไม่ปอกเปลือก
- 2) เปลือกแค้นตะวันผ่านการลวก
- 3) อินูลินผง (Basket centrifuge) ซึ่งหมายถึง อินูลินผงที่เตรียมโดยใช้แป้งแค้นตะวันบดทั้งเปลือกมาสกัดกับน้ำร้อนในอัตราส่วน 1:35 ที่อุณหภูมิ 85 °C 30 นาที นำไปแยกตะกอนด้วย Basket centrifuge และทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย
- 4) อินูลินผง (Carbonation + Activated carbon + resin) หมายถึง อินูลินผงที่เตรียมจากแป้งแค้นตะวันที่ไม่ปอกเปลือก สกัดด้วยน้ำร้อนในอัตราส่วน 1:7 ที่อุณหภูมิ 85 °C 1 ชั่วโมง นำไปแยกตะกอนด้วย Basket centrifuge และทำให้บริสุทธิ์ด้วยคาร์บอนชั้น การกำจัดสีและกลิ่นด้วยผงถ่านกัมมันต์ และกำจัดแคลเซียมไอออนด้วย Ion exchange resin

ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางผนวกที่ 7.1 จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบหลักของแป้งแค้นตะวัน เปลือกแค้นตะวัน และอินูลินผง คือคาร์โบไฮเดรต ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นอินูลินนั่นเอง การที่เปลือกของแค้นตะวันมีปริมาณองค์ประกอบต่าง ๆ คล้ายคลึงกับแป้งแค้นตะวันบดทั้งเปลือกบ่งบอกว่า ไม่ควร

ปอกเปลือกของหัวแ่งตะวันออกในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเนื่องจากที่เปลือกของแ่งตะวันน่าจะมียีนปริมาณอินูลินอยู่มาก สำหรับอินูลินผง (Basket centrifuge) จะเห็นได้ว่ามีค่าปริมาณ Fiber ลดลงกว่าแ่งตะวันมาก แสดงให้เห็นว่าขั้นตอนการสกัด และแยกกากตะกอนออกด้วย Basket centrifuge สามารถลดปริมาณ Fiber ได้ เนื่องจาก Fiber เป็นส่วนที่ไม่ละลายน้ำ จึงน่าจะปนอยู่ในกากตะกอนที่อยู่ในถุงกรองของ Basket centrifuge ในส่วนของอินูลินผง (Carbonation + Activated carbon + resin) พบว่ามีปริมาณโปรตีนและ Fiber ลดลงกว่าอินูลินผง (Basket centrifuge) แสดงให้เห็นว่ากระบวนการคาร์บอนเนชั่นสามารถกำจัดโปรตีนที่ปะปนอยู่ในสารสกัดได้มาก และขั้นตอนการกรองตัวอย่างหลังจากใช้ Activated carbon และการกรองด้วย Resin ช่วยลดปริมาณ Fiber ในสารสกัดได้ แต่จะเห็นว่าหลังผ่านกระบวนการคาร์บอนเนชั่นปริมาณเถ้าจะเพิ่มขึ้น ซึ่งคาดว่าเกิดจากการเติมแคลเซียมออกไซด์ในกระบวนการคาร์บอนเนชั่นซึ่งอาจทำให้มีแคลเซียมไฮดรอกไซด์ค้างอยู่ในสารสกัด ถึงแม้ว่าจะมีการนำสารสกัดไปกรองผ่านเรซิน แต่กลไกการทำงานของเรซินเป็นการแลกเปลี่ยนประจุของ Ion exchange resin ซึ่งเป็นชนิดโซเดียม กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ทำให้ในน้ำสกัดมีความกระด้าง (Total hardness) ลดลง แต่จะมีปริมาณโซเดียม ซึ่งแลกเปลี่ยนประจุมาจากเรซินเพิ่มเข้ามาในสารสกัด เมื่อนำไปทำแห้งและวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (Ash) จึงพบว่าอินูลินผงมีปริมาณเถ้าไม่ลดลง

ตารางผนวกที่ 7.1 องค์ประกอบของแ่งตะวัน เปลือกแ่งตะวัน และอินูลินผง

Sample	Proximate result (% wb)					
	Moisture	Lipid	Ash	Protein	CHO	Fiber
แ่งตะวันบดทั้งเปลือก	4.98	0.71	3.46	11.3	79.55	9.50
เปลือกแ่งตะวันที่ลวก	6.71	0.51	5.35	12.4	75.03	10.66
อินูลินผง (Basket centrifuge)	6.36	0.39	4.00	6.49	82.77	1.08
อินูลินผง (Carbonation + Activated carbon + resin)	4.44	0.10	5.61	1.9	87.95	0.56

หมายเหตุ : การวิเคราะห์หา 1) ความชื้นอ้างอิงตาม AOAC (2005), 925.45 (B) 2) ไขมัน AOAC 2003.05 3) เถ้า AOAC (2005) 923.03 4) โปรตีน (Nx6.25) In-house method based on AOAC (2005), 991.20 5) Ralph Shapiro, 1995. Nutrition Labeling Handbook. Maroel Dekker, Inc. New York 6) ไฟเบอร์ AOAC 2002.04

ผลการวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดและ Reducing sugar โดยใช้ Spectrophotometer

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ Spectrophotometer เพื่อหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดและปริมาณ Reducing sugar content ในสารละลายจากแป้งแค้นตะวันและน้ำสกัดอินูลินในขั้นตอนต่าง ๆ โดยในการเตรียมตัวอย่างสารละลายจากแป้งแค้นตะวันมีหลักการดังนี้ เนื่องจากน้ำสกัดอินูลินที่ได้จากแต่ละขั้นตอนมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ซึ่งวัดด้วย Refractometer อยู่ในช่วงประมาณ 8-10 °Brix ในการเตรียมสารละลายเริ่มต้นจากแป้งแค้นตะวันจึงใช้ผงแป้งจำนวน 1 กรัม แล้วเติมน้ำกลั่น 9 ml เพื่อให้ได้สารละลายที่มีความเข้มข้นประมาณ 10 °Brix ซึ่งจะช่วยให้สามารถเปรียบเทียบผลการวัดระหว่างแต่ละตัวอย่างได้ เนื่องจากตัวอย่างเริ่มต้นมีค่าความเข้มข้นอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน แล้วจึงนำสารละลายดังกล่าวพร้อมทั้งน้ำสกัดไปวัดค่าต่าง ๆ ต่อไป

ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางผนวกที่ 7.2 จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าปริมาณ Reducing sugar ลดลงอย่างมากเมื่อตัวอย่างผ่านกระบวนการคาร์บอนขึ้น ส่วนปริมาณ Total carbohydrate ไม่เปลี่ยนแปลงมากนักระหว่างที่ตัวอย่างผ่านขั้นตอนต่าง ๆ ในการสกัดอินูลินและทำให้บริสุทธิ์ เนื่องจากปริมาณคาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่คืออินูลิน

ตารางผนวกที่ 7.2 ปริมาณ Reducing sugar และ Total carbohydrate ของสารละลายจากแป้งแกล่นตะวัน และน้ำสกัดอินูลินในขั้นตอนต่าง ๆ

Sample	Reducing sugar (g/L)	Total carbohydrate (g/L)
JA_lab	4.95 ^c ± 0.21	94.17 ^s ± 0.15
JA_lab 100 mesh	6.39 ^b ± 0.34	128.10 ^b ± 0.17
JA_สถาบันอาหาร	12.28 ^a ± 0.88	100.78 ^f ± 0.09
หลังการ Basket centrifuge	5.24 ^c ± 0.19	129.32 ^a ± 0.15
หลังการ carbonation	1.26 ^{de} ± 0.21	108.04 ^e ± 0.04
หลังการเติม activated carbon	0.78 ^e ± 0.18	109.94 ^d ± 0.04
Resin 5	0.54 ^e ± 0.16	112.17 ^c ± 0.26
Resin 10	0.56 ^e ± 0.11	109.92 ^d ± 0.11
Resin 25	1.80 ^d ± 0.24	60.98 ^h ± 0.11

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวดิ่งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ค่าที่แสดงในการทดลองเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

JA lab คือ น้ำสกัดจากแกล่นตะวันผงที่เตรียมจากห้องปฏิบัติการ ในอัตราส่วนผง : น้ำ เท่ากับ 1:7

JA lab 100 mesh คือ น้ำสกัดจากแกล่นตะวันผงที่เตรียมจากห้องปฏิบัติการร่อนผ่านตะแกรง 100 mesh แล้ว สกัดในอัตราส่วนผง : น้ำ เท่ากับ 1:7

JA_สถาบันอาหาร คือ น้ำสกัดจากแกล่นตะวันผงที่เตรียมจากสถาบันอาหาร สกัดในอัตราส่วนผง : น้ำ เท่ากับ 1:7

Resin 5 คือ น้ำสกัดอินูลิน (carbonation + activated carbon + resin 5 cycles)

Resin 10 คือ น้ำสกัดอินูลิน (carbonation + activated carbon + resin 10 cycles)

Resin 25 คือ น้ำสกัดอินูลิน (carbonation + activated carbon + resin 25 cycles)

ผลการวิเคราะห์หาองค์ประกอบโดยใช้ HPLC

นอกจากการใช้ Spectrophotometer เพื่อหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดและปริมาณ Reducing sugar content แล้ว ยังมีการใช้ HPLC เพื่อหาปริมาณ Sucrose, Fructose, Glucose, Fructooligosaccharide (DP = 3-5) และอินูลิน ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางผนวกที่ 6.3

โครงสร้างของอินูลินเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ประกอบด้วยน้ำตาลฟรักโทสเชื่อมต่อกันด้วยเส้นตรงด้วยพันธะปีตา 2,1 ของฟรักโทส ปลายสุดด้านหนึ่งอาจมีโมเลกุลของกลูโคส 1 หน่วยที่เชื่อมต่อกับโมเลกุลของฟรักโทสในลักษณะการเชื่อมภายในโมเลกุลของซูโครส อินูลินมีโครงสร้างส่วนใหญ่เป็น GF_n และโครงสร้าง

แบบ F_m บ้างเล็กน้อย อินูลินมีค่า Degree of polymerization (DP) ตั้งแต่ 2-60 หรือมากกว่า 60 (กชกร, 2554) สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณอินูลินดัดแปลงจากวิธีของ Hermann *et al.* (1998) และ Raessler *et al.* (2008) วิธีนี้เป็นวิธีการวัดผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยอินูลินเป็นน้ำตาลมอนอแซ็กคาไรด์ (กลูโคสและฟรักโทส) โดยการย่อยอินูลินจะใช้วิธีการย่อยด้วยกรดแล้ววัดปริมาณน้ำตาลกลูโคสและฟรักโทสที่เกิดขึ้น ซึ่งเมื่อทราบปริมาณกลูโคสและฟรักโทสก่อน (G_{free} , F_{free}) และหลังการย่อยด้วยกรด (G_{total} , F_{total}) การสูญเสีย น้ำที่เกิดขึ้นจากการย่อยโมเลกุลซูโครสเป็นกลูโคสและฟรักโทสก็จะสามารถคำนวณกลูโคสและฟรักโทสที่ถูกย่อยออกมาจากฟรักแทน (Fructans) สายยาวได้ (Hermann *et al.*, 1998) ดังสมการ

$$G_{Fructans} = G_{total} - G_{free} - S/1.9$$

$$F_{Fructans} = F_{total} - F_{free} - S/1.9$$

ค่าเฉลี่ยของ Degree of polymerization (DP) หาได้จากสมการ

$$DP = F_{Fructans} / G_{Fructans} + 1$$

และปริมาณของ Fructans ในตัวอย่างคำนวณได้จาก

$$Fructans = C (F_{Fructans} + G_{Fructans})$$

ซึ่งค่า C คือ ค่าสมมูลการย่อยสลายอินูลินด้วยน้ำ มีค่าเท่ากับ 0.91

ผลการวิเคราะห์ปริมาณ Fructans และค่า DP เฉลี่ยของสารละลายจากแป้งแค้นตะวันและน้ำสกัดอินูลินในขั้นตอนต่าง ๆ แสดงดังตารางผนวกที่ 7.4 จากผลการคำนวณแสดงให้เห็นว่าปริมาณ Fructans มีค่าน้อยกว่าค่า Total carbohydrate ในตารางผนวกที่ 7.2 เล็กน้อย แสดงว่าคาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่ในตัวอย่างคืออินูลิน นอกจากนี้ค่า DP เฉลี่ยของอินูลินในตัวอย่างพบว่าอยู่ในช่วง 7.26 – 9.87 ซึ่งอยู่ในช่วงเดียวกับอินูลินทางการค้าเกรด Orafiti[®] HSI ซึ่งมีค่า DP < 10

ตารางผนวกที่ 7.3 ปริมาณน้ำตาลและพรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์ (FOS) ของสารละลายจากแป้งแค้นตะวัน และน้ำสกัดอินูลินในขั้นตอนต่าง ๆ

Treatment	Composition (g/L)							
	fructose	glucose	sucrose	GF2	GF3	GF4	G _{total}	F _{total}
JA_lab	3.76	0.91	12.92	8.37	8.55	5.32	19.89	86.77
JA_lab 100 mesh	3.72	0.82	14.06	9.10	9.24	6.10	21.18	96.72
JA_สถาบันอาหาร	8.74	0.93	15.49	8.61	7.15	4.49	19.91	95.29
หลังการ Basket centrifuge	3.48	0.00	13.77	9.83	7.76	5.62	18.48	97.14
หลังการ carbonation	1.21	0.57	15.20	11.13	8.29	5.99	18.80	96.98
หลังการเติม activated carbon	0.00	0.00	13.42	9.96	7.82	5.42	22.46	116.79
Resin 5	2.43	1.02	12.20	8.80	6.97	4.97	15.92	84.06
Resin 10	2.41	0.63	11.72	8.81	7.21	4.79	23.05	118.75
Resin 25	1.30	1.01	7.67	5.50	4.82	2.97	11.69	52.95

หมายเหตุ : GF2, GF3 และ GF4 หมายถึง 1-Kestose, Nystose และ Fructofuranosyl nystose

G_{total} และ F_{total} หมายถึง glucose และ fructose ทั้งหมดที่ได้จากการย่อยอินูลินด้วยกรด

JA lab คือ น้ำสกัดจากแค้นตะวันผงที่เตรียมจากห้องปฏิบัติการ ในอัตราส่วนผง : น้ำ เท่ากับ 1:7

JA lab 100 mesh คือ น้ำสกัดจากแค้นตะวันผงที่เตรียมจากห้องปฏิบัติการร่อนผ่านตะแกรง 100 mesh แล้ว
สกัดในอัตราส่วนผง : น้ำ เท่ากับ 1:7

JA_สถาบันอาหาร คือ น้ำสกัดจากแค้นตะวันผงที่เตรียมจากสถาบันอาหาร สกัดในอัตราส่วนผง : น้ำ เท่ากับ 1:7

Resin 5 คือ น้ำสกัดอินูลิน (carbonation + activated carbon + resin 5 cycles)

Resin 10 คือ น้ำสกัดอินูลิน (carbonation + activated carbon + resin 10 cycles)

Resin 25 คือ น้ำสกัดอินูลิน (carbonation + activated carbon + resin 25 cycles)

ค่าที่แสดงในการทดลองเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ

ตารางผนวกที่ 7.4 ปริมาณ Fructans และค่า DP เฉลี่ยของสารละลายจากแป้งแค้นตะวันและน้ำสกัดอินูลิน
ในขั้นตอนต่าง ๆ

Treatment	Content (g/L)			Average DP
	G _{fructans}	F _{fructans}	Fructans	
JA_lab	12.18	76.21	80.76	7.26
JA_lab 100 mesh	12.96	85.60	90.00	7.60
JA_สถาบันอาหาร	10.82	78.39	81.38	8.24
หลังการ Basket centrifuge	11.24	86.41	89.01	8.69
หลังการ carbonation	10.24	87.78	89.23	9.58
หลังการเติม activated carbon	15.40	109.73	114.15	8.13
Resin 5	8.48	75.21	76.17	9.87
Resin 10	16.26	110.18	115.42	7.78
Resin 25	6.64	47.61	49.49	8.17

จากผลการทดลองในภาคผนวกที่ 6 และ 7 แสดงให้เห็นว่า กระบวนการที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้สามารถสกัดอินูลินจากหัวแค้นตะวันได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถช่วยให้สารสกัดอินูลินมีความบริสุทธิ์มากขึ้นได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยแนวทางในการผลิตผงอินูลินจากแค้นตะวันสามารถแบ่งออกเป็น 1) การผลิตผงอินูลินโดยไม่ใช้กระบวนการ carbonation ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีปริมาณ reducing sugar สูง และ 2) การผลิตผงอินูลินโดยใช้กระบวนการ carbonation ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีปริมาณ reducing sugar ต่ำ อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยได้ศึกษาทดลองแนวทางอื่นในการกำจัดสีและกลิ่นโดยผงถ่านกัมมันต์ และการลดปริมาณแคลเซียมที่ตกค้างในสารสกัดอินูลินด้วยเรซิน เพื่อให้เหมาะสมกับการผลิตในระดับนำร่องมากยิ่งขึ้น ดังรายละเอียดในภาคผนวกที่ 8

ภาคผนวกที่ 8

การพัฒนาแนวทางการกำจัดสีและกลิ่นโดยผงถ่านกัมมันต์และการลดปริมาณแคลเซียมด้วยเรซิน เพื่อเป็น แนวทางสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตระดับนําร่อง

ถึงแม้ว่ากระบวนการสกัดอินูลินจากหัวแก่้นตะวันและการทำสารสกัดอินูลินให้บริสุทธิ์ ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้และถูกแสดงรายละเอียดในภาคผนวกที่ 6 และ 7 จะสามารถสกัดอินูลินจากหัวแก่้นตะวันได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถช่วยให้สารสกัดอินูลินมีความบริสุทธิ์มากขึ้นได้อย่างมีนัยสำคัญ แต่กระบวนการดังกล่าวยังไม่เหมาะสมกับการผลิตในระดับนําร่อง หากพิจารณาในส่วนของการขั้นตอนการกำจัดสีและกลิ่นโดยผงถ่านกัมมันต์ และการลดปริมาณแคลเซียมที่ตกค้างในสารสกัดอินูลินด้วยเรซิน เนื่องจากผู้วิจัยใช้อุปกรณ์ที่มีลักษณะเป็นโถกรองสุญญากาศซึ่งสามารถใช้ได้กับตัวอย่างในปริมาณน้อยในการกรองแต่ละครั้งและต้องมีการเปลี่ยนกระดาษกรองบ่อยครั้ง ทำให้เกิดความสิ้นเปลืองและเสียเวลามาก ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้พยายามศึกษาทดลองหาแนวทางอื่นในการกำจัดสีและกลิ่นโดยผงถ่านกัมมันต์ และการลดปริมาณแคลเซียมที่ตกค้างในสารสกัดอินูลินด้วยเรซิน ที่มีความเหมาะสมกับการผลิตในระดับนําร่องมากยิ่งขึ้น ดังรายละเอียดในบทนี้

กระบวนการสกัดอินูลินจากหัวแก่้นตะวันและการทำสารสกัดอินูลินให้บริสุทธิ์ที่ถูกพัฒนาเพื่อให้ความเหมาะสมกับการผลิตในระดับนําร่องมากยิ่งขึ้น พร้อมการทำสมดุลมวลสาร ถูกแสดงในตารางผนวกที่ 8.1-8.3 โดยกระบวนการนี้จะถูกเปรียบเทียบกับกระบวนการผลิตอินูลินผงที่ได้ศึกษาไปก่อนหน้านี้ ดังตารางผนวกที่ 6.2 ซึ่งประกอบด้วย 1) กระบวนการสกัดแบ่งแก่้นตะวันด้วยน้ำร้อน (อัตราส่วนแบ่งแก่้นตะวัน : น้ำ เท่ากับ 1:7) โดยใช้ถังกวนควบคุมอุณหภูมิ 2) กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ประกอบด้วยคาร์บอนชั้น การกำจัดสีและกลิ่นด้วยถ่านกัมมันต์ และใช้ Ion exchange resin เพื่อลดปริมาณแคลเซียมไอออนที่ตกค้างในสารสกัดเนื่องจากกระบวนการคาร์บอนชั้น โดยใช้อุปกรณ์โถกรองสุญญากาศ 3) การทำให้เป็นผงแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งจากตารางผนวกที่ 6.2 จะเห็นได้ว่า ปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์อินูลินผงน้ำตาลต่ำจากแก่้นตะวันเปรียบเทียบกับปริมาณของแข็งที่มีอยู่ในวัตถุดิบผงแก่้นตะวันเริ่มต้น มีค่าเท่ากับ 22.6% ในขณะที่กระบวนการสกัดอินูลินจากหัวแก่้นตะวันและการทำสารสกัดอินูลินให้บริสุทธิ์ที่ถูกพัฒนาเพื่อให้ความเหมาะสมกับการผลิตในระดับนําร่องมากยิ่งขึ้น ที่ถูกแสดงในตารางผนวกที่ 8.1-8.3 ซึ่งประกอบด้วย 1) กระบวนการสกัดแบ่งแก่้นตะวันด้วยน้ำร้อน (อัตราส่วนแบ่งแก่้นตะวัน : น้ำ เท่ากับ 1:35)

โดยใช้ถังควบคุมอุณหภูมิและใช้ถุงกรองที่มีความละเอียดมากขึ้น คือ polypropylene-fabric multifil bag model F254-3 (บริษัทแคนิว อินเตอร์เนชั่นแนล เทคดิง จำกัด, ประเทศไทย) โดยนำสารสกัดที่กรองได้มากรองซ้ำผ่านถุงกรองเดิมอีกรวมทั้งหมด 3 รอบ 2) กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ประกอบด้วยการคาร์บอนขึ้น การกำจัดสีและกลิ่นด้วยถ่านกัมมันต์ และใช้ Ion exchange resin เพื่อลดปริมาณแคลเซียมไอออนที่ตกค้างในสารสกัดเนื่องจากกระบวนการคาร์บอนขึ้น โดยในการกำจัดแคลเซียมไอออนที่ตกค้างในสารสกัดรวมทั้งสี และกลิ่น จะใช้ระบบเครื่องกรอง โดยผ่านไส้กรองเรซิน 2 ท่อ (ยี่ห้อ Pure, Serial No.90503, USA) ต่อด้วยไส้กรองแอคติเวทคาร์บอนบล็อก 1 ท่อ (ยี่ห้อ Pure, Serial No.90532, USA) จำนวน 1-5 รอบ 3) การทำให้เป็นผงแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งจากตารางผนวกที่ 8.1 – 8.3 จะเห็นได้ว่า ปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์อินูลินผงน้ำตาลต่ำจากแก่นตะวันเปรียบเทียบกับปริมาณของแข็งที่มีอยู่ในวัตถุดิบผงแก่นตะวันเริ่มต้น มีค่าเท่ากับ 33.71, 37.67 และ 41.35% ตามลำดับ ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า กระบวนการที่พัฒนาขึ้นนี้มีความเหมาะสมมากกว่าวิธีการเดิม เนื่องจากให้ปริมาณผลผลิตมากขึ้น มีความสะดวกเร็วกว่า เนื่องจากสามารถออกแบบกระบวนการให้เป็นระบบต่อเนื่องได้

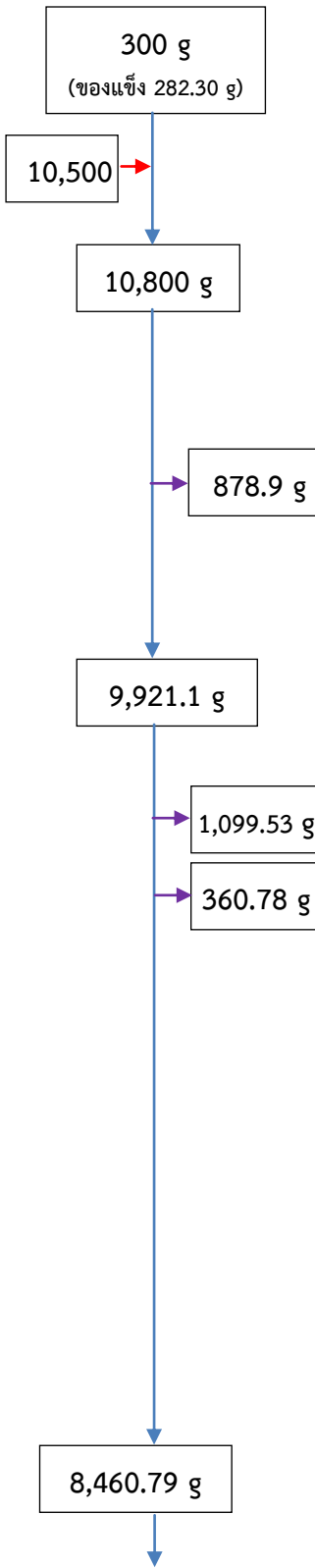
ตารางผนวกที่ 8.1 การทดลองและทำสมมูลมวลสารครั้งที่ 1

1. การสกัดด้วยน้ำร้อน	สมดุลมวลสาร	ปริมาณของแข็ง
300 g (ของแข็ง 283.35 g) 35 แก่นตะวันผงชนิดมีเปลือกและลูก : น้ำ = 1:35 สกัดด้วยน้ำร้อน 85 °C 1 ชั่วโมง ด้วยถังควบคุมอุณหภูมิ Loss จากน้ำระเหย ตะกอน Loss จากการปั่น แยกตะกอนด้วย Basket centrifuge ใช้ถุงกรองที่มีความละเอียด น้ำสกัดอินูลิน	10,500 10,800 g 952.60 g 9,847.40 g 1240.6 g 220.31 g 8,386.46 g	100% 56.23%

2. การทำให้บริสุทธิ์โดย Carbonation	สมดุลมวลสาร	ปริมาณของแข็ง
 อุ่นน้ำสกัดให้มีอุณหภูมิ 80 °C จากนั้นเติมแคลเซียมออกไซด์ลงไปจนกระทั่ง pH น้ำสกัดคงที่ ≈10-12 ควบคุมอุณหภูมิที่ 80 °C เติม CO₂ ลงในน้ำสกัด จน pH ของน้ำสกัดเป็นกลางคือ 6.5-7 จึงหยุดเติม CO₂ ที่ไว้ให้เย็น  น้ำสกัดอินูลินที่มีตะกอนหลังการคาร์บอนเนชัน  แยกตะกอนละเอียดด้วย Basket centrifuge  น้ำสกัดอินูลินที่ผ่านการคาร์บอนเนชันและแยกตะกอน	8,386.46 g 35.72 g 8,422.18 g 783.29 g 7,638.89 g 128.99 g 345.54 g 7,164.36 g	56.23% 48.04%

4. การทำให้เข้มข้นโดยการระเหย	สมดุลมวลสาร	ปริมาณของแข็ง
นำน้ำสกัดอินูลินที่ผ่านการคาร์บอนเนชั่นและกรองผ่านชุดกรองมาทำให้เข้มข้นจาก 2 °Brix เป็น 30 °Brix โดยการระเหยด้วย hot plate stirrer Loss จากน้ำระเหย น้ำสกัดอินูลินเข้มข้น 30 °Brix	6,814.36 g 6428.36 g 386.00 g	42.80% 42.65%
5. การทำแห้งแบบพ่นฝอย		
Solid loss ในเครื่องอบแห้ง และมวลน้ำระเหยออก ทำแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer) ที่มีอุณหภูมิลมเข้าและขาออกคือ 150 และ 90 °C อินูลินผงน้ำตาลต่ำจากแก่นตะวัน	386.00 g 283.95 g 100.17 g (ของแข็ง 95.54 g)	42.65% 33.71%

ตารางผนวกที่ 8.2 การทดลองและทำสมมูลมวลสารครั้งที่ 2

1. การสกัดด้วยน้ำร้อน	สมดุลมวลสาร	ปริมาณของแข็ง
 แก่นตะวันผงชนิดมีเปลือกและลวก : น้ำ = 1:35 สกัดด้วยน้ำร้อน 85 °C 1 ชั่วโมง ด้วยถังกวนควบคุมอุณหภูมิ ตะกอน Loss จากน้ำระเหย Loss จากการปั่น แยกตะกอนด้วย Basket centrifuge ใช้ถุงกรองที่มีความละเอียด น้ำสกัดอินูลิน	 300 g (ของแข็ง 282.30 g) 10,500 10,800 g 878.9 g 9,921.1 g 1,099.53 g 360.78 g 8,460.79 g	100% 59.34%

2. การทำให้บริสุทธิ์โดย Carbonation	สมดุลมวลสาร	ปริมาณของแข็ง
 อุ่นน้ำสกัดให้มีอุณหภูมิ 80 °C จากนั้นเติมแคลเซียมออกไซด์ลงไปจนกระทั่ง pH น้ำสกัดคงที่ ≈10-12 ควบคุมอุณหภูมิที่ 80 °C เติม CO₂ ลงในน้ำสกัด จน pH ของน้ำสกัดเป็นกลางคือ 6.5-7 จึงหยุดเติม CO₂ ที่ไว้ให้เย็น  น้ำสกัดอินูลินที่มีตะกอนหลังการคาร์บอนเนชั่น  แยกตะกอนละเอียดด้วย Basket centrifuge  น้ำสกัดอินูลินที่ผ่านการคาร์บอนเนชั่นและแยกตะกอน	8,460.79 g 57.86 g 8,518.65 g 535.00 g 7,983.65 g 206.25 g 359.68 g 7,417.72 g	59.34% 52.82%

3. การกำจัดความกระด้างและกลิ่นโดยชุดกรองเรซินและคาร์บอน	สมดุลมวลสาร	ปริมาณของแข็ง
  นำน้ำสกปรกไปกรองผ่านชุดกรองน้ำที่ประกอบด้วยเรซิน 2 ท่อ และคาร์บอน 1 ท่อ จำนวน 5 รอบ  น้ำสกปรกอินูลินที่ผ่านชุดกรอง	7,417.72 g 279.21 g 7,138.51 g	52.82% 44.50%

4. การทำให้เข้มข้นโดยการระเหย	สมดุลมวลสาร	ปริมาณของแข็ง
นำน้ำสกัดอินูลินที่ผ่านการคาร์บอนขึ้นและกรองผ่านชุดกรองมาทำให้เข้มข้นจาก 2 °Brix เป็น 30 °Brix โดยการระเหยด้วย hot plate stirrer Loss จากน้ำระเหย น้ำสกัดอินูลินเข้มข้น 30 °Brix	7,138.51 g 6,700.49 g 438.02 g	44.50% 44.34%
5. การทำแห้งแบบพ่นฝอย		
Solid loss ในเครื่องอบแห้ง และมวลน้ำระเหยออก ทำแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer) ที่มีอุณหภูมิลมเข้าและขาออกคือ 150 และ 90 °C อินูลินผงน้ำตาลต่ำจากแกล่นตะวัน	438.02 g 326.42 g 111.60 g (ของแข็ง 106.36 g)	44.34% 37.67%

ตารางผนวกที่ 8.3 การทดลองและทำสมมูลมวลสารครั้งที่ 3

[illegible]

2. การทำให้บริสุทธิ์โดย Carbonation	สมดุลมวลสาร	ปริมาณของแข็ง
 อุ่นน้ำสกัดให้มีอุณหภูมิ 80 °C จากนั้นเติมแคลเซียมออกไซด์ลงไปจนกระทั่ง pH น้ำสกัดคงที่ ≈10-12 ควบคุมอุณหภูมิที่ 80 °C เติม CO₂ ลงในน้ำสกัด จน pH ของน้ำสกัดเป็นกลางคือ 6.5-7 จึงหยุดเติม CO₂ ที่ไว้ให้เย็น  น้ำสกัดอินูลินที่มีตะกอนหลังการคาร์บอนเนชัน  แยกตะกอนละเอียดด้วย Basket centrifuge  น้ำสกัดอินูลินที่ผ่านการคาร์บอนเนชันและแยกตะกอน	9,422.34 g 45.89 g 9,468.23 g 636.77 g 8,831.46 g 171.79 g 443.03 g 8,216.63 g	65.54% 57.45%

4. การทำให้เข้มข้นโดยการระเหย	สมดุลมวลสาร	ปริมาณของแข็ง
นำน้ำสกัดอินูลินที่ผ่านการคาร์บอนขึ้นและกรองผ่านชุดกรองมาทำให้เข้มข้นจาก 2 °Brix เป็น 30 °Brix โดยการระเหยด้วย hot plate stirrer Loss จากน้ำระเหย น้ำสกัดอินูลินเข้มข้น 30 °Brix	7,878.04 g 7,383.94 g 494.10 g	49.79% 49.53%
5. การทำแห้งแบบพ่นฝอย		
Solid loss ในเครื่องอบแห้ง และมวลน้ำระเหยออก ทำแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer) ที่มีอุณหภูมิลมเข้าและขาออกคือ 150 และ 90 °C อินูลินผงน้ำตาลต่ำจากแกล่นตะวัน	494.10 g 372.16 g 121.94 g (ของแข็ง 117.09 g)	49.53% 41.35%

ปริมาณของแข็งทั้งหมด (%) ของสารสกัดและอินูลินผง และของแข็งที่สูญเสียไป (%) เมื่อผ่านแต่ละขั้นตอนการผลิตจากการทดลองสกัดอินูลิน 3 ครั้ง (lot 1-3) ได้สรุปลงในตารางผนวกที่ 8.4 โดยเริ่มต้นจากปริมาณแป้งแกล่นตะวันที่เท่ากันคือ 300 กรัม หักปริมาณความชื้นออกไป ที่เหลือคือปริมาณของแข็งทั้งหมดคิดเป็น 100% เมื่อนำแป้งแกล่นตะวันไป 1) ทำการสกัดด้วยน้ำร้อน 2) ทำให้บริสุทธิ์โดยการคาร์บอนชั้น 3) กำจัดสีและกลิ่นโดยการกรองผ่านเรซินและแอ็คติเวทคาร์บอน 4) ทำให้เข้มข้น และ 5) ทำแห้งให้เป็นผง จะมีการนำตัวอย่างจากแต่ละกระบวนการไปหาปริมาณของแข็ง ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า หลังการสกัดด้วยน้ำร้อน สารสกัดอินูลินหลังจากแยกกากมีปริมาณของแข็งทั้งหมดอยู่ในช่วง 56.23 – 65.54% หรืออีกนัยหนึ่งคือมีการสูญเสียของแข็งในขั้นตอนการแยกกากหลังการสกัดด้วยน้ำร้อนมากที่สุดคือ 34.46-43.77% เนื่องจากแป้งแกล่นตะวันที่ใช้ในการสกัดอินูลินเตรียมจากแป้งแกล่นตะวันที่มีเปลือกและผ่านการลวกก่อนการทำแห้งทำให้องค์ประกอบพวกเส้นใย cellulose ที่ไม่ละลายน้ำจากเปลือกและองค์ประกอบอื่น ๆ ที่ไม่ละลายน้ำถูกกำจัดออกไปในขั้นตอนนี้ จากนั้นเป็นขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์โดยการคาร์บอนชั้น โดยหลักการของวิธีการนี้เป็นการกำจัดน้ำตาลโมเลกุลขนาดเล็ก และสารเจือปนต่าง ๆ จำพวกโปรตีนและกัม เป็นต้น พบว่าในขั้นตอนนี้มีการสูญเสียปริมาณของแข็ง 6.52-8.19% ในรูปแบบของตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนต ขั้นตอนต่อมาคือการกำจัดสีกลิ่นและ ion exchange โดยเรซิน จะเห็นได้ว่าการสูญเสียของแข็งจากการกรองผ่านเรซิน 2 ท่อ และแอ็คติเวทคาร์บอนบล็อก 1 ท่อ จำนวน 5 รอบ อยู่ในช่วง 5.24-8.32% เมื่อนำสารสกัดไปทำให้เข้มข้นจาก 2 °Brix เป็น 30 °Brix โดยการระเหยด้วย hot plate stirrer พบว่ามีการสูญเสียของแข็งเล็กน้อย 0.15-0.16% สำหรับขั้นตอนสุดท้ายคือการทำให้เป็นผงด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย เกิดการสูญเสียของแข็งจากกระบวนการทำแห้งนี้ 6.67-8.94% จากการตกค้างของผงในหีบอบแห้งและท่อ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ได้ของอินูลินผงเทียบกับปริมาณของแข็งในแป้งแกล่นตะวันเริ่มต้น คือ 33.71-41.35% กล่าวได้ว่าจากการพัฒนากระบวนการผลิตอินูลินดังอธิบายไว้ข้างต้น พบว่า กระบวนการดังกล่าวให้ปริมาณผลผลิตที่สูงพอสมควร และหากเปรียบเทียบกับกระบวนการเดิมที่ศึกษาทดลองก่อนหน้านี้ (ดังตารางผนวกที่ 6.2) กระบวนการนี้สามารถเพิ่มปริมาณผลผลิตอินูลินผงได้มาก

ตารางผนวกที่ 8.4 ปริมาณของแข็งทั้งหมด (%) ของสารสกัดและอินูลินผง และของแข็งที่สูญเสียไป (%) เมื่อผ่านแต่ละขั้นตอนการผลิต

Processing step	Sample	Lot 1		Lot 2		Lot 3	
		Total solid (%)	Solid loss (%)	Total solid (%)	Solid loss (%)	Total solid (%)	Solid loss (%)
JATP	powder	100	-	100	-	100	-
1. After basket centrifugation	extract	56.23	43.77	59.34	40.66	65.54	34.46
2. After carbonation	extract	48.04	8.19	52.82	6.52	57.45	8.09
3. After filtration	extract	42.80	5.24	44.50	8.32	49.79	7.66
4. After evaporation	extract	42.65	0.15	44.34	0.16	49.53	0.26
5. After spray drying	powder	33.71	8.94	37.67	6.67	41.35	8.18

จากการพัฒนาขั้นตอนการกำจัดสี กลิ่นโดยแอ็คติเวทคาร์บอน และ ion exchange resin เพื่อกำจัดแคลเซียมไอออนจากกระบวนการคาร์บอนชันออกจากสารสกัด โดยใช้กระบวนการดังตารางผนวกที่ 8.1 – 8.3 ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบผลของการกำจัดแคลเซียมด้วยวิธีการไทเทรตกับสารละลาย Ethylenediamine tetraacetic acid (EDTA) ซึ่งเป็นวิธีการหาปริมาณของ Ca^{2+} , Mg^{2+} และ divalents ion อื่น ๆ ในน้ำ โดยปริมาณ EDTA ที่ใช้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณไอออนที่มีอยู่ และผลจากการวัดจะถูกแสดงในรูปของค่า Total hardness (ppm as CaCO_3) ผลการวัดค่า Total Hardness ของน้ำสกัดอินูลินที่ผ่านกระบวนการสกัดและทำให้บริสุทธิ์ จากการทดลอง 3 ครั้ง (experimental run 1-3) ถูกแสดงดังตารางผนวกที่ 8.5

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ตอนเริ่มต้นสารสกัดอินูลินจากการสกัดด้วยน้ำร้อนมีปริมาณ Total hardness เริ่มต้นค่อนข้างสูงคือ 1,116 – 1,794 ppm as CaCO_3 เนื่องจากปริมาณ Ca^{2+} และ Mg^{2+} ที่มีมากอยู่แล้วในวัตถุดิบเริ่มต้น ดังผลการตรวจปริมาณแร่ในตารางผนวกที่ 1.9 เมื่อผ่านกระบวนการคาร์บอนชันซึ่งมีการเติมแคลเซียมออกไซด์ลงไปทำให้ปริมาณ Total hardness เพิ่มขึ้นเป็น 2,394.28 – 2,910.45 ppm as CaCO_3 เมื่อเทียบกับปริมาณ Total hardness จากกระบวนการผลิตเดิมดังตารางผนวกที่ 1.8 ซึ่งมีปริมาณ Total hardness 5,202.31 ppm as CaCO_3 จะเห็นได้ว่าปริมาณ Total hardness จากขั้นตอนที่พัฒนานี้มีค่าที่ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนชนิดของถุงกรองที่ใช้ คือ ใช้ถุงกรอง polypropylene-fabric multifil bag model F254-3 ที่มีความเหมาะสมในการดักอนุภาคขนาดเล็กได้มากขึ้น จึงสามารถกำจัดตะกอนขนาดเล็กที่เกิดขึ้นหลังจากกระบวนการคาร์บอนชันออกไปจากสารสกัดได้มากกว่า อีกทั้งมีการนำสารสกัดที่ผ่านการกรองแล้วมาปั่นเหวี่ยงแยกกากซ้ำในถุงกรองเดิมที่มีตะกอนละเอียดของ CaCO_3 อยู่อีก 2 รอบ รวมเป็น 3

รอบ จึงทำให้สารสกัดที่แยกได้มีปริมาณ Total hardness ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ถุงกรองแบบเดิม จากนั้นเมื่อนำสารสกัดที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนชั้นไปกรองด้วยไส้กรองเรซิน 2 ท่อและไส้กรองแอ็คติเวท คาร์บอน 1 ท่อ รอบแรกมีค่า Total hardness ลดลงเหลือ 668.53-1,009.62 ppm as CaCO₃ ซึ่งน้อยกว่า ปริมาณ Total hardness ในสารสกัดอินูลินจากการสกัดด้วยน้ำร้อน แต่เนื่องจากกระบวนการคาร์บอนชั้นที่ ทำให้สารสกัดมีกลิ่นไม่พึงประสงค์ การกรองรอบแรกไม่สามารถกำจัดกลิ่นนี้ได้ จึงกรองสารสกัดต่อไปเป็น รอบที่ 2-5 โดยพบว่ากลิ่นของสารสกัดลดลงตามจำนวนรอบของการกรอง เช่นเดียวกับปริมาณ Total hardness ที่ลดลงตามจำนวนรอบของการกรอง โดยการกรองสารสกัดอินูลิน 5 รอบ ให้สารสกัดที่ไม่มีกลิ่นไม่ พึงประสงค์และมีปริมาณ Total hardness 80.85-87.06 ppm as CaCO₃ ซึ่งจัดได้ว่าอยู่ในกลุ่มน้ำกระด้าง ปานกลาง (75-150 ppm as CaCO₃) (ชูชาติ, 2546)

ตารางผนวกที่ 8.5 ผลการวัดค่า Total Hardness ของน้ำสกัดอินูลินที่ผ่านกระบวนการสกัดและทำให้บริสุทธิ์ จากการทดลอง 3 ครั้ง

Treatment	Total Hardness (ppm as CaCO ₃)		
	Experimental run 1	Experimental run 2	Experimental run 3
After basket centrifugation	1,166.04 ^b ± 153.28	1,714.29 ^b ± 218.11	1,794.87 ^b ± 157.02
After carbonation	2,910.45 ^a ± 787.13	2,394.28 ^a ± 192.69	2,876.60 ^a ± 501.86
After filtration 1 cycle	668.53 ^{bc} ± 91.72	963.93 ^c ± 76.17	1,009.62 ^c ± 169.30
After filtration 2 cycles	528.61 ^{cd} ± 53.86	621.89 ^d ± 107.71	608.97 ^d ± 55.51
After filtration 3 cycles	233.21 ^{cd} ± 46.64	217.66 ^e ± 26.93	336.54 ^{de} ± 83.27
After filtration 4 cycles	155.47 ^{cd} ± 26.93	186.57 ^e ± 0.00	208.33 ^{de} ± 27.76
After filtration 5 cycles	87.06 ^d ± 10.77	80.85 ^e ± 10.77	83.33 ^e ± 11.10

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ค่าตัวเลขที่แสดงผล ในตารางมาจากการวัดค่า 3 ซ้ำ

นอกจากนี้ตัวอย่างแบ่งแ่ก่นตะวัน สารสกัดอินูลินจากแต่ละขั้นตอน และอินูลินผงที่ผลิตได้จากการ ทดลองทั้ง 3 ครั้ง ถูกนำมาตรวจวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาล ฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์ และอินูลิน เพื่อ เปรียบเทียบปริมาณน้ำตาล ฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์ และอินูลิน ในตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการผลิตแต่ละ

ขั้นตอน โดยวิธีการวิเคราะห์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้อ้างอิงตามงานวิจัยของ Judprasong *et al.* (2011) โดยรายละเอียดของขั้นตอนการตรวจวิเคราะห์จะถูกนำไปแสดงในภาคผนวกที่ 11

ตารางผนวกที่ 8.6 แสดงผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาล ฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์ และอินูลิน ในตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการผลิตแต่ละขั้นตอน โดยแสดงค่าปริมาณน้ำตาล ฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์ และอินูลินที่วิเคราะห์ได้ต่อน้ำหนักแห้งของแป้งแกลนเตวันหรือสารสกัดอินูลินจากแต่ละขั้นตอนหรือผงอินูลิน 100 กรัม จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า แป้งแกลนเตวัน (มีเปลือก/ลวก) มีปริมาณน้ำตาลฟรักโทส กลูโคส และซูโครสเริ่มต้น อยู่ในช่วง 0.15-2.38, 0-0.14 และ 0.01-0.91 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้งของแป้งแกลนเตวัน ตามลำดับ เมื่อนำแป้งแกลนเตวันมาสกัดอินูลินด้วยน้ำร้อน ได้สารสกัดอินูลิน พบว่าปริมาณน้ำตาลทั้ง 3 ชนิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ความร้อนในการสกัดและการปั่นเหวี่ยงแยกสารสกัดออกมาจากกากด้วย Basket centrifuge ปริมาณของแข็งโดยเฉพาะส่วนที่ไม่ละลายน้ำถูกแยกออกมา ทำให้ปริมาณของแข็งโดยรวมลดลง ส่งผลให้ปริมาณสัดส่วนของน้ำตาลฟรักโทส กลูโคส และซูโครส ซึ่งเป็นของแข็งที่สามารถละลายได้มีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้เมื่อนำสารสกัดที่ได้ไปผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์โดยการคาร์บอนเนชั่น พบว่าปริมาณน้ำตาลโมเลกุลต่ำ คือ ฟรักโทส มีแนวโน้มลดลง แต่ปริมาณซูโครสเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เนื่องจากการคาร์บอนเนชั่นสามารถกำจัดปริมาณน้ำตาลโมเลกุลต่ำ และสิ่งเจือปนอื่น ๆ เช่น โปรตีนได้ดี ดังนั้น สัดส่วนของซูโครสสูงขึ้น นอกจากนี้ การให้ความร้อนที่ 80 °C ระหว่างการคาร์บอนเนชั่นอาจทำให้เกิดการ degradation ของอินูลินจากสายยาวเป็นน้ำตาล ฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์ หรืออินูลินที่มีสายสั้นลงได้ สำหรับกระบวนการกรองสารสกัดอินูลินด้วยไส้กรองเรซินและไส้กรองแอคทีเวทคาร์บอนพบว่า สามารถลดปริมาณน้ำตาลฟรักโทส กลูโคส และซูโครสในสารสกัดลงได้ หลังจากกระบวนการระเหยและกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่า ปริมาณน้ำตาลฟรักโทส กลูโคส และซูโครสไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ปริมาณของฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์ (GF₂, GF₃ และ GF₄) และอินูลิน ในสารสกัดอินูลินและอินูลินผง มีปริมาณมากกว่าวัตถุดิบคือแป้งแกลนเตวันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยปริมาณ GF₂, GF₃ และ GF₄ เริ่มต้นมีปริมาณ 2.54-4.74, 1.28-2.61 และ 1.95-2.75 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้งของแป้งแกลนเตวัน เมื่อผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์และทำให้เป็นผงมีปริมาณ GF₂, GF₃ และ GF₄ เพิ่มขึ้นเป็น 3.26-4.03, 3.93-4.04 และ 4.12-4.27 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้งของอินูลินผง ทั้งนี้เนื่องมากระบวนการสกัดด้วยน้ำร้อนและการ

ทำให้บริสุทธิ์ด้วยการคาร์บอนชั้น การกรองด้วยไส้กรองเรซินและแอคติเวทคาร์บอนบล็อกสามารถกำจัดสิ่งเจือปนต่าง ๆ ในแป้งแกล่นตะวัน ทำให้สารสกัดอินูลินที่ได้จากผ่านแต่ละขั้นตอนมีความบริสุทธิ์มากขึ้น โดยเมื่อเปรียบเทียบปริมาณอินูลินในแป้งแกล่นตะวัน สารสกัดอินูลินที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำร้อน และผลิตภัณฑ์สุดท้ายคือ อินูลินผง (ที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ การทำให้เข้มข้นด้วยการระเหย และการทำแห้งแบบพ่นฝอย) พบว่าปริมาณอินูลินเพิ่มขึ้นจาก 51.86-55.14 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้งของอินูลินผง เป็น 73.82-79.25 และ 82.49-96.22 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้งของอินูลินผง ตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์ในบทนี้แสดงให้เห็นว่ากระบวนการผลิตอินูลินผงจากหัวแกล่นตะวันที่เหมาะสมที่สุดใช้สามารถผลิตอินูลินผงที่มีความบริสุทธิ์สูง นั่นคือ มีปริมาณอินูลิน ในช่วง 82.49-96.22% และมีปริมาณน้ำตาลฟรักโทส กลูโคส และซูโครส ในช่วง 0.56-4.1% แสดงให้เห็นว่าอินูลินผงที่ผลิตได้มีความใกล้เคียงกับ อินูลินทางการค้าเกรด Orafit[®] LGI ดังรายละเอียดอ้างอิงในตารางผนวกที่ 1.6 (มีปริมาณอินูลิน ประมาณ 96% และมีปริมาณน้ำตาลฟรักโทส กลูโคส และซูโครส ประมาณ 4%) โดยมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ได้ของอินูลินผงเทียบกับปริมาณของแข็งในแป้งแกล่นตะวันเริ่มต้น เท่ากับ 33.71-41.35%

แต่หากต้องการผลิตอินูลินผง โดยไม่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ นั่นคือ นำสารสกัดที่ผ่านกระบวนการสกัดน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 85 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วแยกตะกอนด้วย Basket centrifuge มาทำให้เป็นผงแห้งโดยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย จะได้ผลิตอินูลินผงที่มีความบริสุทธิ์ลดลง นั่นคือ มีปริมาณอินูลิน ในช่วง 73.82-79.25% และมีปริมาณน้ำตาลฟรักโทส กลูโคส และซูโครส ในช่วง 2.83-5.63% แต่จะได้ปริมาณผลผลิตมากขึ้น นั่นคือมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ได้ของอินูลินผงเทียบกับปริมาณของแข็งในแป้งแกล่นตะวันเริ่มต้น เท่ากับ 47.29-57.36% (อ้างอิงจากข้อมูลในตารางผนวกที่ 8.4 โดยนำ Total solid in JATP (100%) – Solid loss after basket centrifugation - Solid loss after spray drying)

ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่า กระบวนการผลิตอินูลินผงให้มีความใกล้เคียงกับ อินูลินทางการค้า เกรด Orafit[®] LGI ประกอบด้วย

- 1) การสกัดแป้งแกล่นตะวันด้วยน้ำร้อนอัตราส่วน 1: 35 ที่อุณหภูมิ 85 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- 2) การแยกตะกอนด้วย Basket centrifuge โดยใช้ถุงกรอง polypropylene-fabric multifil bag model F254-3

- 3) การทำให้บริสุทธิ์ด้วยการคาร์บอนขึ้น และแยกตะกอนด้วย ถุงกรอง polypropylene-fabric multifil bag model F254-3 กรองซ้ำรวม 3 รอบ
- 4) การกรองสารสกัดอินูลินผ่านไส้กรองเรซิน 2 ท่อและไส้กรองแอคติเวทคาร์บอนบล็อก 1 ท่อ จำนวน 5 รอบ
- 5) การทำให้สารสกัดอินูลินเข้มข้นขึ้นจาก 2 °Brix เป็น 30 °Brix โดยต้มด้วย hot plate stirrer
- 6) การทำให้เป็นผงแห้งโดยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า/ขาออก เท่ากับ 150/90 องศาเซลเซียส

ตารางผนวกที่ 8.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาล ฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์ และอินูลิน ในตัวอย่างแป้งแค้นตะวัน สารสกัดอินูลินแต่ละขั้นตอน และอินูลินผง จากการทดลอง 3 ครั้ง

Sample	Sugar (g/100 g db)			Fructo-oligosaccharide (FOS) (g/100 g db)			Inulin-type fructans (g/100g db)
	Fructose	Glucose	Sucrose	GF2	GF3	GF4	
Jerusalem artichoke powder (JAP)							
Lot 1	0.74 ^c ± 0.11	0.03 ^c ± 0.01	0.91 ^{efg} ± 0.44	2.54 ^{fgh} ± 0.10	2.61 ^{cde} ± 0.07	2.75 ^b ± 0.06	51.86 ^k ± 0.36
Lot 2	0.15 ^{de} ± 0.02	0.00 ^c ± 0.00	0.01 ^g ± 0.00	3.86 ^d ± 0.06	2.05 ^{ef} ± 0.13	2.46 ^b ± 0.10	55.14 ^j ± 0.02
Lot 3	2.38 ^a ± 1.05	0.14 ^{bc} ± 0.03	0.09 ^g ± 0.02	4.74 ^{bc} ± 0.16	1.28 ^f ± 0.09	1.95 ^b ± 0.07	54.47 ^j ± 1.13
Inulin extract after basket centrifugation							
Lot 1	1.61 ^b ± 0.12	0.20 ^{bc} ± 0.04	1.30 ^{ef} ± 0.10	3.71 ^d ± 0.36	4.18 ^{ab} ± 0.16	3.82 ^a ± 0.06	77.79 ^f ± 0.08
Lot 2	2.04 ^a ± 0.04	0.06 ^c ± 0.01	3.53 ^{bc} ± 0.19	2.14 ^{gh} ± 0.29	4.03 ^{ab} ± 0.05	3.95 ^a ± 0.06	73.82 ^h ± 0.15
Lot 3	0.58 ^{cd} ± 0.29	0.17 ^{bc} ± 0.11	2.08 ^{de} ± 0.70	1.84 ^h ± 0.15	3.70 ^{ab} ± 0.41	3.68 ^a ± 0.40	79.25 ^e ± 0.84
Inulin extract after carbonation							
Lot 1	0.10 ^{de} ± 0.03	0.00 ^c ± 0.00	1.77 ^{de} ± 0.07	3.63 ^{de} ± 0.21	4.12 ^{ab} ± 0.11	4.14 ^a ± 0.22	82.66 ^d ± 0.01
Lot 2	0.05 ^e ± 0.03	0.40 ^b ± 0.14	6.87 ^a ± 1.40	7.08 ^a ± 0.60	2.53 ^{de} ± 1.16	2.35 ^b ± 1.38	76.74 ^{fg} ± 0.73
Lot 3	0.09 ^{de} ± 0.02	1.10 ^a ± 0.86	7.22 ^a ± 1.98	5.05 ^b ± 2.09	3.24 ^{bcd} ± 1.63	4.18 ^a ± 0.79	71.70 ⁱ ± 1.09
Inulin extract after filtration							
Lot 1	0.09 ^{de} ± 0.01	0.00 ^c ± 0.00	1.46 ^{def} ± 0.14	3.19 ^{def} ± 0.08	4.00 ^{ab} ± 0.62	3.87 ^a ± 0.19	84.22 ^c ± 2.13
Lot 2	0.09 ^{de} ± 0.05	0.00 ^c ± 0.00	2.53 ^{cd} ± 0.04	2.81 ^{efg} ± 0.14	3.52 ^{abc} ± 0.62	3.71 ^a ± 1.11	85.78 ^b ± 1.36
Lot 3	0.14 ^{de} ± 0.08	0.00 ^c ± 0.00	3.86 ^b ± 0.09	3.61 ^{de} ± 0.05	4.13 ^{ab} ± 0.04	4.14 ^a ± 0.05	82.41 ^d ± 0.09
Inulin extract after evaporation							
Lot 1	0.11 ^{de} ± 0.01	0.01 ^c ± 0.00	0.48 ^{fg} ± 0.01	3.62 ^{de} ± 0.03	4.31 ^a ± 0.05	4.57 ^a ± 0.02	82.84 ^d ± 0.02
Lot 2	0.06 ^e ± 0.05	0.01 ^c ± 0.00	4.08 ^b ± 0.09	3.83 ^d ± 0.12	4.09 ^{ab} ± 0.13	4.38 ^a ± 0.16	79.60 ^e ± 0.01
Lot 3	0.09 ^{de} ± 0.01	0.01 ^c ± 0.00	4.61 ^b ± 0.06	3.93 ^d ± 0.07	4.24 ^{ab} ± 0.09	4.39 ^a ± 0.11	76.31 ^g ± 0.03
Purified inulin powder							
Lot 1	0.12 ^{de} ± 0.00	0.03 ^c ± 0.01	0.41 ^{fg} ± 0.03	3.26 ^{def} ± 0.11	3.93 ^{ab} ± 0.08	4.12 ^a ± 0.06	96.22 ^a ± 0.04
Lot 2	0.09 ^{de} ± 0.02	0.03 ^c ± 0.00	3.76 ^b ± 0.06	4.03 ^{cd} ± 0.02	4.38 ^a ± 0.05	4.27 ^a ± 0.04	83.44 ^{cd} ± 0.07
Lot 3	0.14 ^{de} ± 0.03	0.03 ^c ± 0.01	3.93 ^b ± 0.14	3.45 ^{de} ± 0.20	4.04 ^{ab} ± 0.05	4.21 ^a ± 0.14	82.49 ^d ± 0.15

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวดิ่งของตัวอย่างแต่ละกลุ่ม (JAP1-JAP4) แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$); ผลการทดลองได้จากการวัดค่า 3 ซ้ำ

ภาคผนวกที่ 9

การทำสารสกัดอินูลินให้เข้มข้นและการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ผง

สารสกัดที่ได้จากการนำแป้งแกล่งตะวันมาสกัดอินูลินและผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ถูกนำมาผ่านการทำให้เข้มข้นและการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ผง ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

การศึกษากระบวนการทำสารสกัดอินูลินให้เข้มข้น

สำหรับกระบวนการทำให้เข้มข้นนั้น พบว่าหลังจากการนำน้ำสกัดอินูลินจากแป้งแกล่งตะวัน ซึ่งไม่ผ่านกระบวนการ carbonation มาทดลองทำให้เข้มข้นด้วยเครื่องระเหยแบบสุญญากาศยี่ห้อ Hisaka รุ่น REV-T (Hisaka Works Co., Ltd., Japan) โดยใช้อุณหภูมิ 70 °C ภายใต้สภาวะความดันสุญญากาศ 70 cmHg เพื่อปรับความเข้มข้นของสารสกัดอินูลินให้อยู่ในระดับ 10, 20 และ 30 °Brix พบว่ากรณีที่สารสกัดมีความเข้มข้นมากกว่า 10 °Brix เกิดปัญหาความข้นหนืดของสารสกัดอินูลิน ซึ่งทำให้เกิดการเกาะติดของสารสกัดปริมาณมากที่บริเวณผนังของห้องระเหยตัวอย่าง ดังแสดงในภาพผนวกที่ 9.1 จึงเปลี่ยนเป็นวิธีการกวนพร้อมทั้งให้ความร้อนบนเตาไฟฟ้าภายใต้สภาวะบรรยากาศจนกระทั่งได้ระดับความเข้มข้นที่ต้องการแทน โดยลักษณะของสารสกัดเข้มข้นที่ได้แสดงดังภาพผนวกที่ 9.2



ภาพผนวกที่ 9.1 การเกาะติดของสารสกัดที่บริเวณผนังของห้องระเหยของเครื่องระเหยแบบสุญญากาศ



(a)



(b)



(c)

ภาพผนวกที่ 9.2 สารสกัดอินูลินหลังผ่านกระบวนการทำให้เข้มข้น

(a) 10 °Brix, (b) 20 °Brix และ (c) 30 °Brix

การศึกษาระดับความเข้มข้นของสารสกัดอินูลินที่เหมาะสมกับกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ในการทดลองทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้นจะใช้ตัวอย่างสารสกัดอินูลินซึ่งไม่ผ่านกระบวนการ carbonation มาทดลอง เนื่องจากเป็นตัวอย่างที่มีปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรักโทส และซูโครส สูงกว่าสารสกัดอินูลินที่ผ่านกระบวนการ carbonation ตัวอย่างที่มีปริมาณน้ำตาลเหล่านี้สูงจะมีปัญหาในการทำแห้งแบบพ่นฝอยมาก เนื่องจากคุณสมบัติด้าน hygroscopicity และ stickiness ดังนั้น หากสภาวะการทำแห้งที่ศึกษาสามารถทำแห้งตัวอย่างสารสกัดอินูลินซึ่งไม่ผ่านกระบวนการ carbonation ได้ดี ก็คาดว่าจะสามารถทำแห้งตัวอย่างสารสกัดอินูลินที่ผ่านกระบวนการ carbonation ได้ดี เช่นเดียวกัน

เมื่อนำสารสกัดเข้มข้นไปทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะการทำแห้งที่ผ่านการทดลองเบื้องต้นมาแล้ว นั่นคือใช้อุณหภูมิลมเข้า 150 °C และอุณหภูมิลมออกที่ 90 °C ปรากฏว่าได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางผนวกที่ 9.1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ในกรณีที่สารสกัดมีความเข้มข้น 10, 20 และ 30 °Brix ได้ปริมาณผงเทียบกับของแข็งทั้งหมดที่อยู่ในวัตถุดิบเหลว (Powder recovery) เท่ากับ 67.78%, 82.24% และ 88.13% ตามลำดับ ค่า Powder recovery คิดคำนวณจากสมการที่ (9.1)

$$\% \text{ powder recovery} = \frac{\text{Solid weight of powder after spray drying}}{\text{Total solid weight in feed material before spray drying}} \times 100 \quad \dots(9.1)$$

โดยผงอินูลินที่ได้มีสีออกน้ำตาลเล็กน้อยดังภาพผนวกที่ 9.3 ซึ่งคาดว่าเกิดจากความร้อนที่ใช้ระหว่างกระบวนการทำให้เข้มข้นก่อให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล เช่น Maillard reaction โดยเฉพาะในกรณีที่เตรียมสารสกัดที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้น

เมื่อพิจารณาผลการวัดค่าความชื้นของผงอินูลินที่ผลิตจากสารสกัดที่มีระดับความเข้มข้น 10, 20 และ 30 °Brix พบว่าค่าความชื้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยค่าความชื้นจะลดลงเมื่อใช้สารสกัดที่มีระดับความเข้มข้นสูงขึ้น ดังนั้น ผงอินูลินที่ผลิตจากสารสกัดที่มีระดับความเข้มข้น 30 °Brix จึงมีค่าความชื้นต่ำที่สุด สาเหตุคือเมื่อใช้สารสกัดที่มีระดับความเข้มข้นสูงขึ้น นั้นหมายความว่าค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณของน้ำที่อยู่ในสารสกัดต่อปริมาณของแข็งที่อยู่ในสารสกัดจะมีค่าลดลง ดังนั้น เมื่อนำสารสกัดดังกล่าวไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้สภาวะของลมร้อนเช่นเดียวกับการทำแห้งสารสกัดที่มีระดับความเข้มข้นต่ำกว่า นั่นคือใช้อุณหภูมิลมเข้า 150 °C และอุณหภูมิลมออกที่ 90 °C จึงทำให้ปริมาณความชื้นที่หลงเหลืออยู่ในผงอินูลินต่อปริมาณผงอินูลินในกรณีที่ใช้สารสกัดที่มีระดับความเข้มข้นสูงมีค่าต่ำกว่ากรณีที่ใช้สารสกัดที่มีระดับความเข้มข้นต่ำ ผลคือค่าความชื้นของผงอินูลินที่วัดได้ลดลงเมื่อใช้สารสกัดที่มีระดับความเข้มข้นสูงขึ้น

หากพิจารณาจากผลการวัดค่าสีของผงอินูลินพบว่า เมื่อใช้สารสกัดที่มีระดับความเข้มข้นสูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าความสว่าง (L^*) ลดลง ค่าสีเขียว $a^*(-)$ และค่าสีเหลือง $b^*(+)$ สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งค่าดังกล่าวสอดคล้องกับภาพถ่ายที่แสดงในภาพผนวกที่ 9.3 สาเหตุคาดว่าเนื่องเพราะในการเตรียมสารสกัดอินูลินที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้นต้องใช้ระยะเวลายาวนานขึ้นในการให้ความร้อนสำหรับกระบวนการทำให้เข้มข้น ซึ่งก่อให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล เช่น Maillard reaction เพิ่มขึ้น

ตารางผนวกที่ 9.1 ผลการทำแห้งแบบพ่นฝอยของสารสกัดเข้มข้น 10, 20 และ 30 °Brix

คุณลักษณะ	ความเข้มข้นของสารสกัดอินูลิน (°Brix)		
	10	20	30
Powder recovery (%)	67.78	82.24	88.13
ความชื้นของผงอินูลิน (% wb)	7.5 ^c ±0.12	6.8 ^b ±0.05	6.6 ^a ±0.14
L*	89.61 ^c ±0.51	80.91 ^b ±1.12	77.29 ^a ±0.32
a*	-0.60 ^a ±0.12	-1.10 ^b ±0.29	-1.32 ^c ±0.22
b*	9.10 ^a ±0.17	11.14 ^b ±0.20	12.16 ^c ±0.15

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$); L* แสดงถึงความสว่าง ($0 \leq L \leq 100$) ในขณะที่ a*(+), a*(-), b*(+) และ b*(-) แสดงค่า สีแดง, สีเขียว, สีเหลือง และสีน้ำเงิน ตามลำดับ; ผลการทดลองได้จากการวัดค่า 3 ซ้ำ



(a)



(b)



(c)

ภาพผนวกที่ 9.3 ผงอินูลินที่ได้หลังจากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

(a) 10 °Brix, (b) 20 °Brix และ (c) 30 °Brix

เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์เพื่อตัดสินใจเลือกระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับการแปรรูปสารสกัดอินูลินเป็นผลิตภัณฑ์ผง พบว่าความเข้มข้นที่ระดับ 30 °Brix มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากช่วยลดปริมาณของสารสกัดที่ต้องป้อนเข้าสู่เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยได้มาก เช่น ในกรณีที่มีตัวอย่างสารสกัดที่ระดับ

ความเข้มข้น 10 °Brix จำนวน 10 ลิตร หากนำไปประเหยน้าออกเพื่อให้มีระดับความเข้มข้นเป็น 30 °Brix จะเหลือปริมาตรเพียง 3.3 ลิตรเท่านั้น ซึ่งปริมาตรที่ลดลงไปมากนี้ช่วยให้สามารถประหยัดระยะเวลาและพลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการทำแห้งแบบพ่นฝอยได้มาก ขั้นตอนการทำแห้งแบบพ่นฝอยจัดว่าเป็นขั้นตอนที่มีต้นทุนเครื่องจักรอุปกรณ์และพลังงานสูงเมื่อเปรียบเทียบกับขั้นตอนอื่น ๆ และถือว่าเป็นขั้นตอนที่เป็น Bottleneck ของกระบวนการผลิตผงอินูลินจากหัวแก่นตะวัน นอกจากนี้ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าคุณภาพของผงอินูลินที่ได้จากการใช้สารสกัดที่ระดับความเข้มข้น 30 °Brix อยู่ในระดับที่ยอมรับได้และไม่ด้อยกว่ากรณีที่ใช้สารสกัดที่ระดับความเข้มข้น 10 °Brix ดังนั้น ในการศึกษาเพื่อหาสภาวะของลมร้อนที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อแปรรูปสารสกัดอินูลินเป็นผลิตภัณฑ์ผง จึงกำหนดให้ใช้สารสกัดที่ระดับความเข้มข้น 30 °Brix

การศึกษาสภาวะของลมร้อนที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

หลังจากที่สรุปได้แล้วว่า ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารสกัดอินูลินสำหรับการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย คือ 30 °Brix ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาเพิ่มเติมต่อไปอีกเพื่อหาสภาวะของลมร้อนที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อแปรรูปสารสกัดอินูลินเป็นผลิตภัณฑ์ผง โดยกำหนดขอบเขตของการทดลอง คือ ใช้อุณหภูมิลมเข้าที่ 150, 170 และ 190 °C และอุณหภูมิลมออก 90 °C ปรากฏว่าได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางผนวกที่ 9.2

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การใช้อุณหภูมิลมร้อนที่ 190 °C ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ Powder recovery ที่สูงที่สุด สาเหตุคาดว่าเกิดจากการที่อินูลินผงที่ได้จากกรณีใช้อุณหภูมิลมร้อนที่ 190 °C มีความชื้นต่ำที่สุด ค่าความชื้นที่ต่ำส่งผลให้ค่า Glass transition temperature สูง ผลที่ตามมาคือ ผงอินูลินดังกล่าวจะดูดความชื้นจากสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าและมีลักษณะที่เหนียวหนืดน้อยกว่าอินูลินผงที่ได้จากกรณีใช้อุณหภูมิลมร้อนที่ 150 และ 170 °C จึงทำให้มีผงที่ติดค้างอยู่ภายในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยน้อยกว่า และได้ค่าเปอร์เซ็นต์ Powder recovery ที่สูงที่สุด (Cai and Corke, 2000)

ส่วนค่า Water activity (A_w) ของอินูลินผงที่ได้ แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์มีความปลอดภัยจากการเจริญของจุลินทรีย์เนื่องจากมีค่า A_w น้อยกว่า 0.6 สำหรับค่า Water-absorption index (WAI) และ Water-solubility index (WSI) จากผลการทดลองพบว่า การใช้อุณหภูมิลมร้อนที่ 190 °C ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่า WAI

และ WSI สูง นั้นหมายความว่าตัวอย่างมีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำในระหว่างการละลาย และคุณสมบัติในการละลายน้ำที่ดี สาเหตุคาดว่าเกิดจากการใช้อุณหภูมิร้อนที่สูงส่งผลให้เกิดการระเหยน้ำออกจากละอองฝอยของสารสกัดอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดรูพรุนภายในอนุภาคผงมากกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำกว่า (Macierzanka and Szelag, 2006) ซึ่งการที่อนุภาคผงมีรูพรุนมากกว่าส่งผลให้อนุภาคผงสามารถสัมผัสกับน้ำได้ทั่วถึง จึงดูดซับน้ำและละลายน้ำได้ดี

สำหรับค่าความหนาแน่นปรากฏ (Bulk density) นั้น พบว่า การใช้อุณหภูมิร้อนที่ 190 °C ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความหนาแน่นปรากฏสูง ซึ่งคาดว่าเกิดจากการหดตัวที่มากขึ้นของอนุภาคผงเมื่อใช้อุณหภูมิสูง ค่าความหนาแน่นปรากฏเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ในการใช้ออกแบบขนาดบรรจุภัณฑ์

ตารางผนวกที่ 9.2 ผลการทำแห้งแบบพ่นฝอยของสารสกัดอินูลินความเข้มข้น 30 °Brix ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิ ร้อนเข้า/ขา ออก (°C)	Powder recovery (%)	Moisture content (%wb)	A _w	WAI (g/g)	WSI (%)	Bulk density (g/ml)	L*	a*	b*	Whiteness index
150/90	88.13 ^a ±0.41	6.4 ^a ±0.13	0.30 ^a ±0.01	1.21 ^b ±0.06	45.38 ^a ±4.80	0.58±0.24 ^a	80.14 ^a ±0.76	1.63 ^a ± 0.97	13.33 ^a ±0.89	76.03
170/90	87.23 ^a ±0.47	6.8 ^b ±0.63	0.31 ^a ±0.02	0.80 ^a ±0.16	71.64 ^b ±4.97	0.62±0.37 ^a	76.72 ^b ±0.07	1.60 ^a ± 0.25	14.72 ^b ±0.18	72.41
190/90	90.59 ^b ±0.94	6.1 ^{ab} ±0.14	0.31 ^a ±0.01	1.09 ^b ±0.18	77.35 ^b ±5.20	0.74±0.18 ^b	73.75 ^c ±0.33	2.41 ^b ±0.34	16.45 ^c ±0.66	68.93

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$); WAI = Water-absorption index และ WSI = Water-solubility index ซึ่งหาจากวิธีของ Al-Kahtani and Bakri (1990); L* แสดงถึง ความสว่าง ($0 \leq L \leq 100$) ในขณะที่ a*(+), a*(-), b*(+) และ b*(-) แสดงค่า สีแดง, สีเขียว, สีเหลือง และ สีน้ำเงิน ตามลำดับ; ผลการทดลองได้จากการวัดค่า 3 ซ้ำ.

สำหรับผลการวัดค่าสีในตารางผนวกที่ 9.2 พบว่า การใช้อุณหภูมิร้อนที่สูงขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีสีที่เข้มขึ้น มีค่าความสว่างและความขาวลดลง ค่าสีดังกล่าวสอดคล้องกับภาพถ่ายที่ปรากฏในภาพผนวกที่ 9.4 สาเหตุเกิดจากการใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้น ก่อให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล เช่น Maillard reaction เพิ่มขึ้น



(a)



(b)



(c)

ภาพผนวกที่ 9.4 ผงอินูลินที่ได้หลังจากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ กัน

(a) 150/90 °C, (b) 170/90 °C และ (c) 190/90 °C

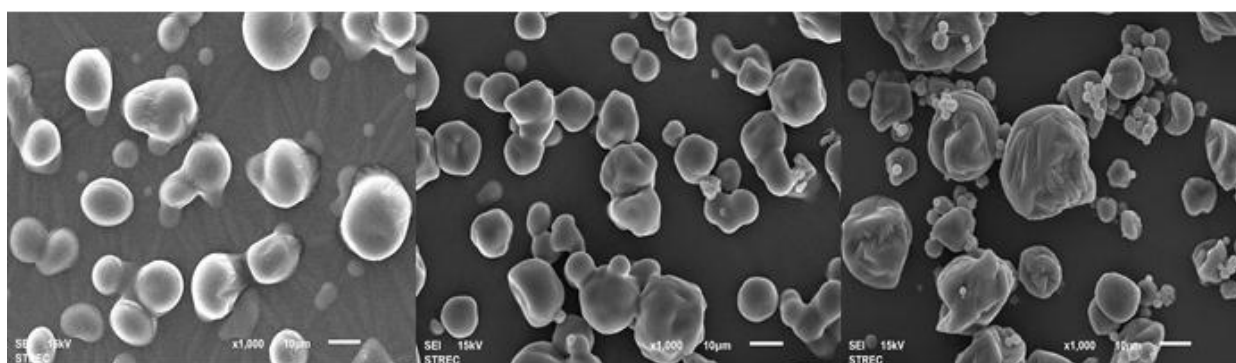
สำหรับข้อมูลปริมาณของสารสกัด ระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้งแบบพ่นฝอย และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้แสดงในตารางผนวกที่ 9.3 ซึ่งจากข้อมูลในตารางแสดงให้เห็นว่า การใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้น นั่นคือ 190 °C จะช่วยลดระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้งได้ เนื่องจากสามารถเพิ่มอัตราการป้อนสารสกัดเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยได้ นอกจากนี้ ระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้งที่ลดลงช่วยให้ปริมาณการใช้พลังงานลดลงด้วย

ตารางผนวกที่ 9.3 ผลการทำแห้งแบบพ่นฝอยของสารสกัดอินูลินความเข้มข้น 30 °Brix ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิลมร้อน ขาเข้า/ขาออก (°C)	ปริมาณของสารสกัดใน การทำแห้งแบบพ่นฝอย (ml)	ระยะเวลาที่ใช้ในการ ทำแห้งแบบพ่นฝอย (นาที)	พลังงานที่ใช้ (kW-h)
150/90	500.27±0.06	35.61±0.45	2
170/90	501.70±1.45	26.64±0.48	2
190/90	500.94±0.79	16.98±0.51	1

หมายเหตุ ผลการทดลองได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ

ภาพผนวกที่ 9.5 แสดงถึงโครงสร้างของอนุภาคผงอินูลินที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยด้วยอุณหภูมิลมร้อน 150, 170 และ 190 °C โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 1,000 เท่า จากภาพแสดงให้เห็นว่า การทำแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 150 และ 170 °C ให้ผลิตภัณฑ์ผงที่มีลักษณะอนุภาคเป็นทรงกลมหรือบวมมากกว่า และอนุภาคมีลักษณะเกาะติดกันมากกว่าการใช้อุณหภูมิ 190 °C สาเหตุคืออนุภาคผงอินูลินที่ได้จากการใช้อุณหภูมิ 150 และ 170 °C ซึ่งมีค่าความชื้นสูงกว่า ดังตารางผนวกที่ 9.2 จะมีค่า Glass transition temperature ต่ำกว่า และผลที่ตามมาคือ จะมีคุณสมบัติ Hygroscopicity และ Stickiness ที่มากกว่า ทำให้เกิดลักษณะของอนุภาคผงดังกล่าว Cano-Chauca *et al.* (2005) กล่าวว่าโดยทั่วไปผลิตภัณฑ์ผงชนิดเดียวกันที่มีค่าความชื้นสูงกว่าจะมีค่า Glass transition temperature ต่ำกว่า นอกจากนี้ ในงานวิจัยนี้ได้มีการวัดคุณสมบัติ Hygroscopicity ของผลิตภัณฑ์ผงอินูลินดังแสดงในตารางผนวกที่ 9.4 ซึ่งผลที่ได้เป็นการยืนยันคำอธิบายนี้



(a)

(b)

(c)

ภาพผนวกที่ 9.5 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope; SEM) แสดงโครงสร้างของอนุภาคผงอีพอกซีที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยด้วยอุณหภูมิร้อนแตกต่างกัน (กำลังขยาย 1,000 เท่า): (a) 150 °C; (b) 170 °C; (c) 190 °C.

ตารางผนวกที่ 9.4 แสดงถึงผลการทดลองวัดค่าการดูดความชื้น (Hygroscopicity) ของผงอีพอกซี ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยด้วยอุณหภูมิร้อน 150, 170 และ 190 °C จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า อนุภาคผงอีพอกซีจะดูดความชื้นจากอากาศแวดล้อมอย่างรวดเร็ว โดยอนุภาคผงที่ได้จากการทำแห้งที่อุณหภูมิ 150 °C จะดูดความชื้นจากอากาศแวดล้อมเร็วที่สุด และ เมื่อเวลาผ่านไป 120 นาที อนุภาคผงที่ได้จากการทำแห้งที่อุณหภูมิ 150 °C จะมีการดูดความชื้นมากกว่า อนุภาคผงที่ได้จากการทำแห้งที่อุณหภูมิ 170 และ 190 °C ตามลำดับ

ตารางผนวกที่ 9.4 ผลการทดลองวัดค่าการดูดความชื้น (Hygroscopicity) ของผงอินูลิน ที่ผ่านการทำให้แห้งแบบพ่นฝอยด้วยอุณหภูมิร้อน 150, 170 และ 190 °C

อุณหภูมิ ลมร้อน	ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองดูดความชื้น (นาที)												
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
ขาเข้า/ขา ออก (°C)													
150/90	0	3.87 ^a ±0.11	4.22 ^b ±0.02	4.78 ^c ±0.14	4.97 ^d ±0.04	5.14 ^d ±0.15	5.65 ^e ±0.21	6.42 ^f ±0.16	6.61 ^g ±0.14	7.04 ^h ±0.03	7.41 ⁱ ±0.17	7.81 ⁱ ±0.08	10.09 ^k ±0.12
170/90	0	3.18 ^a ±0.04	4.65 ^b ±0.14	4.70 ^b ±0.21	4.86 ^{bc} ±0.15	5.29 ^{cd} ±0.22	5.46 ^{de} ±0.35	5.59 ^{def} ±0.09	5.77 ^{fgh} ±0.16	5.91 ^{gh} ±0.21	5.95 ^h ±0.12	5.99 ^h ±0.17	7.05 ⁱ ±0.18
190/90	0	3.59 ^a ±0.08	4.02 ^b ±0.16	4.92 ^c ±0.11	5.18 ^d ±0.12	5.64 ^e ±0.14	5.84 ^f ±0.14	5.94 ^g ±0.21	6.15 ^h ±0.13	6.22 ^{hi} ±0.34	6.25 ⁱ ±0.15	6.37 ^j ±0.26	6.90 ^k ±0.09

หมายเหตุ Hygroscopicity = ปริมาณความชื้นของตัวอย่างที่เพิ่มขึ้น (g_{H_2O}) / น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง (g dry basis) 100 g

ทำการทดลองดังกล่าวโดยใส่ตัวอย่างบน Petri dish แล้ววางภายในโถแก้วที่มีสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวบรรจุอยู่ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศร้อยละ 75 ± 3 และอุณหภูมิของอากาศ 30 ± 1 °C

การศึกษาระดับความเข้มข้นของสารสกัดอินูลินที่เหมาะสมกับกระบวนการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง

เนื่องจากในการทำแห้งแบบลูกกลิ้งนั้น ตัวอย่างที่ใช้จะต้องมีความหนืดในระดับที่สูงพอที่จะทำให้ตัวอย่างสามารถเกาะบนพื้นผิวของลูกกลิ้งได้ ดังนั้นจึงได้วางแผนการทดลองว่าจะใช้สารสกัดอินูลินที่ระดับความเข้มข้น 40 และ 50 °Brix ซึ่งเมื่อทดลองเตรียมสารสกัดที่ระดับความเข้มข้น 40 °Brix ปรากฏว่าได้ลักษณะปรากฏของตัวอย่างดังแสดงในภาพผนวกที่ 9.6 ซึ่งได้นำไปทดลองทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งต่อไป

อย่างไรก็ตาม เมื่อทดลองเตรียมสารสกัดที่ระดับความเข้มข้น 50 °Brix พบว่าตัวอย่างมีความหนืดมากจนกระทั่งไม่สามารถใช้การกวนในระหว่างกระบวนการระเหยน้ำแบบปกติดังเช่นที่ผ่านมาได้ จึงตัดสินใจเปลี่ยนระดับความเข้มข้นของตัวอย่างสารสกัดสำหรับใช้ทดลองทำแห้งแบบลูกกลิ้งเป็น 30 และ 40 °Brix



ภาพผนวกที่ 9.6 สารสกัดอินูลินหลังผ่านกระบวนการทำให้เข้มข้นที่ 40 °Brix

จากการทำแห้งแบบลูกกลิ้งของสารสกัดอินูลินที่ความเข้มข้น 30 และ 40 °Brix โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 120 และ 140 °C พบว่า การทำแห้งแบบลูกกลิ้งไม่เหมาะสมในการทำแห้งอินูลิน เนื่องจากผลิตภัณฑ์อินูลินจะเหนียวเหนอะติดบริเวณพื้นผิวให้ความร้อนทำให้ชุดอินูลินที่ผ่านการทำแห้งแล้วออกมาได้ยาก ดังภาพผนวกที่ 9.7 และ 9.8 ซึ่งผลดังกล่าวคาดว่าจะเกิดจากการที่ตัวอย่างมีอุณหภูมิที่สูงในระหว่างการทำแห้ง ทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะเป็น Rubbery state เนื่องจากตัวอย่างที่เกาะที่ผิวลูกกลิ้งยังคงมีความชื้นสูง มี Glass transition temperature ต่ำ



(a)



(b)



(c)



(d)

ภาพผนวกที่ 9.7 การทำผงอินูลินด้วยวิธีการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (a) และ (b) ความเข้มข้นที่ 30 °Brix; (c) และ (d) ความเข้มข้นที่ 40 °Brix



ภาพผนวกที่ 9.8 ตัวอย่างที่ได้จากการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง โดยใช้สารสกัดที่ความเข้มข้น 40 °Brix

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าควรทำแห้งสารสกัดอินูลินด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้อุณหภูมิร้อนขาเข้าและขาออกที่ 190 และ 90 °C ตามลำดับ เนื่องจากสภาวะดังกล่าวให้ผลิตภัณฑ์อินูลินที่มีคุณสมบัติที่ดี ได้ปริมาณ Powder recovery และกำลังการผลิตที่สูง อีกทั้งสิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่าการใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่า

สำหรับการตรวจวัดค่า pH และ การตรวจเชื้อจุลินทรีย์ในตัวอย่างอินูลินผง จะทำการตรวจวิเคราะห์สำหรับตัวอย่างที่ผลิตในระดับนำร่องแทน ซึ่งจะมีความใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์อินูลินผงที่ได้จากการผลิตในเชิงอุตสาหกรรมมากกว่า เนื่องจากในการผลิตระดับนำร่องจะมีความแตกต่างบางประการกับการผลิตในระดับห้องปฏิบัติการ

ภาคผนวกที่ 10

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของเปลือกของหัวแก่นตะวันและตะกอน

ในงานวิจัยนี้ได้มีการศึกษาของเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต เช่น เปลือกของหัวแก่นตะวันและตะกอนที่ได้จากกระบวนการปั่นเหวี่ยงด้วย Basket centrifuge โดยจะวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยวิธี Proximate analysis เพื่อที่จะเสนอแนวทางการใช้ประโยชน์ที่เหมาะสมสำหรับของเหลือทิ้งเหล่านี้ นอกจากนี้ ยังได้นำเปลือกของหัวแก่นตะวันไปผ่านกระบวนการสกัดเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบและผลิตอินูลินผงอีกด้วย ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยใช้วิธี Proximate analysis

จากการนำเปลือกแก่นตะวันมาหาองค์ประกอบแบบ Proximate analysis โดยการนำเปลือกของหัวแก่นตะวันและตะกอนที่ได้จากกระบวนการปั่นเหวี่ยงด้วย Basket centrifuge มาอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบดด้วย Blender จะได้ผงแห้งออกมา หลังจากนั้นนำผงไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบด้วยวิธี Proximate analysis โดยใช้การวิเคราะห์ตามมาตรฐานดังนี้ ความชื้น (AOAC, 2000), โปรตีน (AOAC, 1990), ไขมัน (AOAC, 1990), โยอาหาร (AOAC, 1990) และ เถ้า (AOAC, 1990) ได้ผลดังแสดงในตารางผนวกที่ 10.1

ตารางผนวกที่ 10.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของเปลือกแก่นตะวันและตะกอนโดยใช้วิธี Proximate analysis

Sample	Proximate result					
	Carbohydrate	Moisture	Protein	Fat (%db)	Fiber	Ash
	(%db)	(%db)	(%db)		(%db)	(%db)
เปลือกแก่น	86.60±0.22	5.66±0.09	8.10±0.20	0.47±0.44	8.31±0.24	4.83±0.02
ตะวัน						
ตะกอน	83.73±0.25	3.68±0.01	11.21±0.11	0.85±0.21	16.70±1.12	4.21±0.13

หมายเหตุ ผลการทดลองได้จากการวัดค่า 3 ซ้ำ

ผลการนำเปลือกของหัวแค้นตะวันไปผ่านกระบวนการสกัดและผลิตอินูลินผง

ขั้นตอนการนำเปลือกของหัวแค้นตะวันไปผ่านกระบวนการสกัดและผลิตอินูลินผงจะเริ่มต้นจากการนำเปลือกแค้นตะวันมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบดด้วย Blender จะได้ผงแห้งออกมา จากนั้นนำไปสกัดอินูลินโดยใช้ผงอินูลินต่อน้ำในอัตราส่วน 1:13 นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85 °C พร้อมทั้งกวนตลอดเวลา เป็นเวลา 60 นาที และเหวี่ยงแยกกากด้วย Basket centrifuge ก่อนนำน้ำสกัดไปทำแห้งแบบพ่นฝอย ที่อุณหภูมิลมขาเข้า 150 °C อุณหภูมิลมขาออก 90 °C พบว่าผงที่ได้มีสีและลักษณะคล้ายคลึงกับผงอินูลินที่ได้จากการสกัดแป้งแค้นตะวันแบบไม่มีเปลือก

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำสกัดจากเปลือกหัวแค้นตะวันและอินูลินผง

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ HPLC เพื่อหาปริมาณ Sucrose, Fructose, Glucose, Fructooligosaccharide (DP = 3-5) และอินูลิน ในน้ำสกัดอินูลินจากเปลือกแค้นตะวัน ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางผนวกที่ 10.2 ส่วนผลการวิเคราะห์ปริมาณ Fructans และค่า DP เฉลี่ย แสดงดังตารางผนวกที่ 10.3 จากผลการคำนวณแสดงให้เห็นว่าในน้ำสกัดจากเปลือกแค้นตะวันมีอินูลินอยู่มากพอสมควร และค่า DP เฉลี่ยของอินูลินในตัวอย่างมีค่าใกล้เคียงกับอินูลินทางการค้า เกรด Orafit[®] HSI ซึ่งมีค่า DP < 10

ตารางผนวกที่ 10.2 ปริมาณน้ำตาลและฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์ (FOS) ของน้ำสกัดจากเปลือกแค้นตะวัน

Sample	Composition (g/L)							
	fructose	glucose	sucrose	GF2	GF3	GF4	G _{total}	F _{total}
เปลือกแค้นตะวัน	16.14	2.28	4.10	3.12	3.68	3.46	11.58	84.16

ตารางผนวกที่ 10.3 ปริมาณ Fructans และค่า DP เฉลี่ยของน้ำสกัดจากเปลือกแค้นตะวัน

Treatment	Content (g/L)			Average DP
	G _{fructans}	F _{fructans}	Fructans	
เปลือกแค้นตะวัน	7.14	65.87	66.42	10.22

ข้อเสนอสำหรับแนวทางการใช้ประโยชน์ที่เหมาะสมสำหรับของเหลือทิ้ง

จากข้อมูลผลการทดลองที่กล่าวมาข้างต้น แสดงให้เห็นว่าทั้งเปลือกแค้นตะวันและกากตะกอนที่ได้จากกระบวนการปั่นเหวี่ยงด้วย Basket centrifuge มีปริมาณอินูลินสูง ดังนั้น ไม่ควรปอกเปลือกหัวแค้นตะวันในกระบวนการเตรียมตัวอย่างเพื่อสกัดอินูลิน นอกจากนี้ ในกระบวนการสกัดควรจะสกัดจนกระทั่งเหลือปริมาณกากตะกอนให้น้อยที่สุด เนื่องจากหากเหลือกากตะกอนมากก็แสดงว่ามีการสูญเสียอินูลินเกิดขึ้นมาก เพราะในเปลือกแค้นตะวันมีองค์ประกอบหลักประมาณ 85% db คืออินูลินนั่นเอง (Fleming *et al.*, 1979) อย่างไรก็ตาม กากตะกอนที่เกิดขึ้นมีคุณค่าสารอาหารอยู่มากสามารถนำไปอบแห้งและแปรรูปเป็นอาหารเสริม เนื่องจากยังคงมีปริมาณพรีไบโอติก/ใยอาหาร ตลอดจนโปรตีนและไขมันในปริมาณสูง และ/หรือใช้เป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์/การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เพื่อส่งเสริมสุขภาพสัตว์/สัตว์น้ำ เนื่องจากมีปริมาณพรีไบโอติกสูงทดแทนการใช้ยาปฏิชีวนะ (<http://www.united-tech.com/industries/industries/industries/probiotics.html>) ได้

ภาคผนวกที่ 11

การศึกษาคุณภาพของแป้งแค้นตะวันและอินูลินที่สกัดได้ในกรณีที่ใช้วัตถุดิบแค้นตะวันที่ปอกเปลือก/ไม่ ปอกเปลือก และลวก/ไม่ลวก

จากผลการทดลองในภาคผนวกที่ 10 แสดงให้เห็นว่าในกระบวนการเตรียมตัวอย่างแค้นตะวันเพื่อสกัดอินูลินนั้น ไม่ควรปอกเปลือกหัวแค้นตะวันเนื่องจากในเปลือกแค้นตะวันมีปริมาณอินูลินสูง ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการ pretreatment หัวแค้นตะวัน โดยศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพของแป้งแค้นตะวันและอินูลินที่สกัดได้ในกรณีที่ใช้วัตถุดิบแค้นตะวันที่ปอกเปลือก/ไม่ปอกเปลือก และลวก/ไม่ลวก

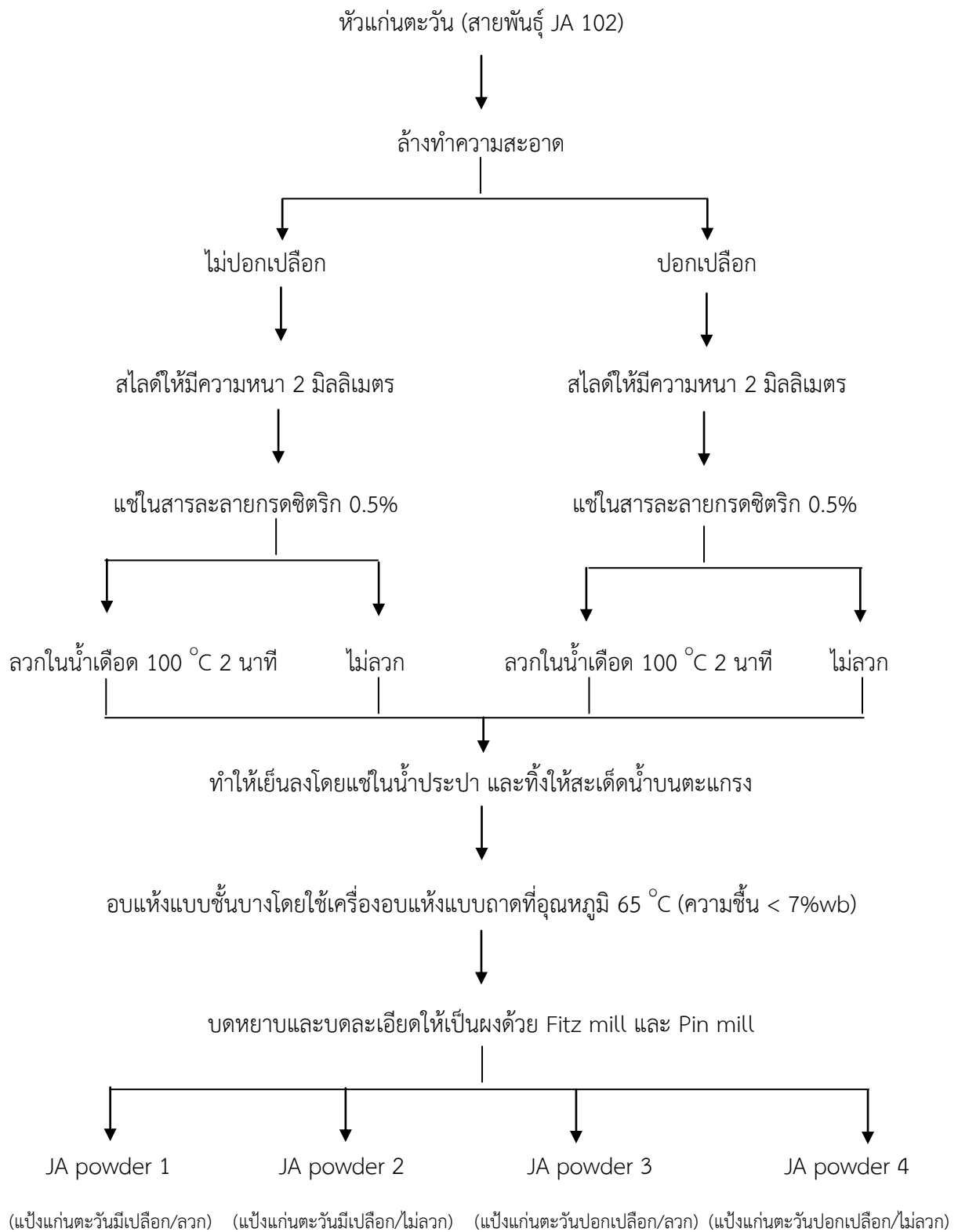
ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างแป้งแค้นตะวันและผงอินูลิน

ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างแป้งแค้นตะวันที่ใช้ในการศึกษาจากวัตถุดิบแค้นตะวัน แสดงในภาพผนวกที่ 11.1 โดยมีตัวอย่างแป้งแค้นตะวันทั้งหมด 4 ชนิด ประกอบด้วย

1. แป้งแค้นตะวันที่เตรียมจากหัวแค้นตะวันที่มีเปลือก/ลวก (JA powder 1; JAP1)
2. แป้งแค้นตะวันที่เตรียมจากหัวแค้นตะวันที่มีเปลือก/ไม่ลวก (JA powder 2; JAP2)
3. แป้งแค้นตะวันที่เตรียมจากหัวแค้นตะวันที่ปอกเปลือก/ลวก (JA powder 3; JAP3)
4. แป้งแค้นตะวันที่เตรียมจากหัวแค้นตะวันที่ปอกเปลือก/ไม่ลวก (JA powder 4; JAP4)

ตัวอย่างแป้งแค้นตะวันทั้ง 4 ชนิดถูกนำไปวิเคราะห์ค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพในด้านต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- ความชื้น
- ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)
- ค่าสี (L^* , a^* และ b^*)
- การกระจายขนาดของอนุภาค (particle size distribution)
- ปริมาณน้ำตาล ฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์ และอินูลิน (Judprasong *et al.*, 2011)
- โครงสร้างระดับจุลภาค



ภาพผนวกที่ 11.1 กระบวนการผลิตแป้งแค้นตะวัน 4 ตัวอย่าง ที่ผ่านการ pretreatment แตกต่างกัน (ปอกเปลือก/ไม่ปอกเปลือก และลวก/ไม่ลวก)

นอกจากนี้ ตัวอย่างแป้งแค้นตะวันถูกนำไปผ่านกระบวนการสกัดอินูลินโดยใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 85 °C เป็นระยะเวลา 30 นาที หลังจากนั้น นำสารสกัดที่ได้ไปทำให้เข้มข้นโดยการระเหยน้ำด้วย hot plate stirrer โดยระหว่างการระเหยน้ำควบคุมอุณหภูมิตัวอย่างไม่ให้เกิน 100 °C กระทั่งสารสกัดอินูลินซึ่งตอนเริ่มต้นมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ 2 °Brix มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเป็น 30 °Brix ต่อมานำสารสกัดเข้มข้นที่ได้ไปทำแปรรูปให้เป็นผงโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray dryer) กระบวนการผลิตผงอินูลินจากตัวอย่างแป้งแค้นตะวันถูกแสดงดังภาพผนวกที่ 11.2 ในระหว่างกระบวนการผลิตผู้วิจัยได้บันทึกข้อมูลน้ำหนักของสารสกัดในแต่ละขั้นตอนเพื่อใช้ในการคำนวณและวิเคราะห์สมดุลมวลสาร ผลิตภัณฑ์ผงอินูลินที่ได้ถูกนำมาตรวจวิเคราะห์คุณภาพดังต่อไปนี้

- % solubility ของแป้งแค้นตะวันเมื่อนำมาสกัดด้วยน้ำร้อน
- % yield ที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย หรือที่เรียกว่าค่า % powder recovery
- % yield อินูลินที่ได้จากการสกัดแป้งแค้นตะวันด้วยน้ำร้อน
- ความชื้น
- ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)
- ค่าสี (L^* , a^* และ b^*)
- ปริมาณน้ำตาล ฟรักโทโอสิโกแซ็กคาไรด์ และอินูลิน (Judprasong *et al.*, 2011)
- โครงสร้างระดับจุลภาค

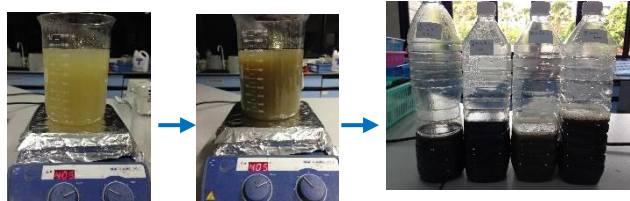




เหวี่ยงแยกตะกอนโดยใช้ Basket centrifuge



สารสกัดอินูลินที่ได้



ทำสารสกัดให้เข้มข้นขึ้นจาก 2 °Brix เป็น 30 °Brix โดยใช้ hot plate stirrer



ทำแห้งโดยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (อุณหภูมิลมร้อนเข้า/ขาออก = 150/90 °C)



อินูลินผง

ภาพผนวกที่ 11.2 กระบวนการสกัดอินูลินจากแป้งแค้นตะวันเพื่อแปรรูปเป็นผงอินูลิน

คุณภาพของแป้งแค้นตะวันและอินูลินที่สกัดได้

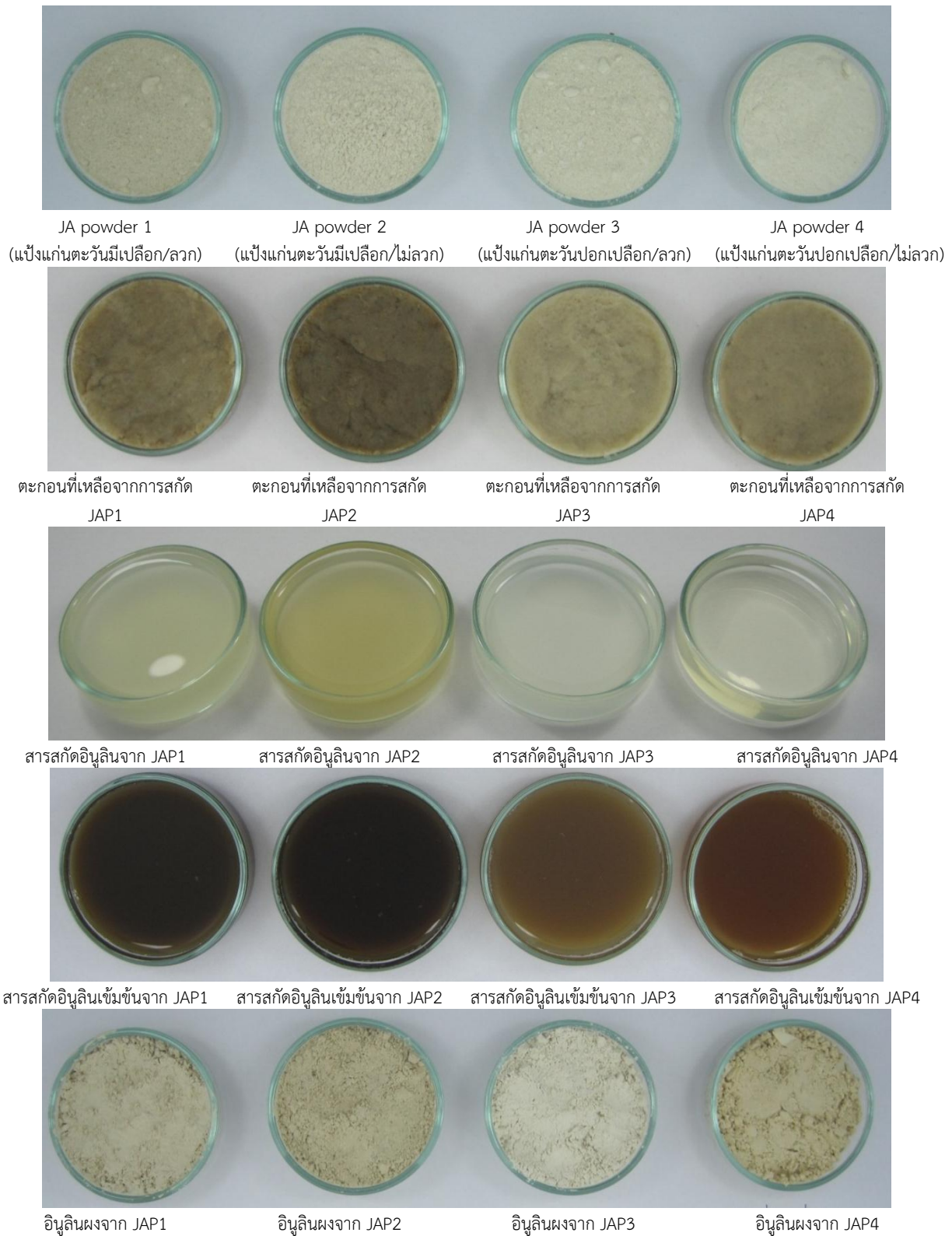
ภาพถ่ายของแป้งแค้นตะวันทั้ง 4 ตัวอย่าง รวมทั้งตะกอน สารสกัดอินูลินที่ได้จากการสกัดด้วยน้ำร้อน สารสกัดอินูลินเข้มข้นและอินูลินผง แสดงดังภาพผนวกที่ 11.3 จากรูปจะเห็นได้ว่า แป้งแค้นตะวันในกรณีที่มีเปลือก/ลวก (JAP1) มีสีเข้มที่สุด ส่วนแป้งแค้นตะวันในกรณีที่ปอกเปลือก/ไม่ลวก (JAP4) มีสีสว่างที่สุด Takeuchi and Nagashima (2011) รายงานว่า เปลือกของแค้นตะวันมีสารพอลิฟีนอลซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการเกิดสารสีน้ำตาลเนื่องจากกิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (PPO) มากกว่าเนื้อของหัวแค้นตะวัน และเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสของหัวแค้นตะวัน 84% อยู่ที่เปลือก (Zawistowski *et al.*, 1986) นอกจากนี้ โดยปกติแล้วเปลือกของแค้นตะวันจะมีสีน้ำตาลอ่อน ซึ่งเป็นสีที่เข้มกว่าส่วนที่เป็นเนื้อภายในหัวแค้นตะวัน ศิริพร และคณะ (2012) รายงานว่า หัวแค้นตะวันสายพันธุ์ JA 102 มีส่วนที่กินได้ 75.80% เปลือก 24.20% พร้อมทั้งระบุว่า การปอกเปลือกเป็น pretreatment ขั้นตอนหนึ่งที่จะช่วยลดสีน้ำตาลอ่อนของแป้งแค้นตะวันอันเกิดจากสีของเปลือกแค้นตะวัน นอกจากนี้ การปอกเปลือกยังเป็นการลดปริมาณสารพอลิฟีนอลซึ่งเป็นสารตั้งต้นและเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส จึงช่วยทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ลดลง จากกระบวนการผลิตในภาพผนวกที่ 11.1 จะเห็นได้ว่าแค้นตะวันสดหั่นขึ้นทั้ง 4 ตัวอย่างผ่านการแช่กรดซิตริก 0.5% ทันทีหลังจากผ่านการสไลด์เพื่อลดการเกิดสีน้ำตาล เนื่องจากวิภาวี (2551) รายงานว่า การแช่แค้นตะวันในสารละลายกรดซิตริก 0.5% ก่อนนำไปอบแห้งช่วยลดการเกิดสีน้ำตาลในตัวอย่างได้

ในงานวิจัยนี้มีการศึกษาผลของการลวก/ไม่ลวก ขึ้นแค้นตะวัน ที่มีต่อคุณภาพของแป้งแค้นตะวันและอินูลินที่สกัดได้ โดยใช้สภาวะการลวกที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นระยะเวลา 2 นาที เนื่องจากเป็นสภาวะที่สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อินูลินเนส (inulinase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ย่อยอินูลินและพรีโทโอลิโกแซ็กคาไรด์ที่ทำให้ความยาวของสายโซ่ (degree of polymerization: DP) ของอินูลินและพรีโทโอลิโกแซ็กคาไรด์สั้นลงได้ Kang *et al.* (1998) ระบุว่า เอนไซม์อินูลินเนสถูกยับยั้งกิจกรรมได้อย่างสมบูรณ์เมื่อให้ความร้อนถึงอุณหภูมิ 60 °C และหากอ้างอิงจากงานวิจัยของ Takeuchi และ Nagashima (2011) ที่ได้ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการอบแห้งแค้นตะวันที่มีเปลือกที่อุณหภูมิ 60 °C ทั้งในกรณีลวก/ไม่ลวก พบว่าความร้อนที่ตัวอย่างได้รับในระหว่างการอบแห้งเพียงพอต่อการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อินูลินเลส อย่างไรก็ตาม ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิดังกล่าวไม่เพียงพอต่อการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (PPO) ดังนั้น การลวกขึ้นแค้นตะวันในน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นระยะเวลา 2 นาที ก่อนนำไปอบแห้งจะสามารถช่วยลด

การเกิดสีน้ำตาลอันเนื่องมาจากการทำงานของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (PPO) ได้ ซึ่งหากไม่ยับยั้งเอนไซม์ PPO จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษาได้

เมื่อพิจารณาภาพผนวกที่ 11.3 จะเห็นได้ว่า การลวกทำให้แป้งแ่งกะวันมีสีเข้มมากกว่าไม่ลวก นั่นคือ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างที่มีเปลือก พบว่าแป้งแ่งกะวันมีเปลือก/ลวก (JAP1) มีสีเข้มกว่าแป้งแ่งกะวันมีเปลือก/ไม่ลวก (JAP2) ส่วนตัวอย่างที่ไม่มีเปลือก แป้งแ่งกะวันปอกเปลือก/ลวก (JAP3) สีเข้มกว่าแป้งแ่งกะวันปอกเปลือก/ไม่ลวก (JAP4) ทั้งนี้คาดว่าเพราะ (1) การลวกทำให้เอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสชนิดที่ละลายน้ำได้เกิดปฏิกิริยากับสารพอลิฟีนอลได้ดีกว่าขึ้นแ่งกะวันที่ไม่ลวก จึงเกิดสีน้ำตาลอันเป็นผลจากปฏิกิริยาของเอนไซม์มากกว่าและส่งผลทำให้สีของขึ้นแ่งกะวันเข้มกว่า และ (2) การลวกทำให้เกิดสีน้ำตาลอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดมากกว่าการไม่ลวก เนื่องจากความร้อนเป็นตัวเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าว โดยปฏิกิริยาเมลลาร์ดเป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ แต่อาศัยน้ำตาลรีดิวซ์และกรดอะมิโนในขึ้นแ่งกะวันเป็นสารตั้งต้น (จากข้อมูลองค์ประกอบของแป้งแ่งกะวันที่มีเปลือกและผ่านการลวก ในตารางผนวกที่ 7.1 พบว่ามี คาร์โบไฮเดรต 79.55% และโปรตีน 11.3% wb)

จากการนำแป้งแ่งกะวันทั้ง 4 ชนิดไปสกัดอินูลินด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 85 °C เป็นเวลา 30 นาที ตามกระบวนการในภาพผนวกที่ 11.2 พบว่าตะกอนและสารสกัดอินูลินที่แยกได้จากขั้นตอน Basket centrifuge ในกรณีที่ใช้แป้งแ่งกะวันที่มีเปลือก จะมีสีน้ำตาลเข้มกว่ากรณีที่ใช้แป้งแ่งกะวันที่ปอกเปลือก โดยตะกอนและสารสกัดอินูลินจากแป้งแ่งกะวันที่มีเปลือก/ไม่ลวก (JAP2) มีสีเข้มที่สุด รองลงมาคือตะกอนและสารสกัดอินูลินของแป้งแ่งกะวันมีเปลือก/ลวก (JAP1) ปอกเปลือก/ไม่ลวก (JAP4) และ ปอกเปลือก/ลวก (JAP3) ตามลำดับ การที่สีของตะกอนและสารสกัดในกรณีที่ใช้แป้งแ่งกะวันที่ไม่ผ่านการลวกมีสีที่เข้มเนื่องจากในแป้งแ่งกะวันที่ไม่ผ่านการลวกยังคงมีปริมาณสารพอลิฟีนอลและเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสมากกว่าตัวอย่างที่ลวก เนื่องจากในกรณีที่ลวกจะมีสารพอลิฟีนอลบางส่วนสูญเสียไปกับน้ำที่ใช้ลวก และปฏิกิริยาของเอนไซม์ถูกยับยั้ง นอกจากนี้ในกรณีที่ลวก ตัวอย่างจะมีการสูญเสียน้ำตาลรีดิวซ์และกรดอะมิโนบางส่วนไปกับน้ำที่ใช้ลวก ส่งผลให้ปริมาณสารตั้งต้นที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดในระหว่างกระบวนการสกัดด้วยน้ำร้อนลดน้อยลง



ภาพผนวกที่ 11.3 แป้งแค้นตะวันที่มีเปลือก/ปอกเปลือก และลวก/ไม่ลวก ตะกอนและสารสกัดอินูลินที่ได้จากการสกัดด้วยน้ำร้อน สารสกัดอินูลินที่ทำให้เข้มข้นและอินูลินจากการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ในกระบวนการแปรรูปสารสกัดอินูลินให้เป็นผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยดังแสดงในภาพผนวกที่ 11.2 นั้น จะมีขั้นตอนการทำให้สารสกัดให้เข้มข้นขึ้นโดยนำสารสกัดอินูลินที่มีของแข็งที่ละลายน้ำได้เริ่มต้นประมาณ 2 °Brix ไประเหยนํ้าออกจนกระทั่งมีระดับความเข้มข้น 30 °Brix โดยใช้ hot plate stirrer อุณหภูมิสูงสุดของสารสกัดที่บันทึกระหว่างกระบวนการระเหยนํ้า ซึ่งใช้ระยะเวลา 9-10 ชั่วโมง คือ 95-100 °C ดังนั้น ในขั้นตอนการระเหยนํ้าดังกล่าวจะก่อให้เกิดสีน้ำตาลเข้มมากยิ่งขึ้นในสารสกัดเนื่องจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด ดังรูปที่แสดงในภาพผนวกที่ 11.3 นอกจากนี้ การระเหยนํ้าออกยังทำให้ความเข้มข้นของสารให้สีต่าง ๆ ที่อยู่ในสารสกัดมีค่ามากขึ้น จึงส่งผลให้ตัวอย่างมีสีที่เข้มข้น จากภาพจะเห็นได้ว่าสารสกัดเข้มข้นจากแป้งแก่นตะวันมีเปลือก (JAP1 และ JAP2) มีสีน้ำตาลเข้มมากกว่าสารสกัดเข้มข้นจากแป้งแก่นตะวันที่ปอกเปลือก (JAP3 และ JAP4) และสารสกัดเข้มข้นจากแป้งแก่นตะวันกรณีไม่ลวก (JAP2 และ JAP4) จะมีสีเข้มกว่ากรณีที่ลวกเปลือก (JAP1 และ JAP3) ในทำนองเดียวกันเมื่อพิจารณาสีของอินูลินผงจากการทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่าอินูลินผงที่เตรียมจากแป้งแก่นตะวันที่ผ่านการลวกมีสีสว่างกว่ากรณีที่ไม่ผ่านการลวก โดยอินูลินผงจากแป้งแก่นตะวันปอกเปลือก/ลวก (JAP3) มีสีสว่างที่สุด

จากการวัดค่าสี (ค่าความสว่าง (L^*), ค่าสีแดง (a^*) และ ค่าสีเหลือง (b^*)) ของแป้งแก่นตะวัน ตะกอนสารสกัดอินูลินที่ได้จากการสกัดด้วยนํ้าร้อน สารสกัดอินูลินที่ทำให้เข้มข้นและอินูลินผงจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยพบว่า ผลการวัดค่าสีดังแสดงในตารางผนวกที่ 11.1 มีความสอดคล้องกับสีของตัวอย่างที่แสดงในภาพของภาคผนวกที่ 11.3 กล่าวคือ ตัวอย่างที่มีสีเข้มกว่าจะมีค่าความสว่าง (L^*) น้อยกว่า

ตารางผนวกที่ 11.1 ค่าสีของแป้งแก่นตะวัน ตะกอนและสารสกัดอินูลินที่ได้จากการสกัดด้วยน้ำร้อน สารสกัด

อินูลินที่ทำให้เข้มข้น และอินูลินผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย

Sample	Color		
	L*	a*	b*
Jerusalem artichoke powder (JAP)			
JAP 1 (with peel and blanched)	72.38 ^d ± 0.24	0.27 ^a ± 0.05	13.56 ^a ± 0.17
JAP 2 (with peel and no blanched)	84.07 ^b ± 0.06	-0.14 ^b ± 0.03	11.44 ^c ± 0.03
JAP 3 (peeled and blanched)	83.70 ^c ± 0.08	-0.82 ^c ± 0.01	12.22 ^b ± 0.04
JAP 4 (peeled and no blanched)	86.89 ^a ± 0.18	-0.93 ^d ± 0.02	10.84 ^d ± 0.05
Sludge from extraction			
Sludge 1 (JAP 1)	49.86 ^c ± 0.56	1.99 ^b ± 0.02	18.46 ^a ± 0.17
Sludge 2 (JAP 2)	39.15 ^d ± 0.05	3.30 ^a ± 0.19	18.39 ^a ± 0.17
Sludge 3 (JAP 3)	61.01 ^a ± 0.05	-0.44 ^d ± 0.04	16.68 ^c ± 0.05
Sludge 4 (JAP 4)	54.69 ^b ± 0.12	0.70 ^c ± 0.06	17.22 ^b ± 0.09
Inulin extract after basket centrifugation			
Extract 1 (JAP 1)	53.01 ^c ± 0.90	-1.79 ^c ± 0.16	12.68 ^b ± 0.18
Extract 2 (JAP 2)	50.63 ^d ± 0.31	-0.08 ^a ± 0.06	20.81 ^a ± 0.13
Extract 3 (JAP 3)	57.31 ^b ± 0.73	-1.29 ^b ± 0.01	4.32 ^d ± 0.09
Extract 4 (JAP 4)	61.63 ^a ± 0.66	-1.72 ^c ± 0.01	5.19 ^c ± 0.08
Concentrated inulin after evaporation			
Concentrate 1 (Extract 1)	13.83 ^b ± 0.24	2.04 ^b ± 0.17	10.90 ^b ± 0.40
Concentrate 2 (Extract 2)	7.85 ^d ± 0.11	2.31 ^b ± 0.09	7.70 ^c ± 0.19
Concentrate 3 (Extract 3)	20.94 ^a ± 0.28	2.17 ^b ± 0.24	11.76 ^a ± 0.08
Concentrate 4 (Extract 4)	9.73 ^c ± 0.39	5.98 ^a ± 0.01	11.79 ^a ± 0.48
Spray dried inulin extracted from JAP			
Inulin 1 (JAP 1)	77.43 ^b ± 0.09	0.45 ^b ± 0.03	14.39 ^c ± 0.06
Inulin 2 (JAP 2)	71.59 ^d ± 0.03	1.64 ^a ± 0.02	17.02 ^b ± 0.06
Inulin 3 (JAP 3)	84.08 ^a ± 0.14	-0.44 ^c ± 0.02	11.08 ^d ± 0.10
Inulin 4 (JAP 4)	75.07 ^c ± 0.17	1.70 ^a ± 0.06	19.88 ^a ± 0.01

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งของตัวอย่างแต่ละกลุ่ม (JAP1-JAP4) แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$); L* แสดงถึง ความสว่าง ($0 \leq L \leq 100$) ในขณะที่ a*(+), a*(-), b*(+) และ b*(-) แสดงค่า สีแดง, สีเขียว, สีเหลือง และสีน้ำเงิน ตามลำดับ; ผลการทดลองได้จากการวัดค่า 3 ซ้ำ

ผลการวัดค่าความชื้นและค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของแป้งแค้นตะวัน ตะกอนและอินูลินผงที่ได้จากแป้งแค้นตะวันที่ผ่านการ pretreatment ทั้ง 4 ตัวอย่าง (JAP1-JAP4) แสดงดังตารางผนวกที่ 11.2 จากผลการทดลองพบว่า ค่าความชื้นและค่า pH ของตัวอย่างที่ได้จากแป้งแค้นตะวันที่ผ่านการ pretreatment ทั้ง 4 แบบมีค่าใกล้เคียงกัน โดยความชื้นของแป้งแค้นตะวันมีค่าอยู่ในช่วง 5.7 – 6.8% wb ส่วนความชื้นกากของแป้งแค้นตะวันหลังการสกัดอินูลินที่ได้จากการปั่นเหวี่ยงแยกกากด้วย Basket centrifuge คือ 87.4 – 89.7% wb และอินูลินที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย มีความชื้น 4.8 – 6.4% wb ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของแป้งแค้นตะวันและอินูลินผง อยู่ในช่วง 5.52 – 5.91 และ 5.67 – 6.65 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่า pH ที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสอยู่ระหว่าง 5-7 (นิธิยา, 2545) ทำใหเมื่อนำแป้งแค้นตะวันไปสกัดด้วยน้ำร้อนจึงเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ได้โดยเฉพาะในกรณีที่ตัวอย่างไม่ผ่านการลวกด้วยน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 °C นาน 2 นาที

ตารางผนวกที่ 11.2 ความชื้นและค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของแป้งแแก่นตะวัน ตะกอนและอินูลินผงจาก แป้งแแก่นตะวันแต่ละชนิด

Sample	Moisture content (% wb)	pH
Jerusalem artichoke powder (JAP)		
JAP 1 (with peel and blanched)	6.8 ^a ± 0.07	5.88 ± 0.00
JAP 2 (with peel and no blanched)	5.7 ^d ± 0.02	5.54 ± 0.00
JAP 3 (peeled and blanched)	6.1 ^c ± 0.01	5.91 ± 0.01
JAP 4 (peeled and no blanched)	6.4 ^b ± 0.03	5.52 ± 0.02
Sludge from extraction		
Sludge 1 (JAP 1 extraction)	88.2 ^b ± 0.21	-
Sludge 2 (JAP 2 extraction)	88.1 ^b ± 0.14	-
Sludge 3 (JAP 3 extraction)	89.7 ^a ± 0.10	-
Sludge 4 (JAP 4 extraction)	87.4 ^c ± 0.07	-
Inulin extracted from JAP		
Inulin 1 (extracted from JAP 1)	4.8 ^c ± 0.05	5.75 ± 0.00
Inulin 2 (extracted from JAP 2)	6.4 ^a ± 0.22	5.67 ± 0.03
Inulin 3 (extracted from JAP 3)	5.2 ^b ± 0.06	5.90 ± 0.02
Inulin 4 (extracted from JAP 4)	5.2 ^b ± 0.14	6.65 ± 0.01

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งของตัวอย่างแต่ละกลุ่ม (JAP1-JAP4) แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$); ผลการทดลองได้จากการวัดค่า 3 ซ้ำ

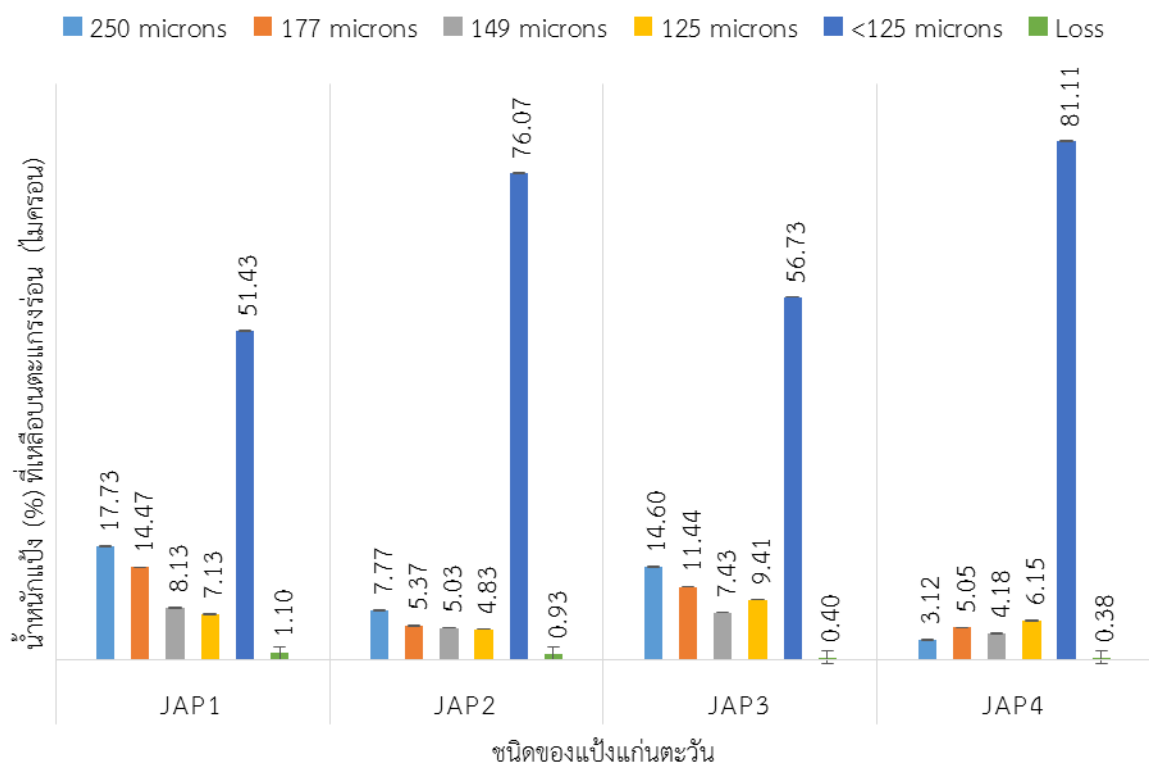
ในงานวิจัยนี้ได้นำแป้งแแก่นตะวันเริ่มต้นปริมาณ 300 กรัม ไปสกัดอินูลินด้วยน้ำร้อน ซึ่งน้ำหนักระตะกอนที่แยกได้จาก basket centrifuge นำตะกอนไปหาค่าความชื้น เพื่อใช้คำนวณปริมาณของแข็งทั้งหมดที่อยู่ในตะกอนดังกล่าว แล้วนำปริมาณของแข็งทั้งหมดที่อยู่ในตะกอนไปหักออกจากน้ำหนักแห้งของแป้งแแก่นตะวันเริ่มต้น เพื่อคำนวณหาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในสารสกัดซึ่งคาดว่าจะมีอินูลินละลายอยู่เป็นส่วนใหญ่ เพราะอินูลินเป็นองค์ประกอบหลักในแป้งแแก่นตะวันและสามารถละลายได้ในน้ำร้อน จากผลการคำนวณในตารางผนวกที่ 11.3 แสดงให้เห็นว่า % solubility ของแป้งแแก่นตะวันที่ไม่ลวก (JAP2 และ JAP4) มีค่าสูงกว่าแป้งแแก่นตะวันที่ลวก (JAP1 และ JAP3) โดยแป้งแแก่นตะวันปอกเปลือก/ไม่ลวก (JAP4) มีค่า % solubility

มากที่สุดคือ 80.24% รองลงมาคือ แป้งแค้นตะวันมีเปลือก/ไม่ลอก (JAP2) แป้งแค้นตะวันปอกเปลือก/ลอก (JAP3) และ แป้งแค้นตะวันมีเปลือก/ลอก (JAP1) โดยมีค่าเท่ากับ 72.17, 62.77 และ 59.05% ตามลำดับ กฤติกา และสุนทร (2556) รายงานว่าการลวกมีผลให้ผงแป้งแค้นตะวันมีความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับผลการทดลองจากงานวิจัยนี้ที่มีแนวโน้มเดียวกัน คือ น้ำหนักของตะกอนที่ได้จาก Basket centrifuge ของแป้งแค้นตะวันที่ผ่านการลวก (JAP1 และ JAP3) มีค่าเท่ากับ 967 และ 1,017 กรัม ซึ่งมากกว่าน้ำหนักตะกอนแป้งแค้นตะวันที่ไม่ลวก (JAP2 และ JAP4) ที่ซั่งได้ 661 และ 442 กรัม ตามลำดับ การที่การลวกมีผลทำให้แป้งแค้นตะวันมีความสามารถในการอุ้มน้ำมากขึ้นส่งผลให้อนุภาคผงแป้งมีการพองตัว และเป็นอุปสรรคขัดขวางการสกัดเอาสารอินูลินออกมาจากอนุภาคของแป้งแค้นตะวันได้ นอกจากนี้ จะเห็นได้ว่ากรณีที่ไม่ปอกเปลือกจะมีค่า % solubility สูงกว่ากรณีที่ไม่ปอกเปลือก ซึ่งคาดว่าเป็นเพราะในเปลือกแค้นตะวันมีปริมาณ Fiber ซึ่งไม่สามารถละลายน้ำได้สูงกว่าส่วนที่เป็นเนื้อของหัวแค้นตะวัน ซึ่งการสกัดอินูลินออกจากแป้งแค้นตะวันซึ่งมีสัดส่วน Fiber เป็นองค์ประกอบมากกว่าจะทำให้ยากกว่า เนื่องจาก Fiber จะกักเก็บอินูลินไว้ในโครงสร้างและกีดขวางการเคลื่อนที่ออกมาของอินูลิน (ข้อมูลองค์ประกอบของเปลือกแค้นตะวันถูกแสดงในตารางผนวกที่ 7.1 พบว่ามี Fiber ซึ่งไม่สามารถละลายน้ำได้ 10.66% wb หรือ 11.43% db ในขณะที่แป้งแค้นตะวันบดทั้งเปลือกมี Fiber ซึ่งไม่สามารถละลายน้ำได้ 9.50% wb หรือ 10.00% db)

ตารางผนวกที่ 11.3 น้ำหนักและความชื้นของแป้งแค้นตะวันและตะกอนที่นำมาคำนวณเปอร์เซ็นต์ของแข็งที่ละลายน้ำได้ของแป้งแค้นตะวัน (JAP1 –JAP4) ในกระบวนการสกัดอินูลิน

	JAP 1	JAP2	JAP3	JAP4
JAP (g wb)	300	300	300	300
Moisture content of JAP (%wb)	6.75	5.68	6.09	6.39
Solid in JAP (g db)	279.75	282.96	281.73	280.83
Weight of sludge after extraction (g wb)	967	661	1017	442
Moisture content of sludge (%wb)	88.15	88.09	89.69	87.44
Solid in sludge (g db)	114.56	78.74	104.88	55.50
Soluble solid in extract (g)	165.19	204.22	176.85	225.33
Solubility (%)	59.05	72.17	62.77	80.24

ในงานวิจัยนี้ได้มีการนำแป้งแค้นตะวันไปแยกขนาดของอนุภาคโดยใช้วิธีการแยกด้วยตะแกรงร่อนขนาด Sieve mesh# 60, 80, 100 และ 120 (250, 177, 149 และ 125 ไมโครเมตร) ด้วย Sieve shaker หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักแป้งแค้นตะวันที่แยกได้บนตะแกรงร่อนแต่ละขนาดและนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแป้งที่เหลือบนตะแกรงร่อนแต่ละขนาด ได้ผลการทดลองดังแสดงในภาพผนวกที่ 11.4 จากกราฟแสดงให้เห็นว่า แป้งแค้นตะวันทั้ง 4 ตัวอย่างมีขนาดอนุภาคของเม็ดแป้งที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาดความละเอียด 125 ไมครอนมากกว่าอนุภาคขนาดอื่น แสดงว่าอนุภาคผงส่วนใหญ่มีขนาดเล็กกว่า 125 ไมครอน โดยแป้งแค้นตะวันที่ผ่านการลวก มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแป้งที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 125 ไมครอน น้อยกว่าแป้งแค้นตะวันที่ไม่ผ่านการลวก เมื่อเรียงลำดับเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแป้งที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาดความละเอียด 125 ไมครอนพบว่า แป้งแค้นตะวันปอกเปลือก/ไม่ลวก (JAP4) มีปริมาณมากที่สุด คือ 81.11% รองลงมา ได้แก่ แป้งแค้นตะวันมีเปลือก/ไม่ลวก (JAP2) แป้งแค้นตะวันปอกเปลือก/ลวก (JAP3) และแป้งแค้นตะวันมีเปลือก/ลวก (JAP1) ที่มีปริมาณ 76.06, 56.73 และ 51.43% ตามลำดับ

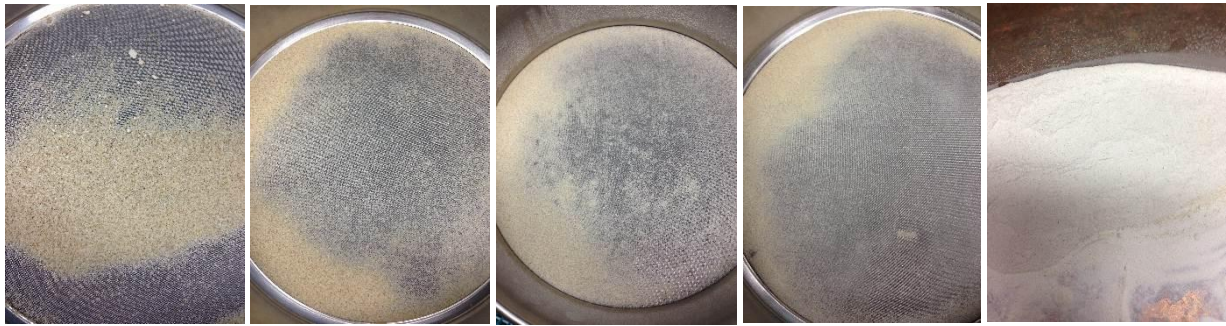


ภาพผนวกที่ 11.4 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของแป้งที่เหลือบนตะแกรงร่อนแต่ละขนาด

เมื่อพิจารณาผลการทดลองในภาพผนวกที่ 11.4 ร่วมกับ % solubility ของแป้งแค้นตะวันแต่ละชนิด ที่แสดงในตารางผนวกที่ 11.3 พบว่ามีความสัมพันธ์กัน นั่นคือ % solubility ของแป้งแค้นตะวันจะมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับขนาดของอนุภาคผง โดยหากแป้งแค้นตะวันมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแป้งที่มีขนาดอนุภาคเล็ก เช่น เล็กกว่า 125 ไมครอน ในปริมาณมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่อยู่ในน้ำสกัด (ซึ่งส่วนใหญ่คือ สารอินูลิน) มีค่ามากขึ้น ผลคือค่า % solubility ก็สูงขึ้น เช่น แป้งแค้นตะวันที่ได้จากกรณีปอกเปลือก/ไม่ลวก (JAP4) ที่มีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่า 125 ไมครอนในสัดส่วนที่สูงที่สุดคือ 81.11% ก็จะมีค่า % solubility สูงที่สุดคือ 80.24 ในขณะที่แป้งแค้นตะวันที่ได้จากกรณีไม่ปอกเปลือก/ลวก (JAP1) ซึ่งมีสัดส่วนของอนุภาคที่เล็กกว่า 125 ไมครอน น้อยที่สุดคือ 51.43% ก็จะมีค่า % solubility น้อยที่สุดคือ 59.05% การที่ % solubility ของแป้งแค้นตะวันมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับขนาดของอนุภาคผง มีสาเหตุเนื่องจากเมื่อขนาดอนุภาคผงมีค่าลดลงจะทำให้มีค่าพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างผงแป้งกับน้ำร้อนต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักผงแป้งสูงขึ้น ผลที่ตามมาคือประสิทธิภาพในการสกัดสารอินูลินออกจากแป้งแค้นตะวันก็จะดียิ่งขึ้น สำหรับสาเหตุที่ในกรณีที่ลวกขึ้นแค้นตะวันแล้วทำให้ขนาดอนุภาคของผงแป้งที่ได้มีค่ามากขึ้น คาดว่าเกิดจากการที่โครงสร้างของแค้นตะวันมีการเปลี่ยนแปลง เช่น เกิดการบวมและขยายตัว หรือมีความเหนียวมากขึ้น หลังจากได้รับความร้อนและความชื้นจากการลวก เมื่อนำขึ้นแค้นตะวันที่ผ่านการลวกแล้วไปทำแห้งแล้วบดเป็นผงแป้งจึงมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่ากรณีที่ไม่ลวก ถึงแม้ว่าจะใช้อุปกรณ์และกำลังในการบดเหมือนกัน ส่วนการที่ผงแป้งแค้นตะวันในกรณีที่ไม่ปอกเปลือกมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่ากรณีที่ปอกเปลือกคาดว่าเพราะกรณีที่ปอกเปลือกจะทำให้ผงแป้งแค้นตะวันมี Fiber เป็นองค์ประกอบมากกว่ากรณีที่ปอกเปลือก ซึ่ง Fiber เป็นของแข็งที่มีความเหนียวและบดให้ละเอียดได้ยากกว่าของแข็งชนิดอื่นที่อยู่ในแป้งแค้นตะวัน เช่น โปรตีน และน้ำตาล

ภาพผนวกที่ 11.5 แสดงลักษณะปรากฏของแป้งแค้นตะวันที่เหลืออยู่บนตะแกรงร่อนขนาดความละเอียดต่าง ๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่า แป้งแค้นตะวันกรณีมีเปลือก/ไม่ลวก (JAP2) มีองค์ประกอบที่มีสีน้ำตาลมากกว่า แป้งแค้นตะวันปอกเปลือก/ไม่ลวก (JAP4) สอดคล้องกับผลการวัดค่าสีในตารางผนวกที่ 11.1 ซึ่งพบว่าค่าความสว่าง (L^*) ของที่แป้งแค้นตะวันปอกเปลือก/ไม่ลวก (JAP4) ที่มากกว่า และค่าสีเหลือง (b^*) ที่น้อยกว่า แป้งแค้นตะวันมีเปลือก/ไม่ลวก (JAP2) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากรูปแสดงให้เห็นว่า ผงแป้งที่มีขนาดอนุภาคใหญ่น่าจะเป็นส่วนที่มีองค์ประกอบเป็น Fiber มาก เช่น ส่วนที่เป็นเปลือก เนื่องจากมีสีที่เข้มและมีปริมาณมากในกรณีที่แป้งแค้นตะวันมีเปลือก/ไม่ลวก (JAP2) ซึ่งสอดคล้องกับการวิจารณ์ผลการ

ทดลองในย่อหน้าที่แล้วซึ่งกล่าวว่า การที่ผ่งแบ่งแก่นตะวันในกรณีที่ไม่ปอกเปลือกมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่ากรณี
ที่ปอกเปลือกคาดว่าเป็นเพราะกรณีที่ไม่ปอกเปลือกจะทำให้ผ่งแบ่งแก่นตะวันมี Fiber เป็นองค์ประกอบ
มากกว่ากรณีที่ปอกเปลือก ซึ่ง Fiber เป็นของแข็งที่มีความเหนียวและบดให้ละเอียดได้ยากกว่าของแข็งชนิด
อื่นที่อยู่ในผ่งแบ่งแก่นตะวัน เช่น โปรตีน และน้ำตาล



250 microns

177 microns

149 microns

125 microns

<125 microns

แป้งแก่นตะวันมีเปลือก/ลวก (JAP1)



250 microns

177 microns

149 microns

125 microns

<125 microns

แป้งแก่นตะวันมีเปลือก/ไม่ลวก (JAP2)



250 microns

177 microns

149 microns

125 microns

<125 microns

แป้งแก่นตะวันปอกเปลือก/ไม่ลวก (JAP4)

ภาพผนวกที่ 11.5 แป้งแก่นตะวันที่เหลืออยู่บนตะแกรงร่อนขนาดความละเอียดต่าง ๆ

เมื่อนำตัวอย่างสารสกัดอินูลินเข้มข้นประมาณ 30 °Brix ซึ่งได้จากแบ่งแ่งกันตะวันทั้ง 4 ชนิด ไปแปรรูปเป็นผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย แล้วบันทึกค่าปริมาตรสารสกัดที่ใช้ ปริมาณของแข็งที่อยู่ในสารสกัด ค่าความชื้นและปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ เพื่อใช้คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้ (% yield) ปรากฏว่าได้ผลการทดลองดังตารางผนวกที่ 11.4 จากข้อมูลในตารางแสดงให้เห็นว่า % yield ผงอินูลินที่ได้เมื่อพิจารณาเฉพาะกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย หรือที่เรียกว่าค่า % powder recovery นั้นจะอยู่ในช่วง 80.96 – 91.35% ซึ่งถือว่ามีความสูงมาก ดังนั้น การเติมสารตัวพาจึงไม่มีความจำเป็น โดยมีการสูญเสีย (loss) เกิดขึ้นบ้าง เนื่องจากมีผงอินูลินติดค้างภายในระบบท่อและห้องอบแห้งของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย สำหรับเปอร์เซ็นต์ผลผลิตอินูลินผงที่ได้ (% yield) ในกรณีที่พิจารณาตลอดทั้งกระบวนการผลิต นั้นคือคิดจากปริมาณอินูลินที่ผลิตได้ (ไม่รวมความชื้น) ต่อปริมาณแบ่งแ่งกันตะวันที่ใช้เป็นวัตถุดิบตอนเริ่มต้น (ไม่รวมความชื้น) พบว่า ในกรณีที่ผลิตอินูลินผงจากแบ่งแ่งกันตะวันที่ขึ้นแ่งกันตะวันไม่ผ่านการลวกคือ อินูลินผงจาก JAP2 และ อินูลินผงจาก JAP4 จะมี % yield สูงกว่ากรณีที่ใช้แบ่งแ่งกันตะวันที่ขึ้นแ่งกันตะวันผ่านการลวก คือ อินูลินผงจาก JAP1 และ อินูลินผงจาก JAP3 อย่างชัดเจน โดยกรณีของ JAP2 มีค่า % yield สูงสุด คือ 58.09% ในขณะที่กรณีของ JAP1 มี % yield ต่ำที่สุด คือ 43.81%

ตารางผนวกที่ 11.4 ผลการทดลองแปรรูปสารสกัดอินูลินซึ่งได้จากแบ่งแ่งกันตะวันทั้ง 4 กรณี เป็นผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

	Inulin JAP1	Inulin JAP2	Inulin JAP3	Inulin JAP4
°Brix of extract	29.3	30.3	30.5	30.5
Volume of extract (ml)	500	660	520	700
Estimated yield powder (g)	146.50	199.98	158.60	213.5
Spray dried powder (g including moisture)	130.05	177.82	144.88	172.86
Moisture content of spray dried powder (%wb)	5.77	7.56	5.72	5.95
Spray dried powder (g excluding moisture)	122.55	164.38	136.60	162.57
Solid in JAP (g excluding moisture)	279.75	282.96	281.73	280.83
Yield from spray drying (% powder recovery)	88.77	88.92	91.35	80.96
Yield from JAP (%)	43.81	58.09	48.49	57.89

ตัวอย่างแป้งแค้นตะวันและอินูลินผงที่ผลิตโดยใช้แป้งแค้นตะวันทั้ง 4 กรณี ถูกนำมาตรวจวิเคราะห์ ปริมาณน้ำตาล ฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์ และอินูลิน เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพ วิธีการวิเคราะห์ที่ใช้ในงานวิจัย นี้อ้างอิงตามงานวิจัยของ Judprasong *et al.* (2011) โดยเริ่มต้นจากการชั่งตัวอย่างในปริมาณที่คาดว่าจะมี ปริมาณอินูลินในตัวอย่างนั้นอยู่ประมาณ 1 กรัม สกัดน้ำตาลในตัวอย่างดังกล่าวด้วยน้ำร้อน แล้ววัดปริมาณ น้ำตาลในน้ำสกัด แบ่งสารละลายที่สกัดได้มาย่อยด้วยเอนไซม์อินูลิเนส (Inulinase ของบริษัท Sigma-Aldrich® โดยมี activity 321 INU/G) โดยใช้เอนไซม์ในปริมาณที่มากเพียงพอ ทำการเปลี่ยนรูปแบบของ น้ำตาลจากที่ไม่สามารถระเหยได้ให้อยู่ในสภาพที่สามารถระเหยและตรวจวัดได้ (volatile oxime-trimethylsilyl derivatives) ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatography, GC) ใช้คอลัมน์ Al-clad capillary column (HT-5) ที่เคลือบด้วย 5%-phenyl-polycarboranesiloxane (Restek®, USA) ในขณะที่ปริมาณฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์นั้นตรวจวัดด้วยเครื่อง GC อีกเครื่องหนึ่ง ใช้คอลัมน์ HP-1 capillary fused silica column ที่เคลือบด้วย 100% dimethylpolysiloxane (Agilent® J&W, USA) GC ทั้งสองเครื่องมีลักษณะการฉีดสารละลายแบบ Cool-on column injection และตรวจวัดด้วย Flame Ionization Detector (FID) เปรียบเทียบค่า Retention time ของน้ำตาลและฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์ใน สารละลายตัวอย่าง เทียบกับสารละลายน้ำตาลมาตรฐานชนิดต่าง ๆ (Fructose, glucose, sucrose, GF2, GF3 และ GF4) และคำนวณเป็นปริมาณฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์ และอินูลิน

ปริมาณน้ำตาล ฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์ และอินูลินที่วิเคราะห์ได้ต่อน้ำหนักแห้งของแป้งแค้นตะวัน หรือผงอินูลิน 100 กรัม แสดงในตารางผนวกที่ 11.5 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า แป้งแค้นตะวันที่มี เปลือก/ลวก (JAP1) มีปริมาณน้ำตาลฟรักโทส กลูโคส และซูโครสต่ำกว่าแป้งแค้นตะวันอีก 3 ชนิดอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ ปริมาณของฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์ (GF2, GF3 และ GF4) ของตัวอย่างแป้ง แค้นตะวันทั้ง 4 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยปริมาณรวมของฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์ในแป้งแค้นตะวันชนิด JAP1, JAP2, JAP3 และ JAP4 มีค่าเท่ากับ 15.79, 21.01, 21.81 และ 23.68 กรัม ต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้งของแป้งแค้นตะวัน ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าปริมาณอินูลินในแป้งแค้นตะวัน พบว่า แป้งแค้นตะวันที่มีเปลือก ในกรณีที่ไม่ลวก (JAP1) และไม่ลวก (JAP2) มีปริมาณอินูลินไม่แตกต่างกันอย่างมี นัยสำคัญ นั่นคืออยู่ในช่วง 39.09 – 39.98 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้งของแป้งแค้นตะวัน นอกจากนี้ ผล การทดลองยังแสดงให้เห็นว่าแป้งแค้นตะวันในกรณีที่ไม่ลอกเปลือกมีปริมาณอินูลินต่ำกว่าแป้งแค้นตะวันในกรณี

ที่ไม่ปกเปลือก โดยแบ่งแ่งตะวันในกรณีที่มีเปลือกและลอก (JAP3) มีปริมาณอินูลินน้อยที่สุดคือ 26.14 กรัมต่อ ต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้งของแบ่งแ่งตะวัน ดังนั้น หากต้องการนำแบ่งแ่งตะวันไปเป็นส่วนผสมอาหารแบ่งแ่งตะวันชนิดที่มีเปลือกจะให้ปริมาณอินูลินสูงกว่า โดยเฉพาะแบ่งแ่งตะวันในกรณีที่มีเปลือกและลอก (JAP1) ซึ่งมีปริมาณอินูลินสูงและน้ำตาลต่ำเหมาะสำหรับใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสำหรับผู้บริโภคที่ต้องการควบคุมปริมาณน้ำตาล

เมื่อนำแบ่งแ่งตะวันทั้ง 4 กรณี ไปสกัดอินูลินด้วยน้ำร้อนและทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยให้เป็นอินูลินผง ผลปรากฏว่าอินูลินผงจะมีปริมาณน้ำตาลฟรักโทส กลูโคส และซูโครส ปริมาณฟรักโทโอไลโกแซ็กคาไรด์ และอินูลิน สูงกว่าแบ่งแ่งตะวัน สำหรับตัวอย่างทุกกรณี (JAP1, JAP2, JAP3 และ JAP4) ดังแสดงในตารางผนวกที่ 11.5 เมื่อพิจารณาปริมาณอินูลินที่อยู่ในตัวอย่างอินูลินผง พบว่าผงที่ได้จากการสกัดแบ่งแ่งตะวันที่มีเปลือกทั้งกรณีลอกและไม่ลอก (JAP1 และ JAP2) มีปริมาณอินูลินที่สูงกว่าผงที่ได้จากการสกัดแบ่งแ่งตะวันที่ไม่มีเปลือก (JAP3 และ JAP4) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้น หากต้องการอินูลินผงไปเป็นส่วนผสมในอาหาร อินูลินผงที่ได้จากการสกัดแบ่งแ่งตะวันที่มีเปลือกจะให้ปริมาณอินูลินสูงกว่า โดยเฉพาะอินูลินผงที่ได้จากการสกัดแบ่งแ่งตะวันในกรณีที่มีเปลือกและลอก (JAP1) ซึ่งมีปริมาณอินูลินสูงที่สุดและน้ำตาลต่ำที่สุดจึงเหมาะสำหรับใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสำหรับผู้บริโภคที่ต้องการควบคุมปริมาณน้ำตาล

ตารางผนวกที่ 11.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาล ฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์ และอินูลิน ในตัวอย่างแปงแก่นตะวันและอินูลินผงที่ผลิตโดยใช้แปงแก่นตะวันทั้ง 4 กรณี (JAP1-JAP4)

Sample	Sugar (g/100 g db)			Fructo-oligosaccharide (FOS) (g/100 g db)			Inulin-type fructans (g/100g db)
	Fructose	Glucose	Sucrose	GF2	GF3	GF4	
Jerusalem artichoke powder (JAP)							
JAP 1 (with peel and blanched)	0.01 ^c ± 0.00	0.02 ^b ± 0.00	9.97 ^c ± 1.59	6.71 ^d ± 0.06	4.97 ^d ± 0.05	4.12 ^d ± 0.06	39.09 ^a ± 0.87
JAP 2 (with peel and no blanched)	0.08 ^b ± 0.02	0.03 ^b ± 0.01	24.46 ^b ± 0.33	10.28 ^b ± 0.09	6.37 ^c ± 0.08	4.36 ^c ± 0.11	39.98 ^a ± 0.19
JAP 3 (peeled and blanched)	1.29 ^a ± 0.02	0.33 ^a ± 0.11	23.64 ^b ± 0.32	9.81 ^c ± 0.19	6.97 ^b ± 0.09	5.03 ^a ± 0.11	26.14 ^c ± 0.18
JAP 4 (peeled and no blanched)	0.01 ^c ± 0.00	0.05 ^b ± 0.01	28.00 ^a ± 2.64	11.55 ^a ± 0.17	7.35 ^a ± 0.07	4.78 ^b ± 0.04	33.81 ^b ± 1.44
Inulin extracted from JAP							
Inulin 1 (extracted from JAP 1)	2.27 ^b ± 0.47	0.40 ^{bc} ± 0.12	20.95 ^c ± 0.39	9.83 ^d ± 0.11	7.48 ^c ± 0.14	5.88 ^b ± 0.13	56.29 ^a ± 0.58
Inulin 2 (extracted from JAP 2)	3.49 ^a ± 0.12	0.89 ^a ± 0.10	28.88 ^b ± 0.52	10.74 ^c ± 0.23	7.65 ^{bc} ± 0.05	5.39 ^c ± 0.08	42.11 ^b ± 0.39
Inulin 3 (extracted from JAP 3)	0.70 ^c ± 0.28	0.22 ^c ± 0.06	36.88 ^a ± 2.89	14.42 ^a ± 0.64	9.05 ^a ± 0.37	6.09 ^a ± 0.36	40.27 ^c ± 1.37
Inulin 4 (extracted from JAP 4)	3.45 ^a ± 0.42	0.64 ^{ab} ± 0.30	37.72 ^a ± 0.74	12.45 ^b ± 0.24	8.05 ^b ± 0.15	5.20 ^c ± 0.07	34.68 ^d ± 0.34

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งของตัวอย่างแต่ละกลุ่ม (JAP1-JAP4) แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$); ผลการทดลองได้จากการวัดค่า 3 ซ้ำ

การคำนวณเปรียบเทียบปริมาณอินูลินที่ได้ในตัวอย่างแต่ละกรณีโดยใช้ข้อมูลจากการทดลอง

ในการคำนวณ กำหนดให้ใช้แป้งแกล่นตะวัน 300 กรัม ในกระบวนการสกัด

กรณีที่ 1) แป้งแกล่นตะวันมีเปลือก/ลวก (JAP1)

จากตารางผนวกที่ 11.4 เปอร์เซ็นต์ผลผลิตอินูลินผงที่ได้ (% yield) ในกรณีที่พิจารณาตลอดทั้งกระบวนการผลิต นั่นคือคิดจากปริมาณผงอินูลินที่ผลิตได้ (ไม่รวมความชื้น) ต่อปริมาณแป้งแกล่นตะวันที่ใช้เป็นวัตถุดิบตอนเริ่มต้น (ไม่รวมความชื้น) มีค่าเท่ากับ 43.81%

จากตารางผนวกที่ 11.5 ผงอินูลินมีปริมาณอินูลินจากการวิเคราะห์ด้วย GC = 56.29%
เพราะฉะนั้น ปริมาณอินูลินที่ได้จากการสกัดแป้งแกล่นตะวัน JAP1 300 กรัม

$$\begin{aligned} &= (43.81/100) \times (56.29/100) \times 300 \text{ กรัม} \\ &= 73.98 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

กรณีที่ 2) แป้งแกล่นตะวันมีเปลือก/ไม่ลวก (JAP2)

จากตารางผนวกที่ 11.4 เปอร์เซ็นต์ผลผลิตอินูลินผงที่ได้ (% yield) ในกรณีที่พิจารณาตลอดทั้งกระบวนการผลิต นั่นคือคิดจากปริมาณผงอินูลินที่ผลิตได้ (ไม่รวมความชื้น) ต่อปริมาณแป้งแกล่นตะวันที่ใช้เป็นวัตถุดิบตอนเริ่มต้น (ไม่รวมความชื้น) มีค่าเท่ากับ 58.09%

จากตารางผนวกที่ 11.5 ผงอินูลินมีปริมาณอินูลินจากการวิเคราะห์ด้วย GC = 42.11%
เพราะฉะนั้น ปริมาณอินูลินที่ได้จากการสกัดแป้งแกล่นตะวัน JAP2 300 กรัม

$$\begin{aligned} &= (58.09/100) \times (42.11/100) \times 300 \text{ กรัม} \\ &= 73.38 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

กรณีที่ 3) แป้งแกล่นตะวันปอกเปลือก/ลวก (JAP3)

จากตารางผนวกที่ 11.4 เปอร์เซ็นต์ผลผลิตอินูลินผงที่ได้ (% yield) ในกรณีที่พิจารณาตลอดทั้งกระบวนการผลิต นั่นคือคิดจากปริมาณผงอินูลินที่ผลิตได้ (ไม่รวมความชื้น) ต่อปริมาณแป้งแกล่นตะวันที่ใช้เป็นวัตถุดิบตอนเริ่มต้น (ไม่รวมความชื้น) มีค่าเท่ากับ 48.49%

จากตารางผนวกที่ 11.5 ผงอินูลินมีปริมาณอินูลินจากการวิเคราะห์ด้วย GC = 40.27%

เพราะฉะนั้น ปริมาณอินูลินที่ได้จากการสกัดแบ่งแ่งแ่งแ่งวัน JAP3 300 กรัม

$$= (48.49/100) \times (40.27/100) \times 300 \text{ กรัม}$$

$$= 58.58 \text{ กรัม}$$

กรณีที่ 4) แบ่งแ่งแ่งวันปอกเปลือก/ไม่ลวก (JAP4)

จากตารางผนวกที่ 11.4 เปอร์เซนต์ผลผลิตอินูลินผงที่ได้ (% yield) ในกรณีที่พิจารณาตลอดทั้งกระบวนการผลิต นั่นคือคิดจากปริมาณผงอินูลินที่ผลิตได้ (ไม่รวมความชื้น) ต่อปริมาณแบ่งแ่งแ่งวันที่ใช้เป็นวัตถุดิบตอนเริ่มต้น (ไม่รวมความชื้น) มีค่าเท่ากับ 57.89%

จากตารางผนวกที่ 11.5 ผงอินูลินมีปริมาณอินูลินจากการวิเคราะห์ด้วย GC = 34.68%

เพราะฉะนั้น ปริมาณอินูลินที่ได้จากการสกัดแบ่งแ่งแ่งวัน JAP3 300 กรัม

$$= (57.89/100) \times (34.68/100) \times 300 \text{ กรัม}$$

$$= 60.22 \text{ กรัม}$$

จากผลการคำนวณจะเห็นได้ว่าอินูลินผงที่สกัดจากแบ่งแ่งแ่งวันมีเปลือก/ลวก (Inulin JAP1) มีปริมาณอินูลินที่ได้ต่อแบ่ง 300 กรัมสูงที่สุดคือ 73.98 กรัม รองลงมาคืออินูลินผงที่สกัดจากแบ่งแ่งแ่งวันมีเปลือก/ไม่ลวก (Inulin JAP2) อินูลินผงที่สกัดจากแบ่งแ่งแ่งวันปอกเปลือก/ไม่ลวก (Inulin JAP4) และอินูลินผงที่สกัดจากแบ่งแ่งแ่งวันปอกเปลือก/ลวก (Inulin JAP3) โดยมีปริมาณอินูลินเท่ากับ 73.38, 60.22 และ 58.58 กรัม/แบ่งแ่งแ่งวัน 300 กรัม ตามลำดับ

เมื่อคิดเป็นร้อยละจะได้ว่า

$$\text{อินูลินที่สกัดได้จากแบ่งแ่งแ่งวัน JAP1} = (73.98/300) \times 100 = 24.66\%$$

$$\text{อินูลินที่สกัดได้จากแบ่งแ่งแ่งวัน JAP2} = (73.38/300) \times 100 = 24.46\%$$

$$\text{อินูลินที่สกัดได้จากแบ่งแ่งแ่งวัน JAP3} = (58.58/300) \times 100 = 19.52\%$$

$$\text{อินูลินที่สกัดได้จากแบ่งแ่งแ่งวัน JAP4} = (60.22/300) \times 100 = 20.07\%$$

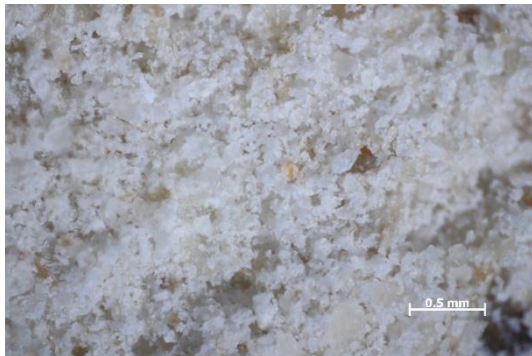
การวิเคราะห์โครงสร้างในระดับจุลภาค

จากการทดลองที่ผ่านมา ผู้วิจัยได้ศึกษาคุณภาพของแป้งแ่งกันตะวันและอินูลินที่สกัดได้ในกรณีที่ใช้วัตถุดิบแ่งกันตะวันที่ปอกเปลือก/ไม่ปอกเปลือก และลวก/ไม่ลวก ในการทดลองส่วนนี้จะเป็นการนำแป้งทั้ง 4 ชนิด หลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือนในถุงอูมิเนียมพอยล์ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งประกอบด้วย แป้งแ่งกันตะวันมีเปลือก/ลวก (JAP1) แป้งแ่งกันตะวันมีเปลือก/ไม่ลวก (JAP2) แป้งแ่งกันตะวันปอกเปลือก/ลวก (JAP3) และแป้งแ่งกันตะวันปอกเปลือก/ไม่ลวก (JAP4) มาวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอไมโครสโคป (stereomicroscope) รุ่น Leica S8 APO (Leica Microsystems Ltd., Germany) และวิเคราะห์โครงสร้างบริเวณชั้นผิวของตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope; SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-6610LV (Seal Laboratories, USA) ผลการทดลองแสดงดังภาพผนวกที่ 11.6 และ 11.7

จากภาพผนวกที่ 11.6 ลักษณะของผงแป้งแ่งกันตะวันจากกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอไมโครสโคป (stereomicroscope) กำลังขยาย 40 เท่า จะเห็นได้ว่าผงแป้งแ่งกันตะวันมีลักษณะเป็นผงละเอียด โดยแป้งแ่งกันตะวันมีเปลือก/ลวก (JAP1) แป้งแ่งกันตะวันมีเปลือก/ไม่ลวก (JAP2) จะมีเศษของเปลือกแ่งกันตะวันปนอยู่เป็นชิ้นสีน้ำตาล สำหรับผงแป้งแ่งกันตะวันปอกเปลือก/ลวก (JAP3) และแป้งแ่งกันตะวันปอกเปลือก/ไม่ลวก (JAP4) เป็นผงขนาดเล็กละเอียด จากการสังเกตสีของแป้งแ่งกันตะวันจะเห็นได้ว่า เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแป้งแ่งกันตะวันที่ลวก กับไม่ลวก พบว่า แป้งแ่งกันตะวันที่ไม่ผ่านการลวกเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน จะมีสีเข้มกว่าแป้งแ่งกันตะวันที่ผ่านการลวก ทั้งนี้อาจเนื่องจากเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสเกิดปฏิกิริยากับสารพอลิฟีนอลในแป้งแ่งกันตะวันที่ไม่ลวก จึงเกิดสีน้ำตาลอันเป็นผลจากปฏิกิริยาของเอนไซม์มากกว่าและส่งผลทำให้สีของแป้งแ่งกันตะวันเข้มกว่า

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาลักษณะพื้นผิวของผงแป้งแ่งกันตะวันจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope; SEM) กำลังขยาย 1,000 เท่า พบว่า การลวกเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อลักษณะโครงสร้างของผงแป้งแ่งกันตะวัน โดยผงแป้งแ่งกันตะวันที่ผ่านการลวก (ตัวอย่างที่มีเปลือก (JAP1) และตัวอย่างที่ปอกเปลือก (JAP3)) มีโครงสร้างที่เป็นรูพรุน ลักษณะที่แตกต่างของผงแป้งแ่งกันตะวันที่ไม่ลวก (ตัวอย่างที่มีเปลือก (JAP2) และตัวอย่างที่ปอกเปลือก (JAP4)) คือมีลักษณะโครงสร้างที่มีรูปร่างกลม ซึ่งจะไม่พบลักษณะโครงสร้างเช่นนี้ในผงแป้งแ่งกันตะวันที่ผ่านการลวก กล่าวได้ว่าโครงสร้างกลมนี้อาจเป็น

องค์ประกอบภายในแก่นตะวันที่สามารถละลายน้ำได้ในน้ำร้อน เช่น น้ำตาล ฟรักโทโอโลโกแซ็กคาไรด์ และ อินูลิน เป็นต้น หรือมีการสูญเสียโครงสร้างไปเมื่อผ่านการลวกด้วยน้ำร้อน 100 °C เป็นเวลา 2 นาที ก่อนการ ทำแห้ง



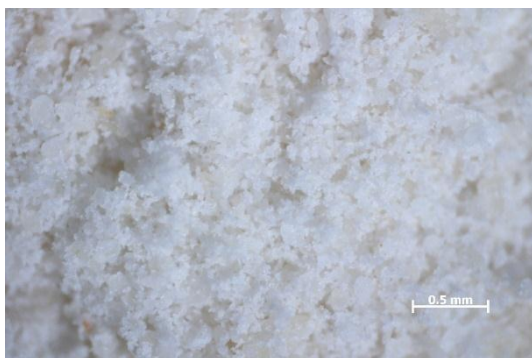
(a)

แป้งแก่นตะวันมีเปลือก/ลวก (JAP1)



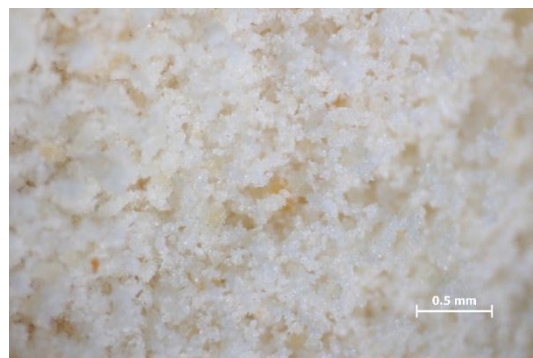
(b)

แป้งแก่นตะวันมีเปลือก/ไม่ลวก (JAP2)



(c)

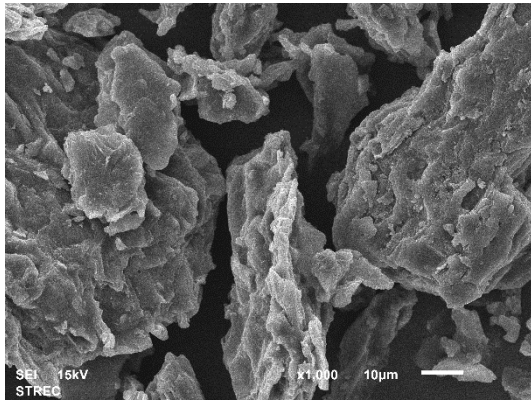
แป้งแก่นตะวันปอกเปลือก/ลวก (JAP3)



(d)

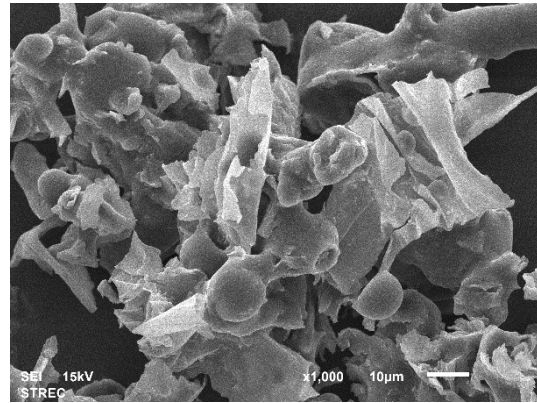
แป้งแก่นตะวันปอกเปลือก/ไม่ลวก (JAP4)

ภาพผนวกที่ 11.6 ลักษณะของผงแป้งแก่นตะวันวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอไมโครสโคป (stereomicroscope) กำลังขยาย 40 เท่า: (a) แป้งแก่นตะวันมีเปลือก/ลวก (JAP1); (b) แป้งแก่นตะวันมีเปลือก/ไม่ลวก (JAP2); (c) แป้งแก่นตะวันปอกเปลือก/ลวก (JAP3); (d) แป้งแก่นตะวันปอกเปลือก/ไม่ลวก (JAP4)



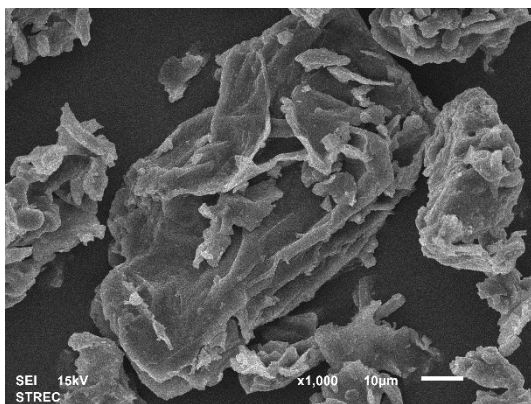
(a)

แป้งแค้นตะวันมีเปลือก/ลอก (JAP1)



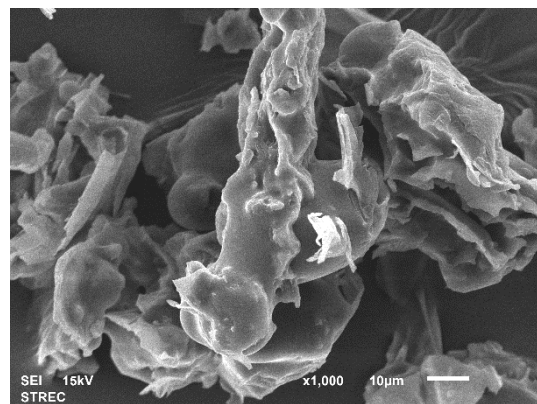
(b)

แป้งแค้นตะวันมีเปลือก/ไม่ลอก (JAP2)



(c)

แป้งแค้นตะวันลอกเปลือก/ลอก (JAP3)



(d)

แป้งแค้นตะวันลอกเปลือก/ไม่ลอก (JAP4)

ภาพผนวกที่ 11.7 ลักษณะพื้นผิวของผงแป้งแค้นตะวันวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope; SEM) กำลังขยาย 1,000 เท่า: (a) แป้งแค้นตะวันมีเปลือก/ลอก (JAP1); (b) แป้งแค้นตะวันมีเปลือก/ไม่ลอก (JAP2); (c) แป้งแค้นตะวันลอกเปลือก/ลอก (JAP3); (d) แป้งแค้นตะวันลอกเปลือก/ไม่ลอก (JAP4)

เมื่อนำแป้งแค้นตะวันทั้ง 4 ชนิดไปสกัดอินูลินและทำแห้งให้เป็นผง แล้ววิเคราะห์ลักษณะของผงแป้งแค้นตะวันจากกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอไมโครสโคป (stereomicroscope) และวิเคราะห์โครงสร้างบริเวณชั้นผิวของตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope; SEM) ผลการทดลองแสดงดังภาพผนวกที่ 11.8 และ 11.9

จากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอไมโครสโคป ดังภาพผนวกที่ 11.8 จะเห็นว่าอินูลินผงมีลักษณะเป็นผงละเอียด จากการสังเกตสีของอินูลินผงที่สกัดจากแป้งแกันตะวันที่ไม่ผ่านการลวก ทั้งชนิดที่มีเปลือก (JAP2) และปอกเปลือก (JAP4) มีสีเข้มกว่าอินูลินผงที่สกัดจากแป้งแกันตะวันผ่านการลวก (JAP1 และ JAP3)

โครงสร้างบริเวณชั้นผิวของอินูลินผงโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope; SEM) พบว่าขนาดอนุภาคของอินูลินผงที่เตรียมจากแป้งแกันตะวันผ่านการลวก (JAP1 และ JAP3) มีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่าขนาดอนุภาคของอินูลินผงที่เตรียมจากแป้งแกันตะวันที่ไม่ผ่านการลวก (JAP2 และ JAP4) โดยลักษณะอนุภาคที่ใหญ่กว่าของอินูลินผงของอินูลินผงที่เตรียมจากแป้งแกันตะวันที่ไม่ผ่านการลวก (JAP2 และ JAP4) เกิดขึ้นเนื่องจากอินูลิน JAP2 และ JAP4 มีองค์ประกอบที่เป็นน้ำตาลและพรีโพลิโกลิโกแซ็กคาไรด์ในปริมาณที่มากกว่า (ดังแสดงในตารางผนวกที่ 11.5) ทำให้เกิดการดูดความชื้น (hygroscopicity) ได้เร็ว เนื่องจากมีค่า Glass transition temperatures ต่ำ (Bhandari *et al.*, 1997) จึงเกิดการการรวมตัวกันของอนุภาคจนมีขนาดที่ใหญ่ขึ้น



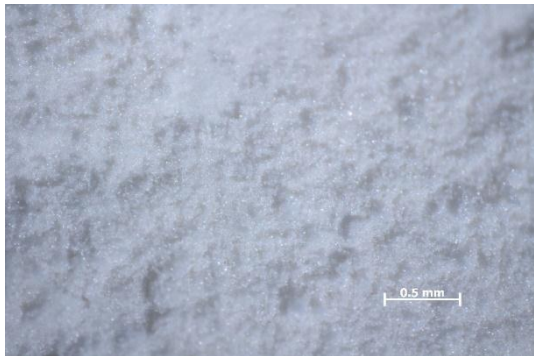
(a)

อินูลินจากแป้งแค้นตะวันมีเปลือก/ลาวก (JAP1)



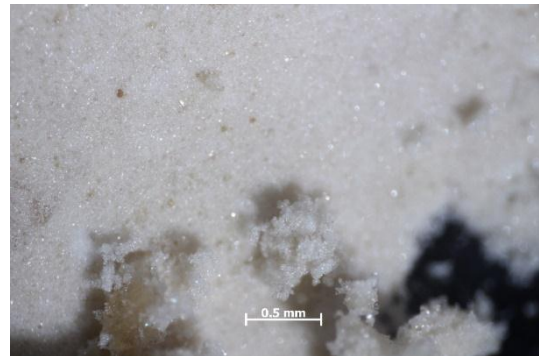
(b)

อินูลินจากแป้งแค้นตะวันมีเปลือก/ไม่ลาวก (JAP2)



(c)

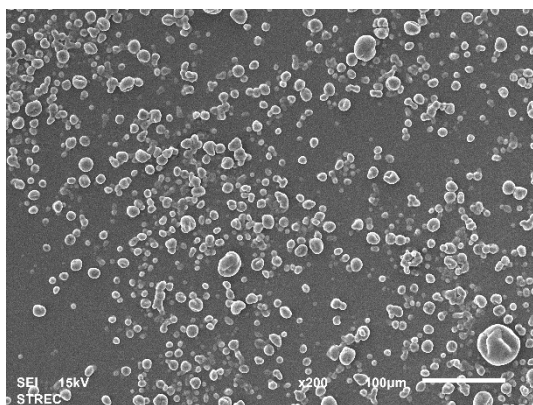
อินูลินจากแป้งแค้นตะวันปอกเปลือก/ลาวก (JAP3)



(d)

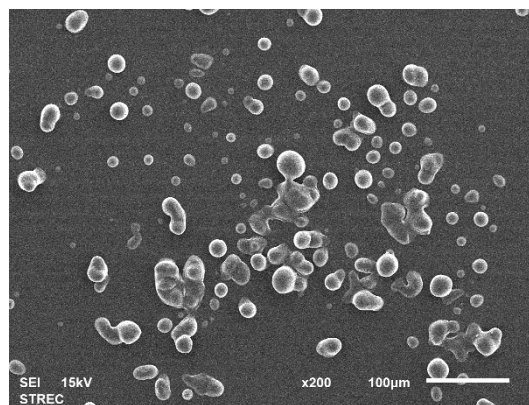
อินูลินจากแป้งแค้นตะวันปอกเปลือก/ไม่ลาวก (JAP4)

ภาพผนวกที่ 11.8 ลักษณะผงอินูลินของแป้งแค้นตะวันวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอไมโครสโคป (stereomicroscope) กำลังขยาย 40 เท่า: (a) อินูลินจากแป้งแค้นตะวันมีเปลือก/ลาวก (JAP1); (b) อินูลินจากแป้งแค้นตะวันมีเปลือก/ไม่ลาวก (JAP2); (c) อินูลินจากแป้งแค้นตะวันปอกเปลือก/ลาวก (JAP3); (d) อินูลินแป้งแค้นตะวันปอกเปลือก/ไม่ลาวก (JAP4)



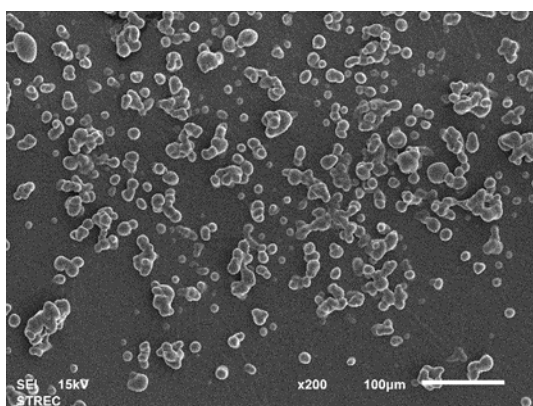
(a)

อินูลินจากแป้งแค้นตะวันมีเปลือก/ลวก (JAP1)



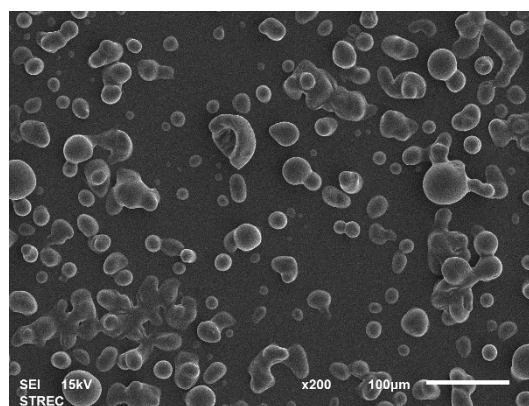
(b)

อินูลินจากแป้งแค้นตะวันมีเปลือก/ไม่ลวก (JAP2)



(c)

อินูลินจากแป้งแค้นตะวันปอกเปลือก/ลวก (JAP3)



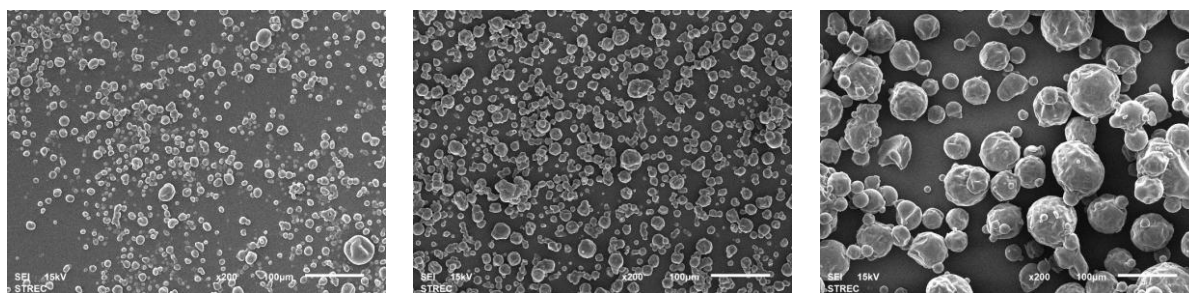
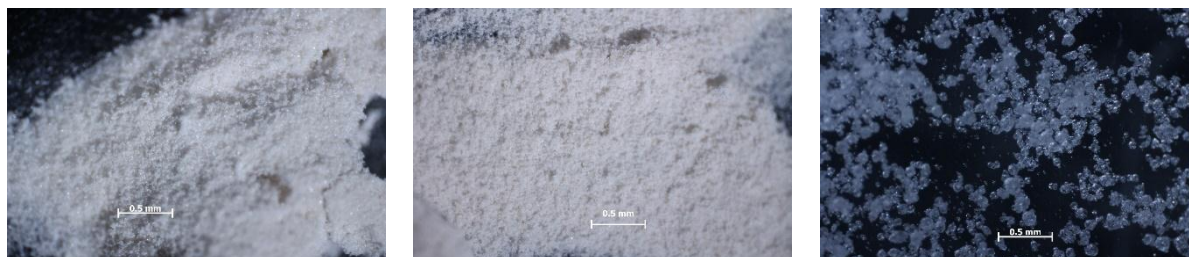
(d)

อินูลินจากแป้งแค้นตะวันปอกเปลือก/ไม่ลวก (JAP4)

ภาพผนวกที่ 11.9 ลักษณะพื้นผิวของผงอินูลินจากแป้งแค้นตะวันวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope; SEM) กำลังขยาย 200 เท่า: (a) อินูลินจากแป้งแค้นตะวันมีเปลือก/ลวก (JAP1); (b) อินูลินจากแป้งแค้นตะวันมีเปลือก/ไม่ลวก (JAP2); (c) อินูลินจากแป้งแค้นตะวันปอกเปลือก/ลวก (JAP3); (d) อินูลินแป้งแค้นตะวันปอกเปลือก/ไม่ลวก (JAP4)

นอกจากนี้ ได้ทำการเปรียบเทียบลักษณะของอินูลิน 3 ชนิด ประกอบด้วย 1) อินูลินจากแป้งแค้นตะวัน 2) อินูลินจากแป้งแค้นตะวันผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ และ 3) อินูลินทางการค้าผลิตจากหัวชิโครี (Orafti® HSI) โดยภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอไมโครสโคป (stereomicroscope) กำลังขยาย 40 เท่า และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope; SEM) กำลังขยาย 200 เท่า แสดงดังภาพผนวกที่ 11.10 จะเห็นได้ว่าอินูลินจากแป้งแค้นตะวันผ่านการทำให้แห้งให้เป็นผงด้วยเครื่อง

ทำให้แบบพ่นฝอย ได้อนุภาคผงขนาดเล็กละเอียด เมื่อเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างของอินูลินทางการค้าที่ผลิตจากหัวซีโครี่พบว่า มีขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่า และมีสีใส ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากวัตถุดิบเริ่มต้นที่ใช้ในการสกัดอินูลินต่างกันทำให้สีของอินูลินผงจากแก่นตะวัน และหัวซีโครี่แตกต่างกัน สำหรับขนาดของอนุภาค อาจเป็นเพราะกระบวนการผลิตอินูลินทางการค้าใช้วิธีในการผลิตต่างกับกระบวนการที่พัฒนาในงานวิจัยนี้ที่ใช้การทำแห้งแบบพ่นฝอย



(a)
อินูลินจากแป้งแก่นตะวัน

(b)
อินูลินจากแป้งแก่นตะวันที่ผ่าน
กระบวนการทำให้บริสุทธิ์

(c)
อินูลินทางการค้าผลิตจากหัวซีโครี่
(Orafti® HSI)

ภาพผนวกที่ 11.10 ลักษณะพื้นผิวของผงอินูลินวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอไมโครสโคป (stereomicroscope) กำลังขยาย 40 เท่า (บน) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope; SEM) กำลังขยาย 200 เท่า (ล่าง): (a) อินูลินจากแป้งแก่นตะวัน; (b) อินูลินจากแป้งแก่นตะวันที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์; (c) อินูลินทางการค้าผลิตจากหัวซีโครี่ (Orafti® HSI)

สรุปผลการทดลอง

แป้งแ่งกันตะวันที่มีเปลือก/ลวก (JAP1) เป็นตัวอย่างที่เมื่อนำมาสกัดอินูลินด้วยน้ำร้อนแล้วให้ปริมาณอินูลินมากที่สุดคือ 24.66% ถึงแม้ว่าแป้งแ่งกันตะวันที่มีเปลือก/ไม่ลวก (JAP2) จะให้ปริมาณอินูลินที่ใกล้เคียงกันคือ 24.46% หากพิจารณาถึงประโยชน์ของการลวกที่ช่วยลดกลิ่นของแป้งแ่งกันตะวัน ลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นที่ปนเปื้อนมากับหัวแ่งกันตะวัน และลดกิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในแป้งแ่งกันตะวันในระหว่างการเก็บรักษา จึงทำให้สามารถตัดสินใจได้ว่า ในการเตรียมตัวอย่างแป้งแ่งกันตะวันเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัดสารอินูลิน ควรที่จะไม่ปอกเปลือกหัวแ่งกันตะวัน เพื่อจะได้ใช้ประโยชน์จากเปลือกแ่งกันตะวันซึ่งมีปริมาณมาก (หัวแ่งกันตะวันสายพันธุ์ JA 102 มีส่วนที่กินได้ 75.80% เปลือก 24.20%) และมีอินูลินสูง และควรที่จะลวกตัวอย่างก่อนการอบแห้ง นอกจากนี้ แป้งแ่งกันตะวันที่มีเปลือก/ลวก (JAP1) ยังมีปริมาณน้ำตาลซูโครสและปริมาณน้ำตาลโดยรวมต่ำที่สุด จึงเหมาะสำหรับใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสำหรับผู้บริโภคที่ต้องการควบคุมปริมาณน้ำตาล และแป้งแ่งกันตะวันที่มีเปลือก/ลวก (JAP1) จะมีลักษณะโครงสร้างที่แสดงให้เห็นว่ามีการดูดซับน้ำจากอากาศแวดล้อมน้อยกว่า ซึ่งดีต่อการเก็บรักษา จากการเปรียบเทียบโครงสร้างของผงอินูลินจากแป้งแ่งกันตะวันกับอินูลินทางการค้าซึ่งผลิตจากหัวชิโครีแสดงให้เห็นว่ามีขนาดอนุภาคต่างกันมาก แสดงให้เห็นว่ากระบวนการที่ใช้ในการผลิตอินูลินทางการค้าคิดว่าไม่ได้ใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

ภาคผนวกที่ 12

การทดลองในระดับนําร่อง: กระบวนการแปรรูปหัวแค้นตะวันเป็นแป้งแค้นตะวัน

ในงานวิจัยนี้ได้มีทดลองแปรรูปหัวแค้นตะวันเป็นผลิตภัณฑ์อินูลินผงในระดับนําร่อง โดยอาศัยแนวทางที่ได้จากการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ โดยในปัจจุบันได้มีการนำหัวแค้นตะวันมาผ่านกรรมวิธี Pretreatment ทำแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 65 °C และการบดเป็นผงแป้งแค้นตะวันในระดับนําร่องจำนวน 2 ครั้ง ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

การทดลองแปรรูปหัวแค้นตะวันเป็นผงแป้งแค้นตะวันในระดับนําร่อง ครั้งที่ 1

กรรมวิธี pretreatment

สำหรับการทดลองในระดับนําร่องมีขั้นตอนเตรียมตัวอย่างและการพรีทรีตเมนต์หัวแค้นตะวัน ดังแสดงในภาพผนวกที่ 12.1 ซึ่งกระบวนการดังกล่าวได้มาจากการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการดังแสดงในภาคผนวกที่ 2

หัวแก่นตะวัน



แช่น้ำประปาเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง



ล้างและขัดเศษดินออกด้วยแปรง



สไลด์หัวแก่นตะวันให้เป็นแผ่นบาง ๆ หนาประมาณ 2 มม. ด้วยเครื่องสไลด์





แช่ในสารละลายกรดซิตริก ความเข้มข้น 0.5% เป็นเวลา 5 นาที ทิ้งที่ที่สไลด์



สะเด็ดน้ำโดยวางบนตะแกรงพลาสติก เป็นเวลา 5-10 นาที



ลวกในน้ำเดือดเป็นเวลา 2 นาที



ทำให้เย็นโดยแช่ในน้ำประปา เป็นเวลา 5-10 นาที





สะเด็ดน้ำโดยวางบนตะกร้าพลาสติก เป็นเวลา 5-10 นาที



อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน

ภาพผนวกที่ 12.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างและการ Pretreatment หัวแค้นตะวันตก่อนการทำแห้งในระดับนําร่อง

ผลการทำแห้งแบบลมร้อนในระดับนําร่อง

ในการทำแห้งแบบลมร้อนในระดับนําร่องนั้น ได้ทดลองทำแห้งชิ้นแค้นตะวันตก่อนการเตรียมตัวอย่างตามขั้นตอนที่กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยในการทำแห้งในระดับนําร่องนี้จะใส่ตัวอย่างบนถาดในลักษณะเป็นชั้นหนา ประมาณ 1 เซนติเมตร เหมือนกับแนวปฏิบัติที่นิยมทำกันในอุตสาหกรรมเวลาใช้งานเครื่องอบแห้งแบบถาด โดยจะใส่ตัวอย่างเต็มตู้ และนำไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่โรงงานผลิตของสถาบันคั้นคว่ำและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จำนวน 4 เครื่อง และที่คณะอุตสาหกรรมเกษตรจำนวน 1 เครื่อง (เฉพาะเครื่องอบแห้งที่คณะอุตสาหกรรมเกษตรได้ทำการทดลอง 2 ชั่วโมง เพื่อนำข้อมูลมาสร้างกราฟการทำแห้ง) ผลการทดลองถูกแสดงดังตารางผนวกที่ 12.1

ตารางผนวกที่ 12.1 ผลการทดลองอบแห้งขึ้นแก่นตะวันด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดในระดับนำร่อง

Tray dryer	Pretreatment JA (kg)	Dried JA (kg)	% Yield	Drying time (h)	MC _{initial} (% wb)	MC _{final} (% wb)
1	58.3	4.6	7.89	18	6.71 ± 0.06	
2	8	0.6	7.50	20		
3	14	1.2	8.57	18		
4	36	2.7	7.5	20		
5	15	0.827	5.51	16	93.29 ± 0.12	4.54 ± 0.18
6	15	0.860	5.73	16	92.27 ± 0.17	4.65 ± 0.36

หมายเหตุ : Tray dryer 1-4 คือ เครื่องอบแห้งแบบลมร้อนที่โรงงานผลิตสถาบันฯ

Tray dryer 5-6 คือ เครื่องอบแห้งแบบลมร้อนที่คณะอุตสาหกรรมเกษตร 1 เครื่อง ทำการทดลอง 2 ซ้ำ

ความชื้นเริ่มต้นของ JA ก่อนอบที่สถาบันฯ ไม่ได้วัดค่าไว้ แต่เนื่องจากเป็นตัวอย่างที่เตรียมพร้อมกับกรณี Tray dryer 5-6 ดังนั้นความชื้นเริ่มต้นควรอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน และการหาความชื้นของตัวอย่างหลังอบแห้งก็ไม่ได้มีการวัดแบบแยก Tray dryer แต่เป็นการนำตัวอย่างที่ได้จาก Tray dryer 1-4 มารวมกันแล้วสุ่มตัวอย่างมาวัดค่าความชื้น จึงแสดงค่า MC_{final} แบบรวมเลย

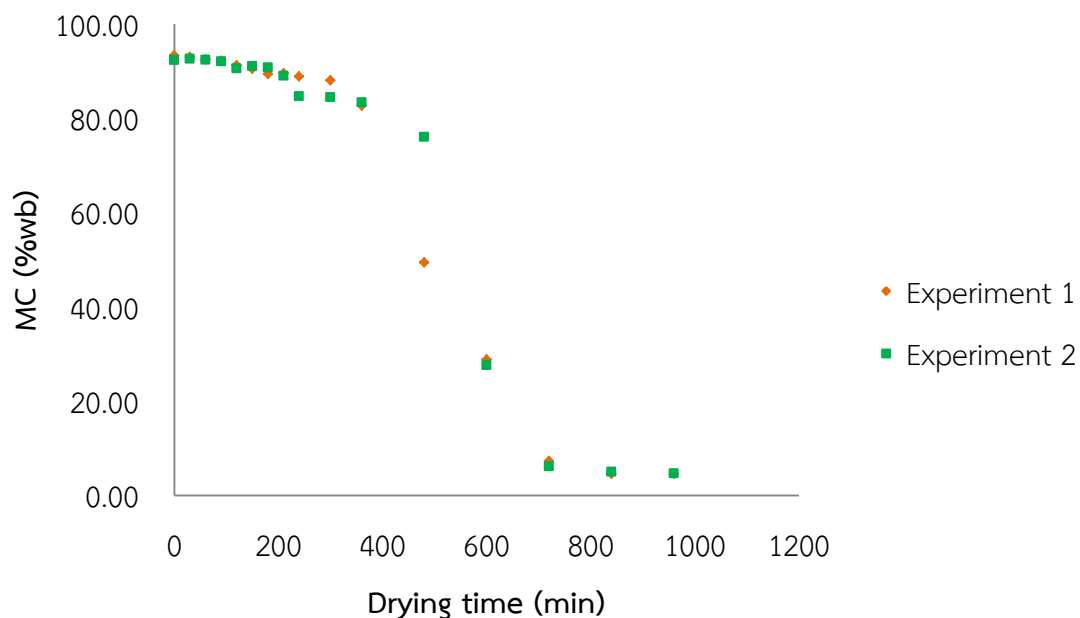
จากผลที่ได้พบว่า % Yield ในกรณีที่อบแห้งที่คณะอุตสาหกรรมเกษตรได้น้อยกว่าการอบที่สถาบันฯ เนื่องจากตัวอย่างที่อบแห้งที่คณะอุตสาหกรรมเกษตรมีความชื้นต่ำกว่า (4.54-4.65% wb) แก่นตะวันที่อบแห้งจากสถาบันฯ (6.71% wb)

Drying curve

เครื่องอบแห้งแบบถาดที่คณะอุตสาหกรรมเกษตรมีจำนวนถาดทั้งหมด 10 ถาด จึงมีการใส่ถาดเรียงเข้าตู้อบแห้งทั้งหมด 5 ชั้น ชั้นละ 2 ถาด สำหรับการสุ่มเก็บตัวอย่างจะเก็บตัวอย่างชั้นบนสุด ชั้นกลาง และชั้นล่างสุด โดยแต่ละชั้นสุ่มเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ถาด แล้วนำไปหาค่าความชื้นที่เวลาใด ๆ และพล็อตกราฟแสดงค่าความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการอบแห้ง ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางผนวกที่ 12.2 และภาพผนวกที่ 12.2 จากผลที่ได้จะเห็นได้ว่าการอบแห้งแบบชั้นหนาใช้เวลา 12 ชั่วโมง ในการทำแห้งแก่นตะวันให้มี ความชื้น 6.13 – 7.29% wb

ตารางผนวกที่ 12.2 ค่าความชื้นของการอบแห้งขึ้นแก๊สวันแบบชั้นหนา (Multi-layer) 1 ซม.

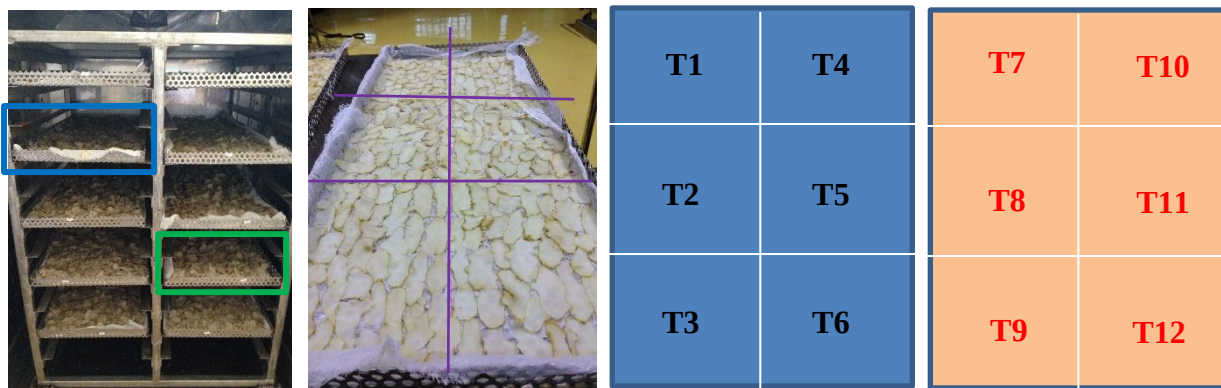
Time (min)	MC (% wb) (rep 1)	MC (% wb) (rep 2)
0	93.29 ± 0.12	92.27 ± 0.17
30	92.96 ± 0.01	92.53 ± 0.04
60	92.42 ± 0.11	92.38 ± 0.21
90	92.15 ± 0.15	92.01 ± 0.05
120	91.22 ± 0.07	90.51 ± 0.11
150	90.45 ± 0.33	91.03 ± 0.13
180	89.38 ± 0.13	90.75 ± 0.30
210	89.50 ± 0.60	88.94 ± 0.74
240	88.82 ± 0.91	84.61 ± 2.00
300	87.99 ± 2.59	84.44 ± 1.09
360	82.66 ± 0.95	83.35 ± 1.29
480	49.36 ± 3.75	75.99 ± 0.92
600	28.81 ± 6.06	27.61 ± 1.83
720	7.29 ± 0.23	6.13 ± 0.16
840	4.57 ± 0.11	4.94 ± 0.16
960	4.54 ± 0.18	4.65 ± 0.36



ภาพผนวกที่ 12.2 ค่าความชื้นของขึ้นแก๊สวันระหว่างกระบวนการอบแห้งแบบชั้นหนา (Multi-layer)

นอกจากนี้ได้มีการทดลองวัดค่าความเปื่อยเบนความชื้นของตัวอย่างที่อยู่ในถาดอบแห้งเดียวกัน แต่ตำแหน่งต่างกัน เนื่องจากการสุ่มเก็บตัวอย่างที่ไม่สม่ำเสมออาจมีผลต่อค่าความชื้นที่วิเคราะห์ได้ โดยทำการศึกษาด้วยการวางชั้นแก๊นตะวันแบบชั้นบาง (เป็นชั้นเดียว) บนถาด 2 ถาด นำไปใส่ในตู้อบบริเวณด้านซ้ายบนชั้นที่ 2 และขวาล่างชั้นที่ 4 ตำแหน่งที่ต้องเก็บตัวอย่างไปหาความเปื่อยเบนของความชื้นมีทั้งหมด 12 จุด (ดังภาพผนวกที่ 12.3) ได้ผลดังตารางผนวกที่ 12.3 และภาพผนวกที่ 12.4 -12.5

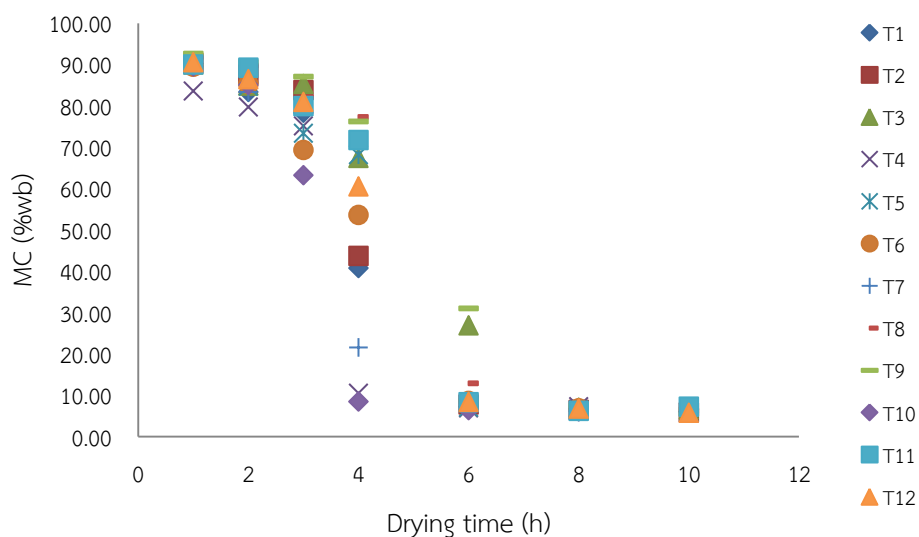
จากรูปจะเห็นได้ว่า ที่เวลาในการอบแห้ง 3, 4 และ 6 ชั่วโมงมีการเปื่อยเบนของความชื้นของตัวอย่างมาก แสดงถึงความไม่สม่ำเสมอของความชื้นในชั้นแก๊นตะวันเมื่อสุ่มเก็บตัวอย่างจากบริเวณต่างกัน เช่น ชั่วโมงที่ 4 ค่าความชื้นมีตั้งแต่ 10.42 – 77.27% wb นอกจากนี้ยังพบว่าชั้นแก๊นตะวันที่วางอยู่ตำแหน่งด้านในของตู้ (T4, T7 และ T10) จะแห้งเร็วกว่าตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับประตูตู้ (T3 และ T9) แต่เมื่อเวลาในการอบแห้งผ่านไป 6 ชั่วโมง เกือบทุกตำแหน่งในตู้ยกเว้นตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับประตูตู้ (T3 และ T9) มีความชื้นลดลงอยู่ในช่วง 6-12 %wb ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากการหมุนเวียนลมร้อนภายในตู้อาจไม่ทั่วถึงทำให้การระเหยน้ำของชั้นแก๊นตะวัน บริเวณต่าง ๆ เกิดขึ้นไม่เท่ากัน ต้องใช้เวลาในการทำแห้งนานขึ้นเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ทั้งตู้อบแห้งมีแห้งสม่ำเสมอ ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นถึงความไม่สม่ำเสมอของความชื้นตัวอย่างที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำแห้งแบบถาด



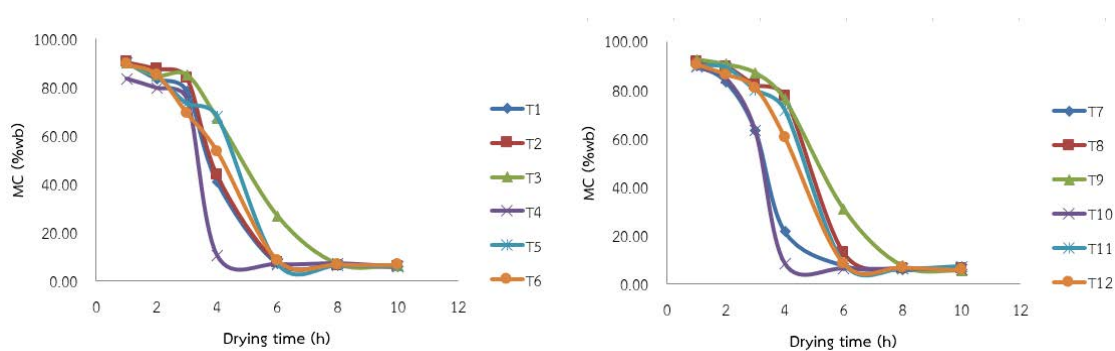
ภาพผนวกที่ 12.3 ตำแหน่งของถาดที่มีการทดสอบการเปื่อยเบนความชื้นและกำหนดบริเวณสุ่มเก็บตัวอย่าง (T1-T12)

ตารางผนวกที่ 12.3 ค่าความชื้น (% wb) ของชิ้นแกล่นตะวันที่ ณ บริเวณต่าง ๆ บนถาด

Time (h)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
1	90.16	90.35	89.92	83.49	89.99	89.40	90.13	91.75	92.60	89.48	89.96	90.53
2	83.30	87.64	84.86	79.64	84.68	85.19	83.32	89.70	90.60	85.00	89.21	86.38
3	78.28	83.72	85.19	75.07	73.32	69.24	63.15	81.96	87.02	63.12	79.89	80.88
4	40.70	43.63	67.30	10.42	68.13	53.54	21.54	77.27	76.17	8.40	71.71	60.41
6	7.18	7.75	26.84	6.89	7.05	8.58	7.51	12.81	30.95	6.36	8.25	8.38
8	6.65	6.38	6.95	7.20	6.41	6.81	5.85	6.35	7.46	6.12	6.18	6.72
10	6.00	5.77	6.51	5.80	5.84	6.54	5.81	6.22	5.48	5.98	7.18	5.69



ภาพผนวกที่ 12.4 ความเปลี่ยนแปลงของค่าความชื้นที่วัดได้จากการสุ่มเก็บตัวอย่าง ณ ตำแหน่ง T1 – T12 ในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน



ภาพผนวกที่ 12.5 Drying curve ของแก่นตะวัน ณ ตำแหน่ง T1 – T12 ในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน

การใช้พลังงานในการทำแห้ง

ในการทดลองทำแห้งแบบลมร้อนในระดับปฏิบัติการ (ดังรายละเอียดในภาคผนวกที่ 2 ซึ่งเป็นการอบแห้งแบบชั้นบาง) และการทดลองทำแห้งในระดับนำร่องแบบชั้นหนา ได้มีการวัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละการทดลอง ดังแสดงในตารางผนวกที่ 12.4 ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะถูกนำไปใช้ประโยชน์ในการประเมินต้นทุนพลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการทำแห้งหัวแก่นตะวันพร้อมทั้งช่วยให้ทราบถึงความแตกต่างของพลังงานที่ใช้ในกรณีเป็นการทำแห้งแบบชั้นบางในระดับปฏิบัติการและแบบชั้นหนาในระดับนำร่องมาน้อยเพียงใด ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการอบแห้งในระดับนำร่องซึ่งใส่ปริมาณตัวอย่าง 15 กิโลกรัม/ครั้ง และอบจนผลิตภัณฑ์มีความชื้น 4.54 – 4.65% wb ใช้ระยะเวลาในการทำแห้งและพลังงานไฟฟ้าเป็น 2 เท่าของการอบแห้งแบบชั้นบางที่ใส่ตัวอย่าง 5 กิโลกรัม/ครั้ง ทำแห้งจนผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้มีความชื้น 4.81 – 5.04% wb โดยหากพิจารณาเป็นต้นทุนพลังงานต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์แล้วจะพบว่า การอบแห้งแบบชั้นหนาในระดับนำร่องจะมีต้นทุนพลังงานที่ต่ำกว่า

ตารางผนวกที่ 12.4 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปในการทำแห้งแบบลมร้อน

Drying condition	Drying time (h)	Electricity usage (kW-h)
Thin layer drying (rep 1)	8	13
Thin layer drying (rep 2)	8	11
Multi layer drying (rep 1)	16	26
Multi layer drying (rep 2)	16	25

การทดลองแปรรูปหัวแค้นตะวันเป็นผงแป้งแค้นตะวันในระดับนําร่อง ครั้งที่ 2

กรรมวิธี pretreatment

สำหรับการทดลองในระดับนําร่อง ครั้งที่ 2 มีขั้นตอนเตรียมตัวอย่างและการฟัรืตเมนต์หัวแค้นตะวัน เช่นเดียวกับการทดลองในระดับนําร่อง ครั้งที่ 1 แต่มีการบันทึกข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับสัดส่วนของน้ำที่ใช้ในขั้นตอนต่างๆ ด้วย รวมทั้งมีการแสดงขั้นตอนการแปรรูปหัวแค้นตะวันอบแห้งให้เป็นผงแป้งแค้นตะวันอีกด้วย ดังแสดงในภาพผนวกที่ 12.6



หัวแค้นตะวัน



แช่น้ำประปาเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง
อัตราส่วน แค้นตะวัน:น้ำ
(1:1.5)





ล้างและขจัดเศษดินออกด้วยแปรง
อัตราส่วน แก่นตะวัน:น้ำ
(1:5.5)



สไลด์หัวแก่นตะวันให้เป็นแผ่นบาง ๆ หนาประมาณ 2 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องสไลด์



แช่ในสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 0.5 % w/w เป็นเวลา 5 นาที
อัตราส่วน แก่นตะวัน:น้ำ
(1:1.5)



สะเด็ดน้ำโดยวางบนตะกร้าพลาสติก เป็นเวลา 5-10 นาที



ลวกในน้ำเดือด เป็นเวลา 2 นาที
อัตราส่วน แก่นตะวัน:น้ำ
(1:3.5)



ทำให้เย็นแช่ในน้ำประปา เป็นเวลา 5-10 นาที
อัตราส่วน แก่นตะวัน:น้ำ
(1:6)





สะเด็ดน้ำโดยวางบนตะกร้าพลาสติกเป็นเวลา 5-10 นาที



อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง



บดแก่นตะวันอบแห้งให้เป็นแป้งด้วยเครื่อง Fitz mill





บดแค้นตะวันอบแห้งให้เป็นแป้งที่ละเอียดขึ้นด้วยเครื่อง Pin mill



บรรจุแป้งแค้นตะวันลงในถุงพอยล์

ภาพผนวกที่ 12.6 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง การ Pretreatment หัวแค้นตะวัน ก่อนการทำแห้งและบดในระดับนําร่อง

การคำนวณสมดุลมวลสาร

สำหรับการทดลองในระดับนําร่อง ครั้งที่ 2 มีการบันทึกข้อมูลเพื่อใช้ในการคำนวณสมดุลมวลสาร เพื่อจะได้ทราบว่า มีการสูญเสียปริมาณของแข็งในแต่ละขั้นตอนเท่าใด ผลการคำนวณถูกแสดงดังตารางผนวกที่ 12.5 และ 12.6

ตารางผนวกที่ 12.5 ผลการคำนวณสมดุลมวลสารและการสูญเสียปริมาณมวลสาร (% loss) ในแต่ละขั้นตอน

กระบวนการ	สมดุลมวลสาร	% loss
 ซังหัวแก่งตะวัน ↓  แช่น้ำประปา ↓  ล้างและขจัดเศษดินออกด้วยแปรง ↓ เศษดินและส่วนที่เน่า	100 kg. ↓ 0.809 kg. ↓ 99.191 kg.	0.809%



สไลด์หัวแก่งตะวันให้เป็นแผ่นบาง ๆ
หนาประมาณ 2 มม. ด้วยเครื่องสไลด์



น้ำ

แช่ในสารละลายกรดซิตริก ความเข้มข้น 0.5%
ทันทีที่สไลด์



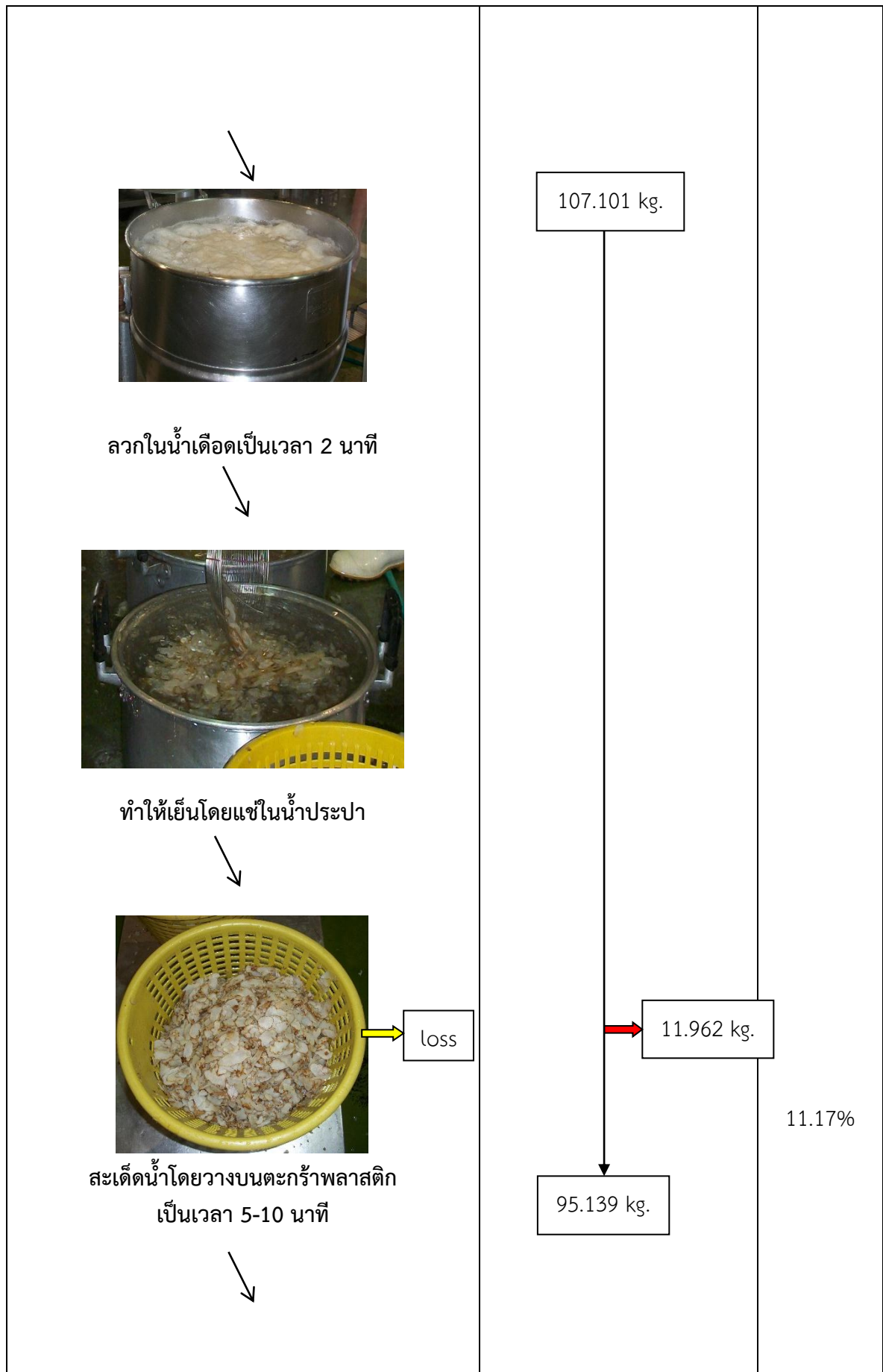
สะเด็ดน้ำโดยวางบนตะกร้าพลาสติก
เป็นเวลา 5-10 นาที

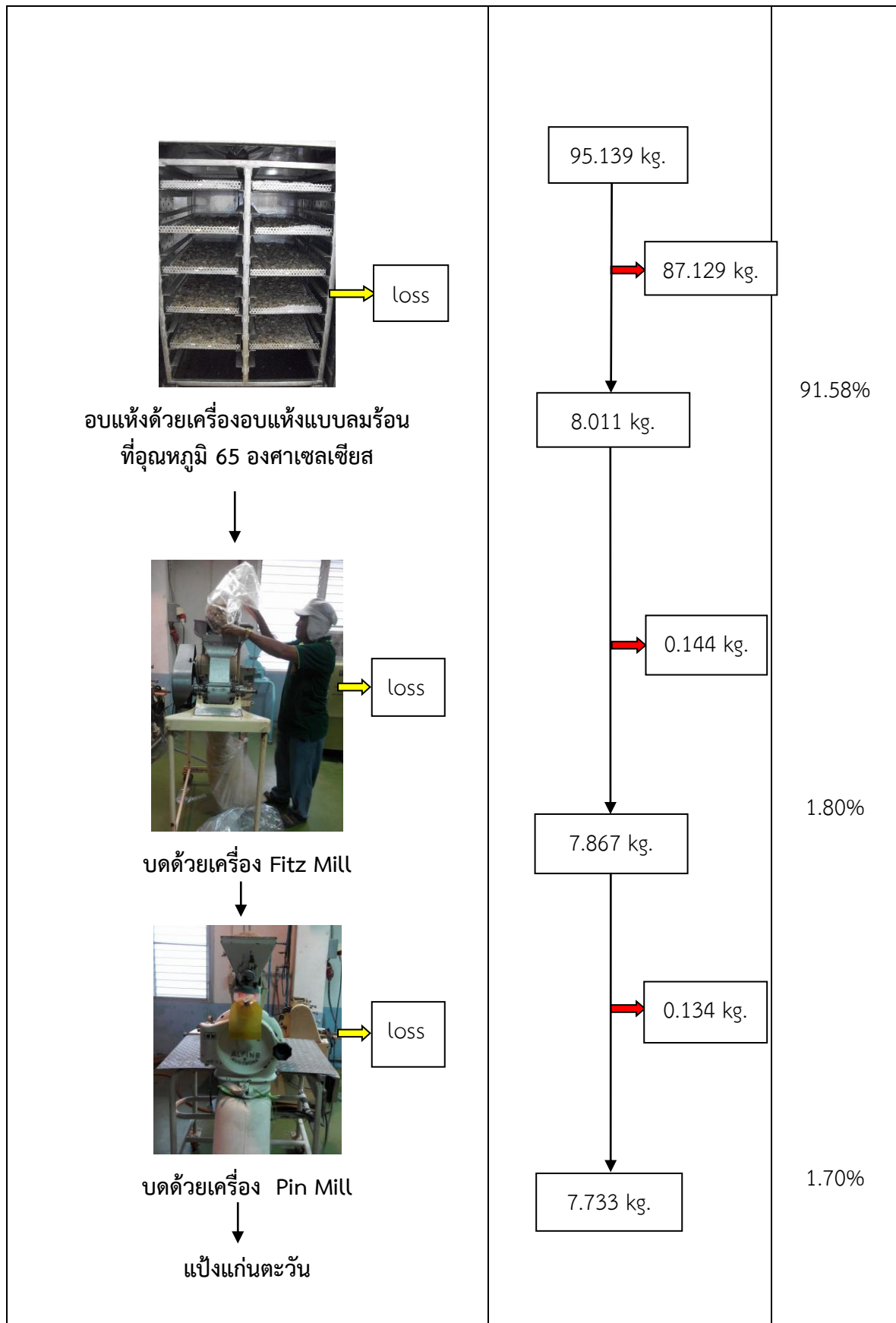


99.191 kg.

7.91 kg.

107.101 kg.





ในตารางผนวกที่ 12.5 ค่า % loss ที่แสดงเป็นค่าการสูญเสียมวลสารที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนรวม การสูญเสียทั้งส่วนที่เป็นน้ำและของแข็งเข้าด้วยกันเมื่อเปรียบเทียบกับมวลสารเริ่มต้นที่ป้อนเข้าไปสู่แต่ละ ขั้นตอน ซึ่งจากตัวเลข % loss ที่เกิดขึ้น จะเห็นได้ว่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นมีค่ามากในขั้นตอนอบ และลวกในน้ำ เดือด นั่นคือมีค่าเท่ากับ 91.58% และ 11.17% ตามลำดับ และยังพบว่า หัวแค้นตะวันตก เริ่มต้น 100 กิโลกรัม จะได้แบ่งแค้นตะวัน 7.733 กิโลกรัม ซึ่งหากพิจารณาถึงองค์ประกอบของหัวแค้นตะวันตกเริ่มต้นแล้ว พบว่าประกอบไปด้วยความชื้นประมาณ 90% และของแข็ง 10% โดยของแข็งนั้นประกอบไปด้วยอินูลิน 85% เถ้า 5% ส่วนที่เหลือเป็นโปรตีนและองค์ประกอบอื่น ๆ (Fleming *et al.*, 1979) ดังนั้น เมื่อนำหัวแค้นตะวันตกไปอบแห้ง น้ำหนักหัวแค้นตะวันตกจะหายไปมากจนเหลือประมาณ 7.733% ดังผลการทดลอง

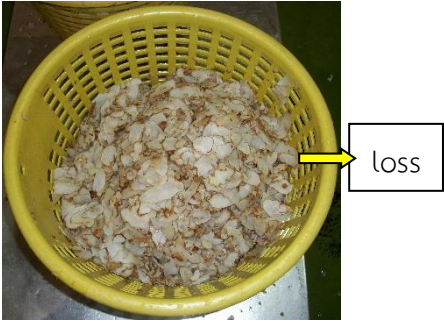
การอบแห้งเป็นกระบวนการที่ดึงมวลของน้ำออกจากชิ้นหัวแค้นตะวัน ซึ่งจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาหัว แค้นตะวัน ทำให้สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการสกัดอินูลินได้ตลอดทั้งปี

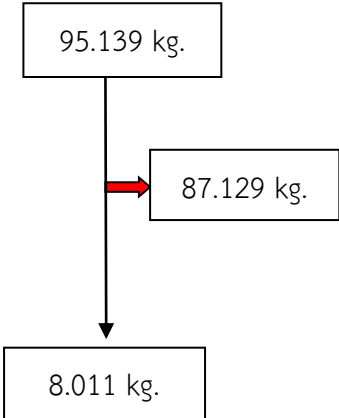
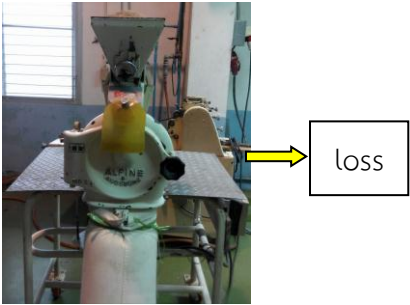
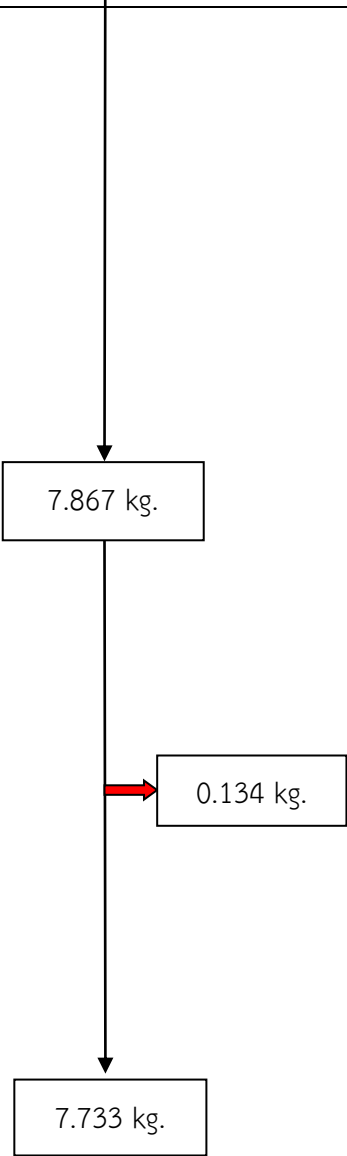
สำหรับการทดลองในระดับนำร่อง ครั้งที่ 2 นอกจากจะมีการบันทึกข้อมูล ดังแสดงในตารางผนวกที่ 12.5 แล้ว ยังมีการบันทึกข้อมูลค่า % ของแข็ง ที่อยู่ในตัวอย่างแค้นตะวันในแต่ละขั้นตอนด้วย ดังตารางผนวกที่ 12.6

ตารางผนวกที่ 12.6 ผลการคำนวณสมดุลมวลสารและค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งที่อยู่ในตัวอย่างแก่นตะวันในแต่ละขั้นตอน

กระบวนการ	สมดุลมวลสาร	% solid
 ซังหัวแก่นตะวัน  แช่น้ำประปา  ล้างและขจัดเศษดินออกด้วยแปรง เศษดินและส่วนที่เน่า	100 kg. 0.809 kg. 99.191 kg.	15.53%

สไลด์หัวแก่นตะวันให้เป็นแผ่นบาง ๆ หนาประมาณ 2 มม. ด้วยเครื่องสไลด์ น้ำ แช่ในสารละลายกรดซิตริก ความเข้มข้น 0.5% ทันทีที่สไลด์ สะเด็ดน้ำโดยวางบนตะกร้าพลาสติก เป็นเวลา 5-10 นาที	99.191 kg. 7.91 kg. 107.101 kg.	15.75%
---	---	--

 ลวกในน้ำเดือดเป็นเวลา 2 นาที  ทำให้เย็นโดยแช่ในน้ำประปา  สะเด็ดน้ำโดยวางบนตะกร้าพลาสติกเป็นเวลา 5-10 นาที	107.101 kg. 11.962 kg. 95.139 kg.	7.93%
---	--	--------------

 อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส		95%
↓  บดด้วยเครื่อง Fitz Mill ↓  บดด้วยเครื่อง Pin Mill ↓ แบ่งแ่งนตะวัน		94%

จากการทดลองในระดับนำร่องดังกล่าว ได้มีการรวบรวมปริมาณการใช้พลังงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ รวมทั้งจำนวนแรงงาน เพื่อสามารถนำไปใช้ประเมินความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ และทราบต้นทุนการผลิตได้ ดังรายละเอียดในตารางผนวกที่ 12.7-12.9

ตารางผนวกที่ 12.7 จำนวนแรงงานที่ใช้สำหรับการทดลองระดับนำร่องครั้งที่ 2

รายการ	จำนวนแรงงานที่ใช้ (คน*วัน)
เจ้าหน้าที่ผลิตอาหาร	4

ตารางผนวกที่ 12.8 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองระดับนำร่องครั้งที่ 2

อุปกรณ์	ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)
ตู้อบลมร้อน	162.81
เครื่องหั่นสไลด์	0.74
เครื่อง Fitz Mill	1.55
เครื่อง Pin Mill	1.85
รวม	166.95

ตารางผนวกที่ 12.9 ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลองระดับนำร่องครั้งที่ 2

ขั้นตอน	ปริมาณน้ำ (ลิตร)
ล้างแก่นตะวัน	550
แช่กรดซิดริก	148
ลวกแก่นตะวัน	375
ลดอุณหภูมิแก่นตะวัน	643
รวม	1,716

ภาคผนวกที่ 13

การทดลองในระดับนําร่อง: กระบวนการแปรรูปแป้งแค้นตะวันเป็นอินูลินผง

หลังจากที่ได้ทดลองแปรรูปหัวแค้นตะวันเป็นแป้งแค้นตะวันในระดับนําร่อง ดังแสดงในภาคผนวกที่ 12 ในงานวิจัยนี้ได้มีการนำแป้งแค้นตะวันมาแปรรูปเป็นอินูลินผง โดยประยุกต์วิธีการและสภาวะที่เหมาะสมซึ่งได้จากการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการมาใช้ในการทดลองในระดับนําร่อง เพื่อที่จะนำผลที่ได้จากการทดลองในระดับนําร่องมาใช้ประโยชน์ในการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ นอกจากนี้ยังมีการตรวจสอบคุณภาพของอินูลินผงที่ได้ในด้านต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์อินูลินผงที่จำหน่ายในท้องตลาดปัจจุบัน

จากการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ แสดงให้เห็นว่า การผลิตอินูลินผงจากแป้งแค้นตะวัน มี 2 แนวทาง ได้แก่

1. การผลิตอินูลินผง โดยไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีคุณภาพใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์อินูลินผงทางการค้าเกรด Orafiti[®] HSI ดังรายละเอียดคุณลักษณะของอินูลินผงยี่ห้อ Orafiti[®] ในตารางผนวกที่ 1.6 (Orafiti[®] HSI มีปริมาณอินูลิน ประมาณ 86% และมีปริมาณน้ำตาลฟรักโทส กลูโคส และซูโครส ประมาณ 14% ค่า DP เฉลี่ย < 10) และผลการวิเคราะห์ในภาคผนวกที่ 7 และ 8

2. การผลิตอินูลินผง โดยใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ (การคาร์บอนชั่น การกำจัดสีและกลิ่นด้วยผงถ่านกัมมันต์ และการใช้ Ion exchange resin) ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีคุณภาพใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์อินูลินผงทางการค้าเกรด Orafiti[®] LGI ดังรายละเอียดคุณลักษณะของอินูลินผงยี่ห้อ Orafiti[®] ในตารางผนวกที่ 1.6 (Orafiti[®] LGI มีปริมาณอินูลิน ประมาณ 96% และมีปริมาณน้ำตาลฟรักโทส กลูโคส และซูโครส ประมาณ 4% ค่า DP เฉลี่ย ≥ 8) และผลการวิเคราะห์ในภาคผนวกที่ 7 และ 8

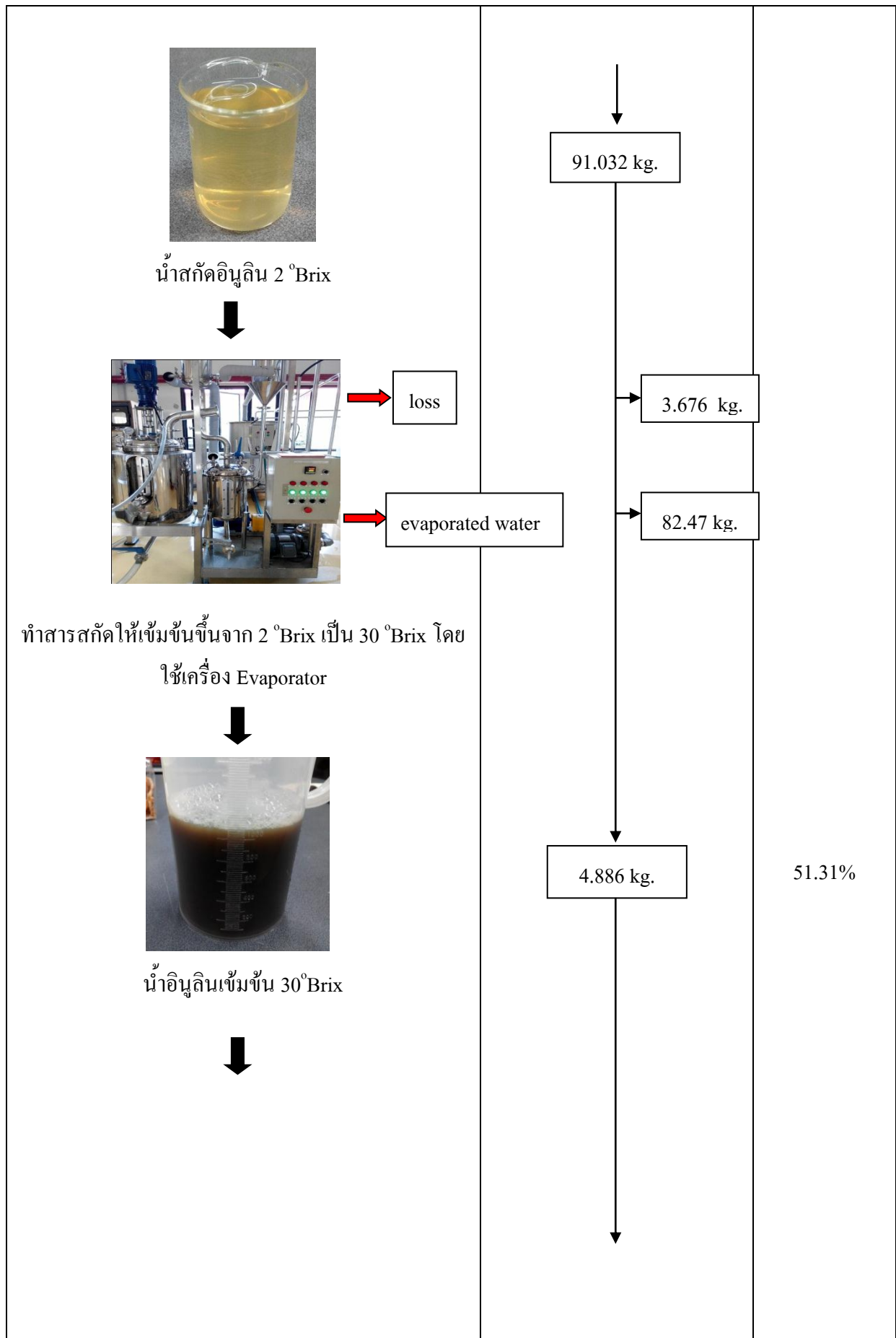
ดังนั้นในการทดลองแปรรูปแป้งแค้นตะวันเป็นอินูลินผงในระดับนําร่อง จึงได้ใช้ทั้ง 2 แนวทางดังกล่าว โดยมีการทดลองทั้งหมด 2 ซ้ำ

การแปรรูปแป้งแค้นตะวันเป็นอินูลินผงโดยไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ พร้อมทั้งสมมูลมวลสาร

วิธีการทดลองแปรรูปแป้งแค้นตะวันเป็นอินูลินผงโดยไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ในระดับนําร่อง พร้อมทั้งสมมูลมวลสาร ในการทดลองครั้งที่ 1 และ 2 ถูกแสดงดังตารางผนวกที่ 13.1 และ 13.2 ตามลำดับ

ตารางผนวกที่ 13.1 การทดลองแปรรูปแป้งแค้นตะวันเป็นอินูลินผงโดยไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ในระดับนำร่องและการทำสมดุลมวลสาร ครั้งที่ 1

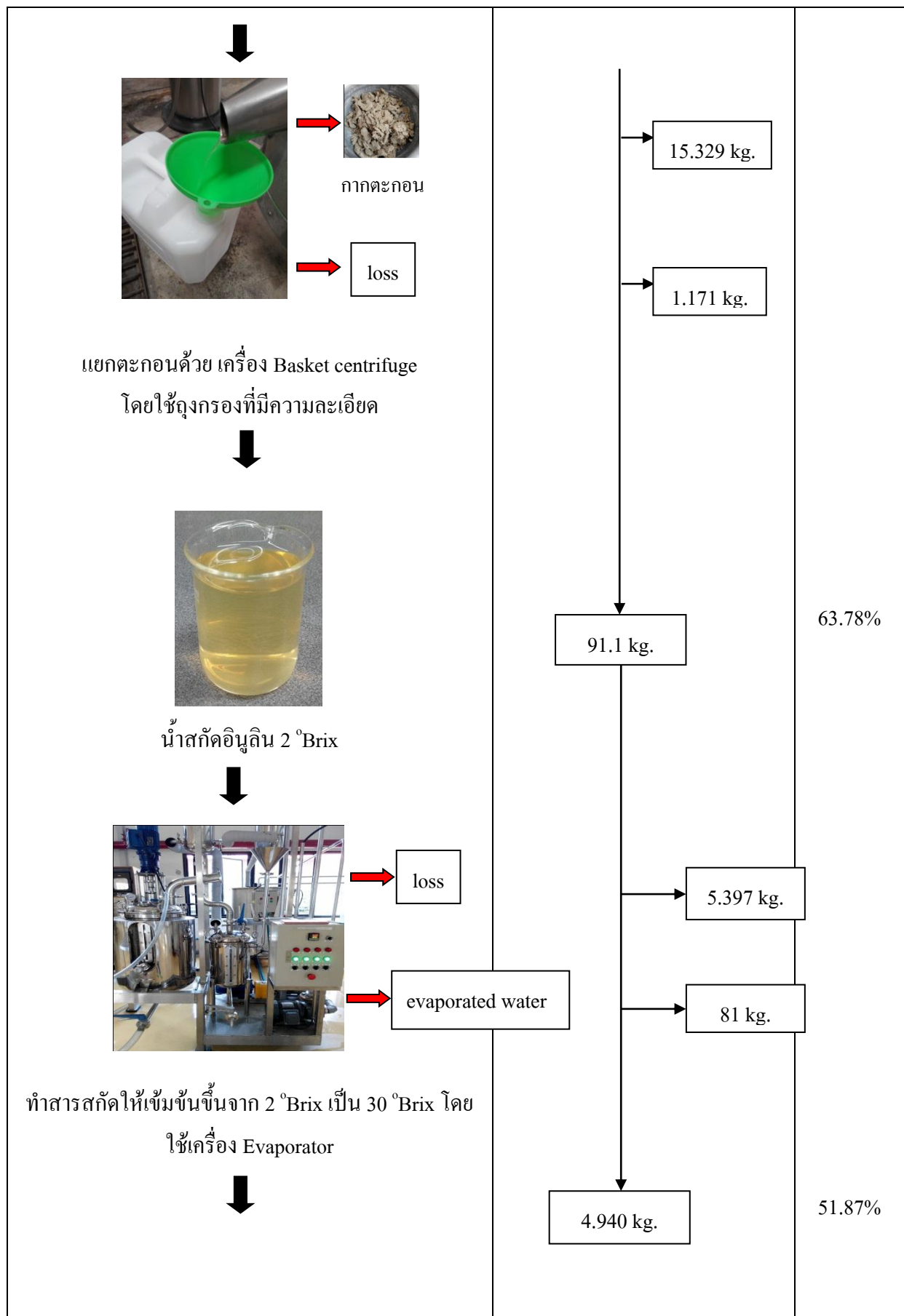
กระบวนการ	สมดุลมวลสาร	ของแข็ง
 แป้งแค้นตะวันผง : น้ำ = 1 : 35 สกัดด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที ด้วยถังควบคุมอุณหภูมิ กากตะกอน แยกตะกอนด้วย เครื่อง Basket centrifuge โดยใช้ถุงกรองที่มีความละเอียด	แป้งแค้นตะวันผง 3 kg. น้ำ 105 kg. 108 kg. 2.025 kg. 105.975 kg. 11.184 kg. 3.759 kg. 91.032 kg.	100% 63.73%



 Solid loss ใน เครื่องอบแห้งและ มวบน้ำระเหยออก ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า/ขาออก : 190/90 องศาเซลเซียส)	3.571 kg. 1.315 kg.	43.92%
--	--	---------------

ตารางผนวกที่ 13.2 การทดลองแปรรูปแป้งแค้นตะวันเป็นอินูลินผงโดยไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ในระดับนำร่องและการทำสมดุลมวลสาร ครั้งที่ 2

กระบวนการ	สมดุลมวลสาร	ของแข็ง
 +  แป้งแค้นตะวันผง : น้ำ = 1 : 35   loss สกัดด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที ด้วยถังกวนควบคุมอุณหภูมิ	แป้งแค้นตะวันผง 3 kg. น้ำ 105 kg. 108 kg. 0.4 kg. 107.6 kg.	100%



 น้ำอินูลินเข้มข้น 30°Brix ↓  ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า/ขาออก : 190/90 องศาเซลเซียส)	Solid loss ใน เครื่องอบแห้งและ มวลน้ำระเหยออก	4.940 kg. → 3.828 kg. ↓ 1.112 kg.	51.87% 36.97%
--	--	--	-----------------------------

จากตารางผนวกที่ 13.1 และ 13.2 แสดงให้เห็นว่ากระบวนการผลิตในระดับนำร่องจะมีการใช้

- ถังกวนขนาดความจุ 100 ลิตร สำหรับขั้นตอนการสกัด ซึ่งถึงดังกล่าวถูกออกแบบในลักษณะ Double-jacketed mixing tank โดยใช้ไอน้ำจาก Boiler เป็นตัวกลางในการให้ความร้อน
- Basket centrifuge สำหรับขั้นตอนการแยกตะกอนออกจากน้ำสกัด
- เครื่องระเหยแบบสูญญากาศ ขนาด 50 ลิตร สำหรับขั้นตอนการทำให้ น้ำสกัดเข้มข้น

ดังนั้นวิธีการทดลองในระดับนำร่อง จึงมีความใกล้เคียงกับวิธีการผลิตในระดับอุตสาหกรรมมากขึ้นกว่า การทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ ทำให้สามารถที่จะใช้แนวทางการผลิตรวมถึงผลที่ได้จากการทดลองใน ระดับนำร่องนี้ ไปขยายขนาดกำลังการผลิตในระดับอุตสาหกรรมและประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ ได้เป็นอย่างดี

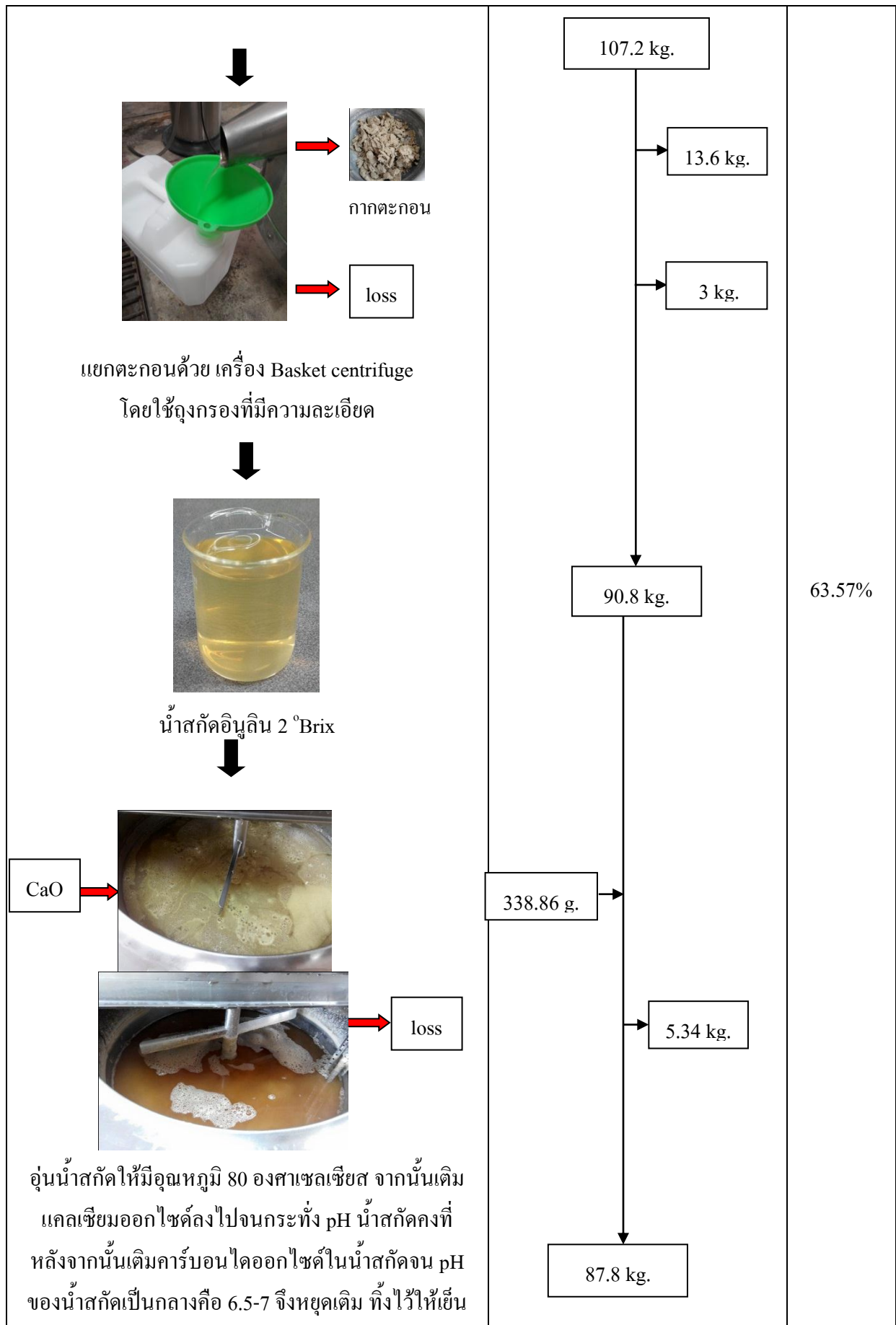
นอกจากนี้จากผลการทำสมดุลมวลสาร แสดงให้เห็นว่าการแปรรูปแป้งแค้นตะวันเป็นอินูลินผงโดยไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ มีค่า Production yield อยู่ในช่วงประมาณ 36.97 - 43.92% ซึ่งหากเปรียบเทียบผลดังกล่าวกับผลการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ ดังตารางผนวกที่ 11.4 กรณีที่ใช้แป้งแค้นตะวันที่มีเปลือกและผ่านการลวก (JAP1) ซึ่งเป็นกรณีที่วิธีการเตรียมวัตถุดิบแป้งแค้นตะวันเหมือนกับการทดลองในระดับนำร่องนี้ จะพบว่า ได้ค่า Production yield อยู่ในช่วงใกล้เคียงกัน นั่นคือ การทดลองในระดับห้องปฏิบัติการได้ค่า Production yield เท่ากับ 43.81%

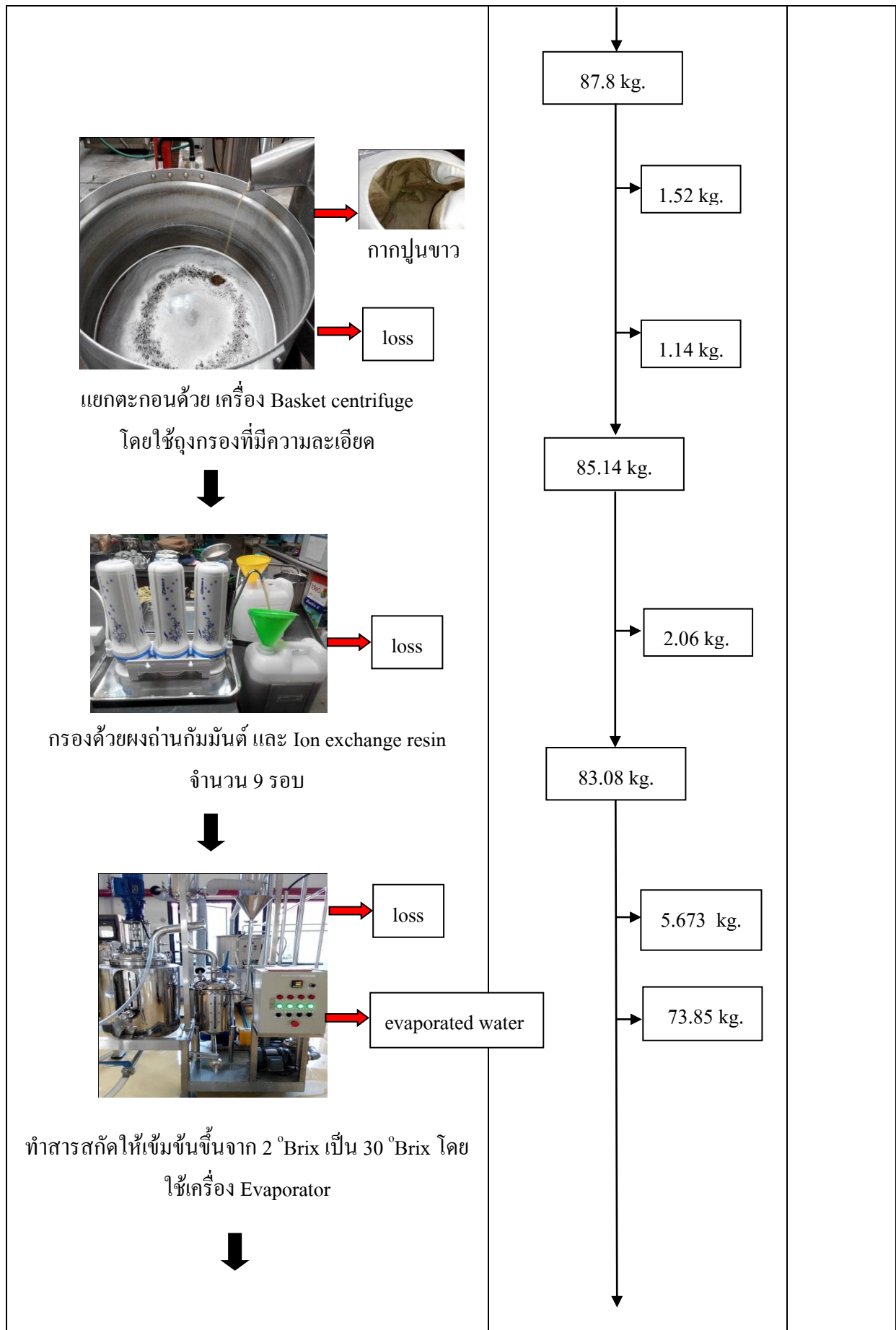
การแปรรูปแป้งแค้นตะวันเป็นอินูลินผงโดยใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ พร้อมทั้งสมดุลมวลสาร

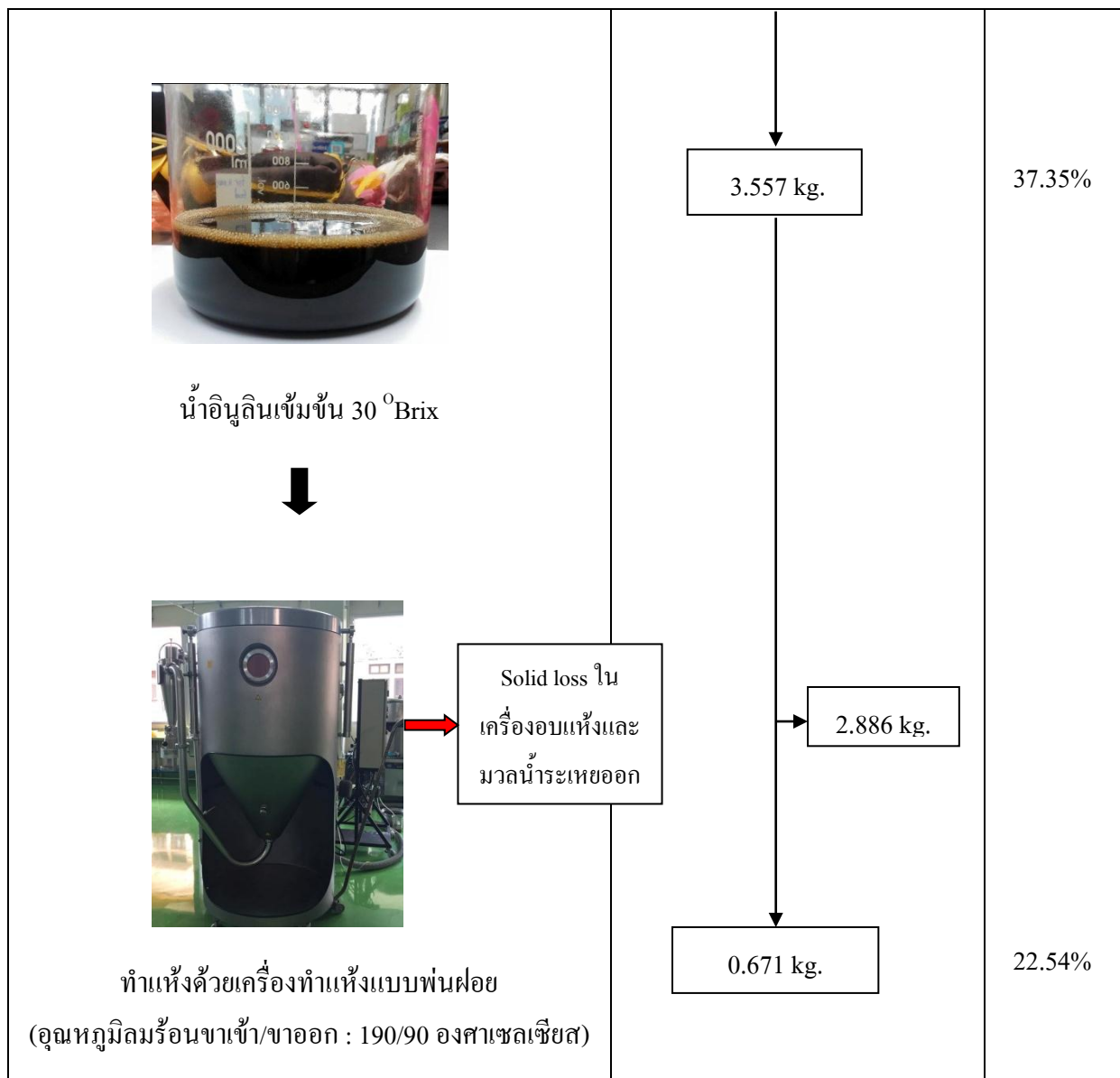
วิธีการทดลองแปรรูปแป้งแค้นตะวันเป็นอินูลินผงโดยใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ (การคาร์บอนขึ้น การกำจัดสีและกลิ่นด้วยผงถ่านกัมมันต์ และการใช้ Ion exchange resin) ในระดับนำร่อง พร้อมทั้งสมดุลมวลสาร ในการทดลองครั้งที่ 1 และ 2 ถูกแสดงดังตารางผนวกที่ 13.3 และ 13.4 ตามลำดับ

ตารางผนวกที่ 13.3 การทดลองแปรรูปแป้งแค้นตะวันเป็นอินูลินผงโดยใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ในระดับนำร่องและการทำสมดุลมวลสาร ครั้งที่ 1

กระบวนการ	สมดุลมวลสาร	ของแข็ง
 แป้งแค้นตะวันผง 3 kg. น้ำ 105 kg. แป้งแค้นตะวันผง : น้ำ = 1 : 35 สก๊ตด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที ด้วยถังกวนควบคุมอุณหภูมิ loss 0.8 kg. 107.2 kg.	แป้งแค้นตะวันผง 3 kg. น้ำ 105 kg. 108 kg. 0.8 kg. 107.2 kg.	100%



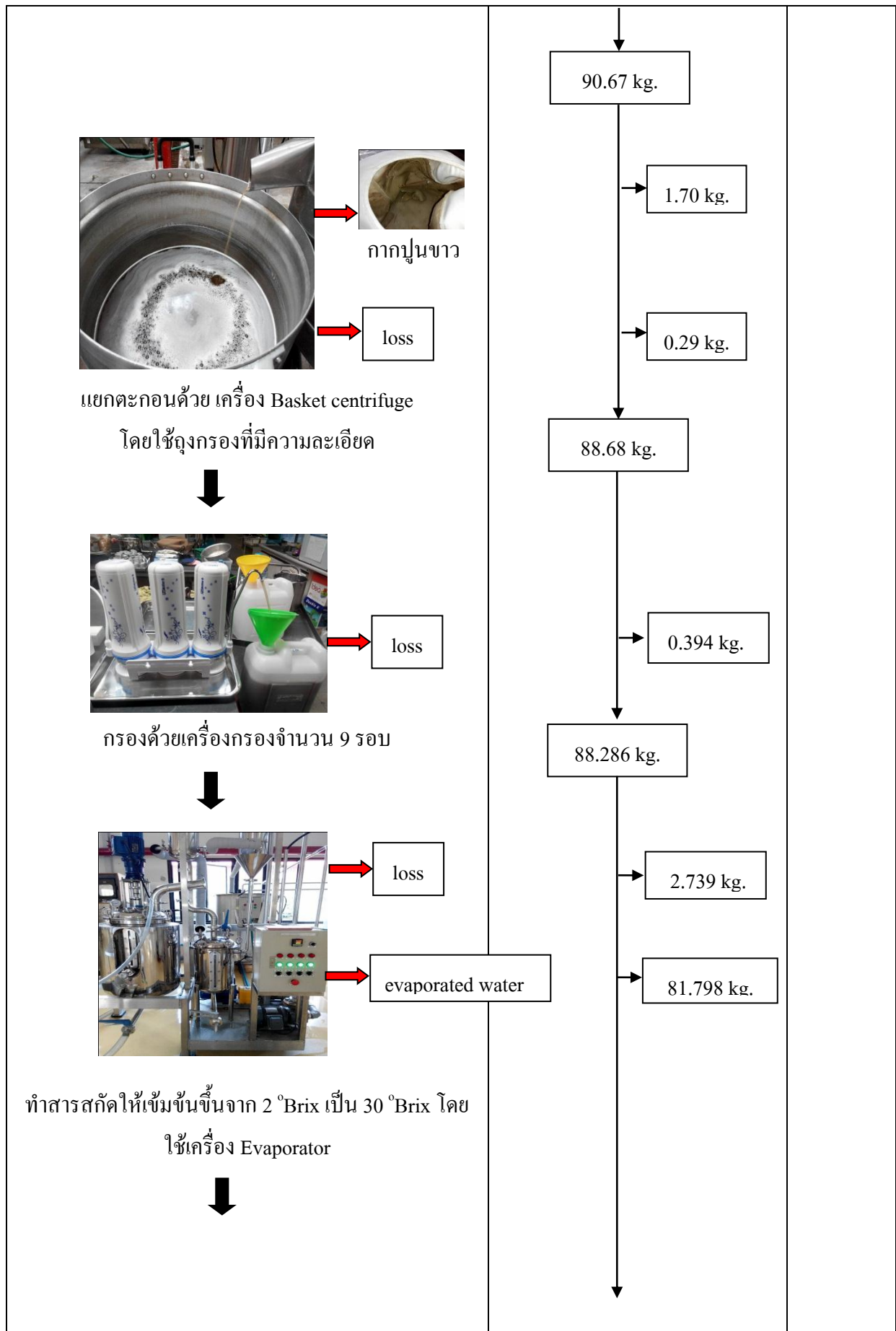




ตารางผนวกที่ 13.4 การทดลองแปรรูปแป้งแค้นตะวันเป็นอินูลินผงโดยใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ในระดับ
นำร่องและการทำสมดุลมวลสาร ครั้งที่ 2

กระบวนการ	สมดุลมวลสาร	ของแข็ง
 แป้งแค้นตะวันผง 3 kg. + น้ำ 105 kg. = 108 kg. แป้งแค้นตะวันผง : น้ำ = 1 : 35 ↓ สกัดด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที ด้วยถังกวนควบคุมอุณหภูมิ ↓ ↓ loss 0.4 kg. 107.6 kg. ↓ ↓ loss 12.7 kg. 94.74 kg. แยกตะกอนด้วย เครื่อง Basket centrifuge โดยใช้ถุงกรองที่มีความละเอียด	แป้งแค้นตะวันผง 3 kg. ↓ น้ำ 105 kg. ↓ 108 kg. ↓ 0.4 kg. ↓ 107.6 kg. ↓ 12.7 kg. ↓ 0.16 kg. ↓ 94.74 kg.	100%

น้ำสกัดอินูลิน 2 °Brix CaO loss อุ่นน้ำสกัดให้มีอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จากนั้นเติม แคลเซียมออกไซด์ลงไปจนกระทั่ง pH น้ำสกัดคงที่ หลังจากนั้นเติมคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำสกัดจน pH ของน้ำสกัดเป็นกลางคือ 6.5-7 จึงหยุดเติม ทิ้งไว้ให้เย็น	94.74 kg. 356.58 g. 3.71 kg. 90.67 kg.	66.32%
--	--	--



						
น้ำอินูลินเข้มข้น 30 °Brix						
						

จากตารางผนวกที่ 13.3 และ 13.4 แสดงให้เห็นว่ากระบวนการผลิตในระดับนำร่องจะมีการใช้

- ถังกวนขนาดความจุ 100 ลิตร สำหรับขั้นตอนการสกัดและการคาร์บอนขึ้น ซึ่งถึงดังกล่าวถูกออกแบบในลักษณะ Double-jacketed mixing tank โดยใช้ไอน้ำจาก Boiler เป็นตัวกลางในการให้ความร้อน
- Basket centrifuge สำหรับขั้นตอนการแยกตะกอนออกจากน้ำสกัด
- เครื่องระเหยแบบสุญญากาศ ขนาด 50 ลิตร สำหรับขั้นตอนการทำให้น้ำสกัดเข้มข้น

- เครื่องกรองแบบ 3 ขั้นตอน โดย 2 ขั้นตอนแรก เป็นการกรองด้วย Ion exchange resin เพื่อลดค่า Hardness ของน้ำสกัด อันเนื่องมาจากผลของกระบวนการคาร์บอนชั้น ส่วนขั้นตอนสุดท้ายเป็นการกรองด้วยผงถ่านกัมมันต์ เพื่อกำจัดสีและกลิ่น

ดังนั้นวิธีการทดลองแปรรูปแป้งแก่งัดวันเป็นอินูลินผงโดยใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ในระดับน้ำร่องจึงมีความใกล้เคียงกับวิธีการผลิตในระดับอุตสาหกรรมมากขึ้นกว่าการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ ทำให้สามารถใช้แนวทางการผลิตรวมถึงผลที่ได้จากการทดลองในระดับน้ำร่องนี้ ไปขยายขนาดกำลังการผลิตในระดับอุตสาหกรรมและประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ได้เป็นอย่างดี

นอกจากนี้จากผลการทำสมดุลมวลสาร แสดงให้เห็นว่าการแปรรูปแป้งแก่งัดวันเป็นอินูลินผงโดยใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ มีค่า Production yield อยู่ในช่วงประมาณ 22.54 - 23.75% ซึ่งหากเปรียบเทียบกับผลดังกล่าวกับผลการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ ดังตารางผนวกที่ 8.4 จะพบว่า ได้ค่า Production yield อยู่ในช่วงที่ต่ำกว่า นั่นคือ การทดลองในระดับห้องปฏิบัติการได้ค่า Production yield after spray drying เท่ากับ 33.71 - 41.35% ซึ่งสาเหตุหลักคาดว่าเกิดจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองในระดับน้ำร่อง ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าและอาจมีรายละเอียดทางเทคนิคบางประการที่แตกต่างจากอุปกรณ์ที่ใช้ในระดับห้องปฏิบัติการ ก่อให้เกิดการสูญเสียหรือติดค้างของผลิตภัณฑ์ภายในเครื่องมากกว่าการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ

คุณภาพของอินูลินผงที่ผลิตได้ในงานวิจัยนี้เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์อินูลินผงที่จำหน่ายในปัจจุบัน

อินูลินผงที่ผลิตได้ในงานวิจัยนี้จากการทดลองในระดับน้ำร่อง ทั้งกรณีที่ 1) ไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ และ 2) ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ (การคาร์บอนชั้น การกำจัดสีและกลิ่นด้วยผงถ่านกัมมันต์ และ การใช้ Ion exchange resin) ถูกนำมาตรวจสอบคุณภาพในด้านต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์อินูลินผงทางการค้า ยี่ห้อ Orafiti[®] ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารของประเทศไทยในปัจจุบัน โดยผู้วิจัยได้เลือกผลิตภัณฑ์อินูลินผงทางการค้า 2 ชนิด คือ อินูลินผง เกรด Orafiti[®] HSI และ Orafiti[®] LGI มาใช้ในการเปรียบเทียบกับอินูลินผงที่ผลิตได้จากการทดลองกรณีที่ 1) ไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ และอินูลินผงที่ผลิตได้จากการทดลองกรณีที่ 2) ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ ตามลำดับ เนื่องจากความใกล้เคียงกันของคุณลักษณะของอินูลินผง ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในช่วงแรกของภาคผนวกบทนี้ ผลการตรวจสอบคุณภาพถูกแสดงดังตารางผนวกที่ 13.5

จากผลการตรวจสอบคุณภาพในตารางผนวกที่ 13.5 แสดงให้เห็นว่า อินูลินผงที่ผลิตได้จากการทดลองกรณีที่ไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ มีปริมาณอินูลินประมาณ 77% ซึ่งน้อยกว่าผลิตภัณฑ์อินูลินผง เกรด Orafiti[®] HSI ที่มีข้อกำหนดคุณลักษณะว่าต้องมีปริมาณอินูลินไม่น้อยกว่า 86% ในขณะที่หากพิจารณาปริมาณ Glucose/Fructose/Sucrose จะพบว่า อินูลินผงที่ผลิตได้จากการทดลองกรณีที่ไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ มีปริมาณ Glucose/Fructose/Sucrose ประมาณ 4% ซึ่งผลิตภัณฑ์อินูลินผง เกรด Orafiti[®] HSI มีข้อกำหนดคุณลักษณะว่าต้องมีปริมาณ Glucose/Fructose/Sucrose ไม่เกิน 14% ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า กระบวนการผลิตอินูลินผงจากหัวแก่้นตะวัน กรณีที่ไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้สามารถผลิตอินูลินที่มีระดับความบริสุทธิ์สูงในระดับหนึ่ง อย่างไรก็ตามระดับความบริสุทธิ์ดังกล่าวยังไม่สูงเท่ากับ ผลิตภัณฑ์อินูลินผงที่ผลิตจากหัวชิคอรี่ เกรด Orafiti[®] HSI ที่จำหน่ายในท้องตลาด และอินูลินผงจากหัวแก่้นตะวัน ที่ผลิตในงานวิจัยนี้โดยไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ มีปริมาณ Glucose/Fructose/Sucrose เป็นไปตามข้อกำหนดคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์อินูลินผง เกรด Orafiti[®] HSI อย่างไรก็ตามทั้งปริมาณอินูลินและ Glucose/Fructose/Sucrose ในอินูลินผงจากหัวแก่้นตะวัน ที่ผลิตในงานวิจัยนี้โดยไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ จะขึ้นอยู่กับวัตถุดิบหัวแก่้นตะวันที่ใช้ในการทดลองเป็นสำคัญ โดยสังเกตได้จากผลการทดลองที่แสดงในตารางผนวกที่ 11.5 กรณี Sample : Inulin 1 (extracted from JAP 1) ซึ่งการเตรียมวัตถุดิบและวิธีการแปรรูปเป็นอินูลินผง ใช้แนวทางเดียวกับการผลิตอินูลินผงจากหัวแก่้นตะวันในกรณีนี้ แต่มีปริมาณ Glucose/Fructose/Sucrose สูงถึง 23.62% ซึ่งเกินกว่าข้อกำหนดคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์อินูลินผง เกรด Orafiti[®] HSI และมีปริมาณอินูลิน เพียง 56.29% ซึ่งต่ำกว่าข้อกำหนดคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์อินูลินผงเกรด Orafiti[®] HSI มาก จากการวิเคราะห์ผลการทดลองผู้วิจัยคาดว่า มีสาเหตุจากการที่ใช้หัวแก่้นตะวันสดที่ถูกเก็บรักษาในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาประมาณ 6 เดือน ในการทดลองสำหรับภาคผนวกที่ 11 แต่ผลการทดลองในภาคผนวกนี้ ใช้หัวแก่้นตะวันสดที่เก็บเกี่ยวมาใหม่ ๆ มาแปรรูปเป็นแป้งแก่้นตะวันแล้วนำแป้งแก่้นตะวันดังกล่าวมาแปรรูปเป็นอินูลินผง จากงานวิจัยที่ผ่านมาของ Rutherford & Weston (1968) และ Modler et al. (1993) แสดงให้เห็นว่า หากมีการเก็บหัวแก่้นตะวันสดเป็นระยะเวลาสั้นก่อนที่จะนำมาแปรรูปเป็นแป้งแก่้นตะวันหรืออินูลินผง จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในโครงสร้างของอินูลิน ส่งผลให้มีปริมาณโมเลกุลน้ำตาลขนาดเล็กเพิ่มมากขึ้น อันเนื่องมาจากการทำงานของเอนไซม์ นอกจากนี้ Cabezas et al. (2002), Saengthongpinit & Sajjaanantakul (2005) และ Kocsis et al. (2007) แสดงให้เห็นว่าระหว่างการเก็บรักษาหัวแก่้นตะวันสด ขนาดความยาวของโมเลกุลอินูลินจะถูกลด

ให้มีขนาดสั้นลง ส่งผลทำให้ค่า Degree of polymerization (DP) ของอินูลินลดลง ผลการศึกษาเหล่านี้แสดงให้เห็นว่า ในการผลิตอินูลินผงให้มีคุณภาพสม่ำเสมอทั้งในแง่ของค่า DP ปริมาณอินูลิน และปริมาณ Glucose/Fructose/Sucrose ผู้ผลิตจำเป็นต้องมีการควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบหัวแค้นตะวันตกให้มีอายุการเก็บเกี่ยวเหมาะสม สม่ำเสมอ และไม่ควรที่จะเก็บรักษาหัวแค้นตะวันตกเป็นระยะเวลานาน ควรมีการแปรรูปเป็นแป้งแค้นตะวันตกหรือมีการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ด้วยความร้อน เช่น การลวก เพื่อรักษาให้อินูลินที่อยู่ในหัวแค้นตะวันตกมีความคงตัว ไม่เปลี่ยนแปลงจนเกิดผลกระทบต่อคุณภาพและความสม่ำเสมอของผลิตภัณฑ์

นอกจากนี้ จากผลการตรวจสอบคุณภาพในตารางผนวกที่ 13.5 แสดงให้เห็นว่าค่า DP เฉลี่ย ปริมาณมวลแห้ง และค่าพีเอช ของอินูลินผงจากหัวแค้นตะวันตก ที่ผลิตในงานวิจัยนี้โดยไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ สอดคล้องกับข้อกำหนดคุณลักษณะของอินูลินผงเกรด Orafti[®] HSI ส่วนปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ไม่ว่าจะเป็น Total count, Yeasts and Moulds พบว่า มีปริมาณสูงเกินกว่าข้อกำหนดคุณลักษณะของอินูลินผงเกรด Orafti[®] HSI สะท้อนให้เห็นว่ากระบวนการผลิตในระดับนำร่องที่ทำภายในอาคารแปรรูปของคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ยังคงไม่ถูกสุขลักษณะและสามารถป้องกันการปนเปื้อนจุลินทรีย์ได้ดีเท่ากับกระบวนการผลิตของบริษัท BENEIO-Orafti ซึ่งผู้วิจัยคาดว่าน่าจะได้มาตรฐานสุขลักษณะที่ดีในการผลิตในระดับสากล

เมื่อพิจารณาในส่วนของอินูลินผงที่ผลิตได้จากการทดลองกรณีที่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ พบว่ามีปริมาณอินูลินประมาณ 87% ซึ่งน้อยกว่าผลิตภัณฑ์อินูลินผง เกรด Orafti[®] LGI ที่มีข้อกำหนดคุณลักษณะว่าต้องมีปริมาณอินูลินประมาณ 96% แต่สอดคล้องกับข้อกำหนดคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์อินูลินผง เกรด Orafti[®] HSI ที่มีข้อกำหนดคุณลักษณะว่าต้องมีปริมาณอินูลินไม่น้อยกว่า 86% ในขณะที่หากพิจารณาปริมาณ Glucose/Fructose/Sucrose จะพบว่า อินูลินผงที่ผลิตได้จากการทดลองกรณีที่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ มีปริมาณ Glucose/Fructose/Sucrose เพียงประมาณ 3% ซึ่งผลิตภัณฑ์อินูลินผง เกรด Orafti[®] LGI มีข้อกำหนดคุณลักษณะว่าต้องมีปริมาณ Glucose/Fructose/Sucrose ประมาณ 4% และ เกรด Orafti[®] HSI ระบุว่าต้องมีปริมาณ Glucose/Fructose/Sucrose ไม่เกิน 14% ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า กระบวนการผลิตอินูลินผงจากหัวแค้นตะวันตก กรณีที่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ สามารถผลิตผงอินูลินที่มีระดับความบริสุทธิ์สูงขึ้นกว่ากรณีที่ไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ อย่างเห็นได้ชัด โดยระดับความบริสุทธิ์ดังกล่าวสูงกว่าผลิตภัณฑ์อินูลินผง เกรด Orafti[®] HSI แต่ยังไม่สูงเท่ากับ Orafti[®] LGI ในแง่ของปริมาณอิ

นูลิน ซึ่งอาจมีสาเหตุจาก 1) ชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ นั่นคือผลิตภัณฑ์อินูลินผง ยี่ห้อ Orafiti ใช้วัตถุดิบคือ หัวซีคอรี่ แต่ในงานวิจัยนี้ใช้หัวแก่นตะวัน 2) เทคโนโลยีการแปรรูปที่ใช้สำหรับกระบวนการสกัดและการทำให้บริสุทธิ์ ซึ่งเทคโนโลยีของบริษัท BENEIO-Orafiti ไม่ได้มีการเปิดเผยสู่สาธารณะ ผู้วิจัยจึงไม่สามารถทราบได้ว่ามีความแตกต่างกันอย่างไรบ้าง แต่จากข้อกำหนดคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์อินูลินผง เกรด Orafiti[®] HSI และ Orafiti[®] LGI แสดงให้เห็นว่า ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมีปริมาณโปรตีน ไขมัน วิตามินและเกลือแร่ น้อยมากจนไม่ถูกนำมาพิจารณา ดังแสดงใน Product Sheet ของ ผลิตภัณฑ์อินูลินผง เกรด Orafiti[®] HSI (ไม่มี Product Sheet ของผลิตภัณฑ์อินูลินผง เกรด Orafiti[®] LGI เนื่องจากบริษัทฯ ที่เป็นตัวแทนจำหน่ายในประเทศไทยไม่มีการนำเข้าผลิตภัณฑ์เกรดดังกล่าว) ในขณะที่อินูลินผงที่ผลิตในงานวิจัยนี้ยังคงมีปริมาณของส่วนประกอบเหล่านี้พอสมควร ดังแสดงในตารางผนวกที่ 13.6

นอกจากนี้ จากผลการตรวจสอบคุณภาพในตารางผนวกที่ 13.5 แสดงให้เห็นว่าค่า DP เฉลี่ย ปริมาณมวลแห้ง และค่าพีเอช ของอินูลินผงจากหัวแก่นตะวัน ที่ผลิตในงานวิจัยนี้โดยใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ สอดคล้องกับข้อกำหนดคุณลักษณะของอินูลินผงเกรด Orafiti[®] LGI และ Orafiti[®] HSI ส่วนปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ พบว่าค่า Total count มีปริมาณสูงเกินกว่าข้อกำหนดคุณลักษณะของอินูลินผงเกรด Orafiti[®] LGI และ Orafiti[®] HSI ส่วนค่า Yeasts and Moulds พบว่าเป็นไปตามข้อกำหนดคุณลักษณะของอินูลินผงเกรด Orafiti[®] LGI และ Orafiti[®] HSI อย่างไรก็ตามผลดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่ากระบวนการผลิตในระดับนำร่องที่ทำภายในอาคารแปรรูปของคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ยังคงไม่ถูกสุขลักษณะและสามารถป้องกันการปนเปื้อนจุลินทรีย์ได้ดีเท่ากับกระบวนการผลิตของบริษัท BENEIO-Orafiti ซึ่งผู้วิจัยคาดว่าน่าจะได้มาตรฐานสุขลักษณะที่ดีในการผลิตในระดับสากล

ตารางผนวกที่ 13.5 คุณภาพของอินูลินผงที่ผลิตได้ในงานวิจัยนี้เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์อินูลินผงยี่ห้อ Orafti®

คุณสมบัติ	ชนิดของตัวอย่าง			
	อินูลินผงที่ผลิตในงานวิจัยนี้ กรณีที่ไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์	Orafti® HSI	อินูลินผงที่ผลิตในงานวิจัยนี้ กรณีที่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์	Orafti® LGI
Inulin content	~ 77% ^{*1}	≥ 86%	~ 87% ^{*2}	~ 96%
Glucose/Fructose/Sucrose	~ 4% ^{*1}	≤ 14%	~ 3% ^{*2}	~ 4%
Average DP	8.69 ^{*3}	< 10	8.17 ^{*4}	≥ 8
Dry matter	95.2 g/100g	(97 ± 2) g/100g	96.0 g/100g	(97 ± 2) g/100g
pH (w = 10g/100g)	5.6	5.0 to 7.0	5.1	5.0 to 7.0
Total count (/g d.m.)	14000 cfu per g ^{*6}	Max. 1000 cfu per g	3300 cfu per g ^{*6}	Max. 1000 cfu per g
Yeasts (/g d.m.)	Yeast & Mould ^{*5} = 150 cfu per g	Max. 20 cfu per g	Yeast & Mould ^{*5} = 10 cfu per g	Max. 20 cfu per g
Moulds (/g d.m.)		Max. 20 cfu per g		Max. 20 cfu per g

หมายเหตุ ^{*1} หมายถึง มีที่มาจากตารางผนวกที่ 8.6 (Sample : Inulin extract after basket centrifugation), ^{*2} หมายถึง มีที่มาจากตารางผนวกที่ 8.6 (Sample : Purified inulin powder), ^{*3} หมายถึง มีที่มาจากตารางผนวกที่ 7.4 (Treatment : หลังการ Basket centrifuge), ^{*4} หมายถึง มีที่มาจากตารางผนวกที่ 7.4 (Treatment : Resin 25), ^{*5} หมายถึง ใช้วิธีการทดสอบอ้างอิงตาม AOAC (2012) 997.02, ^{*6} หมายถึง ใช้วิธีการทดสอบอ้างอิงตาม FDA BAM, 2001 (Chapter 3)



บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด
Central Laboratory (Thailand) Co., Ltd.

สาขากรุงเทพฯ : 50 ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
Bangkok Branch : 50 Phaholyothin Rd., Ladyao, Jatujak, Bangkok 10900 Thailand
Tel : (662) 561 4387-8, (662) 940 6881-3 Ext. 164, 218 Fax : (662) 579 4895, (662) 940 6881-3 Ext. 209
http://www.centralabthai.com



Accreditation No. 1051/47

Central Lab
One Stop & Fast Services

วันที่ออก : 08 มิถุนายน 2558

เลขที่รายงาน : TR 58/20094

หน้า : 1 / 1

ใบรายงานผลการทดสอบ

ชื่อและที่อยู่ลูกค้า	นายวีรเชษฐ์ จิตคามิษฐ์ 50 ถนนงามวงศ์วาน ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900
รายละเอียดตัวอย่าง	Inulin (ผงอินูลินไม่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์)
รหัสตัวอย่าง	58/10852-001
ลักษณะและสภาพตัวอย่าง	ประเภทตัวอย่าง : Inulin (ผงอินูลินไม่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์) ภาชนะบรรจุ : ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ปิดสนิท, จำนวน : 1 ถุง, น้ำหนัก/ปริมาตร : 101.72 กรัม. อุณหภูมิ : อุณหภูมิห้อง, สภาพตัวอย่างปกติ
วันที่รับตัวอย่าง	02 มิถุนายน 2558
วันที่ทดสอบ	03 มิถุนายน 2558 - 08 มิถุนายน 2558

ผลการทดสอบ

รายการทดสอบ	ผลการทดสอบ	หน่วย	LOD	วิธีทดสอบอ้างอิง
Total Plate Count	1.4×10^4	cfu/g	-	FDA BAM, 2001 (Chapter 3)

อนุมัติผลโดย
(นางดวงเพ็ญ จีรวงศาโรจน์)
ลงนามแทนผู้อำนวยการห้องปฏิบัติการ
CERTIFIED
สาขา กรุงเทพฯ

รายงานฉบับนี้มีผลเฉพาะกับตัวอย่างที่นำมาทดสอบเท่านั้น

รายงานผลการทดสอบต้องไม่ถูกทำสำเนาเฉพาะเพียงบางส่วน โดยไม่ได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากห้องปฏิบัติการ ยกเว้นทำทั้งฉบับ

FM-QP-24-01-001-R02(21/08/51)P1/1



บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด
Central Laboratory (Thailand) Co., Ltd.

สาขากรุงเทพฯ : 50 ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
Bangkok Branch : 50 Phaholyothin Rd., Ladyao, Jotujak, Bangkok 10900 Thailand
Tel : (662) 561 4387-8, (662) 940 6881-3 Ext. 164, 218 Fax : (662) 579 4895, (662) 940 6881-3 Ext. 209
http://www.centralabthai.com



Accreditation No. 1051/47

Central Lab
One Stop & Fast Services

วันที่ออก : 29 กรกฎาคม 2557

เลขที่รายงาน : TR 57/27018

หน้า : 1 / 1

ใบรายงานผลการทดสอบ

ชื่อและที่อยู่ลูกค้า	นายวีรเชษฐ์ จิตตานิชย์ 50 ถนนงามวงศ์วาน ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900
รายละเอียดตัวอย่าง	ตัวอย่าง 3 (190-90) อินูลินผงไม่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์
รหัสตัวอย่าง	57/14748-003
ลักษณะและสภาพตัวอย่าง	ประเภทตัวอย่าง : อินูลินผงจากแก่นตะวัน (อินูลินผงไม่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์) ภาชนะบรรจุ : ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ปิดสนิท, จำนวน : 1 ถุง, น้ำหนัก/ปริมาตร : 70 กรัม. อุณหภูมิ : แช่เย็น, สภาพตัวอย่างปกติ
วันที่รับตัวอย่าง	23 กรกฎาคม 2557
วันที่ทดสอบ	23 กรกฎาคม 2557 - 28 กรกฎาคม 2557

ผลการทดสอบ

รายการทดสอบ	ผลการทดสอบ	หน่วย	LOD	วิธีทดสอบอ้างอิง
Yeast and mold	1.5×10^2	cfu/g	-	AOAC (2012) 997.02

อนุมัติโดย
(นางอศรพันธ์ อธิวงศาโรจน์)
ลงนามแทนผู้อำนวยการห้องปฏิบัติการ
CERTIFIED
สาขา กรุงเทพฯ

รายงานฉบับนี้มีผลเฉพาะกับตัวอย่างที่นำมาทดสอบเท่านั้น

รายงานผลการทดสอบต้องไม่ถูกทำสำเนาเฉพาะเพียงบางส่วน โดยไม่ได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากห้องปฏิบัติการ ยกเว้นทำทั้งฉบับ

FM-QP-24-01-001-R02(21/08/51)P1/1



บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด
Central Laboratory (Thailand) Co., Ltd.

สาขากรุงเทพฯ : 50 ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
Bangkok Branch : 50 Phaholyothin Rd., Laddymao, Jatujak, Bangkok 10900 Thailand
Tel : (662) 561 4387-8, (662) 940 6881-3 Ext. 164, 218 Fax : (662) 579 4895, (662) 940 6881-3 Ext. 209
http://www.centralabthai.com



Accreditation No. 1051/47

Central Lab
One Stop & Fast Services

วันที่ออก : 08 มิถุนายน 2558

เลขที่รายงาน : TR 58/20085

หน้า : 1 / 1

ใบรายงานผลการทดสอบ

ชื่อและที่อยู่ลูกค้า	คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตร บางเขน 50 ถนนงามวงศ์วาน ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900
รายละเอียดตัวอย่าง	ผงแก๊นตะวัน (ผงอินูลินผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์)
รหัสตัวอย่าง	58/10814-001
ลักษณะและสภาพตัวอย่าง	ประเภทตัวอย่าง : ผงแก๊นตะวัน (ผงอินูลินผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์) ภาชนะบรรจุ : ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ปิดสนิท, จำนวน : 1 ถุง, น้ำหนัก/ปริมาตร : 140 กรัม. อุณหภูมิ : อุณหภูมิห้อง, สภาพตัวอย่างปกติ
วันที่รับตัวอย่าง	02 มิถุนายน 2558
วันที่ทดสอบ	02 มิถุนายน 2558 - 08 มิถุนายน 2558

ผลการทดสอบ

รายการทดสอบ	ผลการทดสอบ	หน่วย	LOD	วิธีทดสอบอ้างอิง
Total Plate Count	3.3×10^3	cfu/g	-	FDA BAM, 2001 (Chapter 3)
Yeast and mold	$1.0 \times 10^{\text{est}}$	cfu/g	-	AOAC (2012) 997.02

หมายเหตุ est : Estimated Counts



ลงนามแทนผู้อำนวยการห้องปฏิบัติการ
สาขา กรุงเทพฯ

รายงานฉบับนี้มีผลเฉพาะกับตัวอย่างที่นำมาทดสอบเท่านั้น

รายงานผลการทดสอบต้องไม่ถูกทำสำเนาเฉพาะเพียงบางส่วน โดยไม่ได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากห้องปฏิบัติการ ยกเว้นทำทั้งฉบับ

FM-QP-24-01-001-R02(21/08/51)P1/1

Product Sheet

Orafti® HSI

DOC.A4-15*02/13



Specification

Description

Orafti® HSI Is a highly soluble inulin – a food ingredient derived from chicory.

Inulin is consisting of oligo- and polysaccharides which are based on fructose units linked together by $\beta(2-1)$ linkages. The total number of fructose and glucose units of chicory inulin ranges mainly between 2 and 70. In Orafti® HSI, inulin is slightly enzymatically hydrolysed.

Compositional Specifications

Analytical Methods : see our Technical Brochures.

Inulin*	≥ 86 g/100g
Glucose + fructose + sucrose*	≤ 14 g/100g
Dry Matter (grav.)	(97 ± 2) g/100g
Carbohydrate content*	> 99.5 g/100g
Ash (sulphated)*	< 0.2 g/100g
Conductivity (w = 15 g/100g)	< 250 μ S/cm
Heavy Metals*	Pb ≤ 0.02 mg/kg As ≤ 0.03 mg/kg Cd, Hg each ≤ 0.01 mg/kg
pH (w = 10 g/100g DM)	5.0 to 7.0

* expressed on Dry Matter (grav.).

Microbiological Specifications

All values expressed on Dry Matter.

Analytical methods : see our Technical Brochures.

Mesophilic bacteria - total count	max. 1000 cfu per g
Yeasts	max. 20 cfu per g
Moulds	max. 20 cfu per g
Thermophilic aerobic spores	max. 1000 cfu per g
Anaerobic H ₂ S producing thermophilic spores	max. 25 cfu per g
Enterobacteriaceae	negative in 1 g
Bacillus cereus	max. 100 cfu per g
Coagulase positive staphylococci	negative in 0.1 g
Escherichia coli	negative in 1 g
Clostridia	negative in 1 g
Salmonella	negative in 250 g
Listeria	negative in 25 g

Information

Nutritional information: European Union

All values are average values expressed per 100 g commercial product.

Carbohydrates	10.4	Protein	negligible ¹
Sugars ¹⁾	10.4	Fat	negligible
Dietary Fibre ²⁾	86.6		
Caloric value ³⁾	215 kcal / 871 kJ	Vitamins and Minerals	negligible

1) Sugars = glucose + fructose + sucrose + inulobiose (difructose).

2) As measured by AOAC method 997.08 excluding inulobiose (difructose). The EU Directive 2008/100/EC (amending 90/496/EEC) introduced a new definition of dietary fibre starting with three monomeric units. AOAC Method 997.08 allows the identification and quantification of undigestible dimers. This therefore creates a difference in calculated dietary fibre based on EU and US definitions with subsequent effect on sugars. For inulin, no change from the current situation is needed.

3) based on a caloric value of 2 kcal/g for all dietary fibres, as defined in EU Directive 2008/100/EC (amending 90/496/EEC). The Directive 90/496/EEC will be replaced by Regulation (EU) 1169/2011 from 13 December 2014 on.

Nutritional information: US

All values are average values expressed per 100 g commercial product.

Carbohydrates	97 ¹⁾	Protein	negligible
Sugars	9	Fat	negligible
Dietary Fibre ²⁾	88		
Caloric value ³⁾	168 kcal / 703 kJ	Vitamins and Minerals	negligible

1) including dietary fibre

2) measured by AOAC method 997.08

3) based on a caloric value of 1.5 kcal/g for inulin and oligofructose.

Nutritional information: other countries

For caloric values national legislation is applicable. In general, the caloric value for inulin is within a range between 1 and 1.5 kcal/g and for oligofructose 1.5 kcal/g as confirmed by a number of national authorities.

This information on average values is given in good faith, however, no warranty or guarantee, concerning the content, accuracy or completeness of the results is given. Typical analysis data will fall within the range of the specification on Orafit[®] HSI.

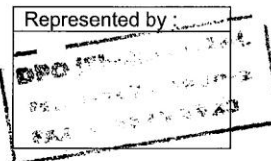
HSI A4-15*02/13

2/3

Information

Other Information (see also our Technical Brochures)

Aspect*	Fine, white to slightly yellow powder
Behaviour*	Hygroscopic
Taste*	Slightly sweet, without aftertaste
Solubility in water*	> 200 g/l at 25 °C
Dispersibility in water*	See document "Solubility and Dispersibility Characteristics of Orafit Powdered Products"
Properties and Applications	See our Technical Brochures.
Particle Sizes*	See document "Particle Sizes".
Density*	Approx. (650 ± 50) g/l
Proposed labeling in ingredients List	Inulin
Safety	Safe. Not toxic. Not dangerous. Is, like other fine powders, when mixed with air and ignited, capable of causing an explosion.
Further information	Excessive consumption may cause laxative effects.
Packaging	Paper bags on pallets, see 'Packaging Sheet Powders'
Optimal storage conditions	Cool (< 25 °C) and dry (< 60 % RH), in its original airtight packaging.
Shelf life	3 years from date of production (see also best before date on packaging label and CoA) Guaranteed: minimum 18 months upon delivery from production plant
Transport conditions	According to document 'Transport Conditions'
Kosher	Certified, Orthodox Union
Halal	Certified, Majelis Ulama Indonesia (Chile)
Plant origin	Suitable for vegetarians & vegans
Produced by	BENEO-Orafit – see address on packaging label



*To the best of our knowledge, the information in this product sheet is reliable.
(*) Indicative values listed under "Other information" on this page cannot be the basis for complaints, unless a specific requirement from the customer has been agreed by BENEO-Orafit on one of these values.*

นอกจากผลการตรวจสอบคุณภาพอินูลินผงตามที่แสดงในตารางผนวกที่ 13.5 แล้ว ผู้วิจัยยังได้ตรวจสอบคุณภาพในด้านอื่น ๆ ได้แก่ bulk density, สี, ความชื้น, proximate analysis, water activity และ solubility ดังแสดงในตารางผนวกที่ 13.6 รวมทั้งผลการส่องดูโครงสร้างในระดับจุลภาค ดังแสดงในภาพผนวกที่ 13.1

จากผลการวัดค่าความหนาแน่นปรากฏ (Bulk density) แสดงให้เห็นว่า ในการผลิตบรรจุภัณฑ์และการขนส่งผลิตภัณฑ์อินูลินผงปริมาณ 1 กิโลกรัม จำเป็นต้องมีปริมาตรประมาณ 1.38 – 1.52 ลิตร โดยอินูลินผงที่ผลิตในงานวิจัยนี้โดยไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ จะมีค่าความหนาแน่นปรากฏสูงกว่าอินูลินผงที่ผลิตโดยใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ ซึ่งคาดว่าสาเหตุมาจากการที่อินูลินผงที่ผลิตในงานวิจัยนี้โดยไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่มากกว่าส่งผลทำให้เกิดการดูดความชื้นจากสิ่งแวดล้อมมากกว่าและเกิดการจับตัวกันเป็นก้อนมากกว่า จึงมีความหนาแน่นสูงกว่า

ผลการวัดค่าสีในตารางผนวกที่ 13.6 แสดงให้เห็นว่า การใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีที่เข้มขึ้น มีค่าความสว่างและความขาวลดลง สาเหตุเกิดจากการใช้ความร้อนในกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ เช่น ในระหว่างกระบวนการคาร์บอนเนชั่น และปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการ โดยเฉพาะในระหว่างกระบวนการคาร์บอนเนชั่นที่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชเป็นอย่างมาก ก่อให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล เช่น Maillard reaction เพิ่มขึ้น

ค่าความชื้นในตารางผนวกที่ 13.6 แสดงให้เห็นว่า อินูลินผงที่ผลิตในงานวิจัยนี้ มีค่าความชื้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อาหารผง นั่นคือ ไม่เกิน 5 g/100g และอินูลินผงที่ผลิตในงานวิจัยนี้โดยไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์มีค่าความชื้นสูงกว่ากรณีที่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ ทั้ง ๆ ที่ใช้อุณหภูมิความร้อนในการทำแห้งแบบพ่นฝอยเท่ากัน คือ อุณหภูมิลมร้อนเข้า/ขาออก เท่ากับ 190/90 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นของน้ำสกัดอินูลินเท่ากัน คือ 30 °Brix สาเหตุคาดว่าเกิดจากการที่อินูลินผงที่ผลิตโดยไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่มากกว่า ซึ่งน้ำตาลเหล่านี้มีค่า Glass transition temperature ต่ำ และผลที่ตามมาคือ จะมีคุณสมบัติ Hygroscopicity สูง ส่งผลทำให้เกิดการดูดความชื้นจากสิ่งแวดล้อมทั้งภายในห้องอบแห้งและภายนอกห้องอบแห้งหลังจากที่ออกมายังถังไซโคลนแล้วมากกว่า

ผลการหาปริมาณโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต โยอาหาร และเถ้า ในตารางผนวกที่ 13.6 แสดงให้เห็นว่า กระบวนการทำให้อินูลินบริสุทธิ์ในงานวิจัยนี้สามารถลดปริมาณโปรตีน และเพิ่มปริมาณคาร์โบไฮเดรตและปริมาณ

ใยอาหาร ได้อย่างชัดเจน โดยปริมาณคาร์โบไฮเดรตและปริมาณใยอาหารที่สูงขึ้นสะท้อนถึงปริมาณอินูลินที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากอินูลินจัดอยู่ในกลุ่มของคาร์โบไฮเดรตและอินูลินชนิดสายโมเลกุลยาวมีคุณสมบัติเป็นใยอาหาร นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณเถ้ามีค่าเพิ่มขึ้นจาก 4.56 g/100g_{dry mass} ในกรณีที่ไมใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ เป็น 6.83 g/100g_{dry mass} ในกรณีที่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ ซึ่งคาดว่าเกิดจาก 1) การที่ปริมาณของโปรตีนบางส่วน ถูกกำจัดออกไป ทำให้สัดส่วนของเถ้าต่อมวลแห้งเพิ่มขึ้น และ 2) การที่มีแร่ธาตุบางส่วนที่เกิดจากการแตกตัวของ แคลเซียมออกไซด์ตกค้างในน้ำสกัดอินูลินหลังจากกระบวนการคาร์บอนเนชั่น ถึงแม้ว่าจะมีการใช้ Ion exchange resin ในการแลกเปลี่ยนประจุของแร่ธาตุ (Ca^{2+}) ดังกล่าวแล้ว แต่ก็ไม่ได้ทำให้ปริมาณเถ้าลดลง เพียงแต่ทำให้ค่า Total hardness ลดลง เนื่องจากประจุของ Ca^{2+} ในน้ำสกัดถูกแลกเปลี่ยนเป็น Na^+ แทน ดังนั้นจึงสามารถกล่าว ได้ว่ากระบวนการทำให้อินูลินบริสุทธิ์ในงานวิจัยนี้ยังไม่สามารถกำจัดโปรตีนและเถ้าให้หมดลงได้ อย่างไรก็ตาม องค์ประกอบเหล่านี้เป็นองค์ประกอบที่เป็นอาหารของมนุษย์ การกำจัดองค์ประกอบเหล่านี้จึงหมดอย่างสมบูรณ์ อาจไม่มีความจำเป็น หรือก่อให้เกิดต้นทุนการผลิตที่สูงมากโดยไม่จำเป็น หากผลิตภัณฑ์อินูลินผงนี้ถูกนำมาใช้เพื่อ เป็นวัตถุเจือปนลงในอาหาร และองค์ประกอบเหล่านี้ไม่ส่งผลทำให้คุณลักษณะของอาหารสูญเสียไปหรือมีผลต่อ สุขภาพของผู้บริโภค

ค่า Water activity (A_w) ของอินูลินผงที่วัดได้ แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์มีความปลอดภัยจากการเจริญของ จุลินทรีย์เนื่องจากมีค่า A_w น้อยกว่า 0.6 สำหรับค่า Water-absorption index (WAI) และ Water-solubility index (WSI) ที่วัดได้ แสดงให้เห็นว่าอินูลินผงที่ผลิตในงานวิจัยนี้ทั้งสองกรณีมีคุณสมบัติการละลายน้ำที่ดี โดยอินูลินผงที่ผลิตในงานวิจัยนี้โดยไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์มีค่า WAI สูงกว่า และมีค่า WSI ต่ำกว่า นั้น หมายความว่าตัวอย่างดังกล่าวมีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำในระหว่างการละลายสูงกว่า และคุณสมบัติในการ ละลายน้ำที่ต่ำกว่าอินูลินผงที่ผลิตในงานวิจัยนี้โดยใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ สาเหตุคาดว่าเกิดจากการที่อินูลิน ผงที่ผลิตโดยไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่มากกว่า ทำให้มีคุณสมบัติ Hygroscopicity สูง ส่งผลทำให้เกิดการดูดซับน้ำในระหว่างการละลายมากกว่า แต่คุณสมบัติ Hygroscopicity ที่สูงดังกล่าว ก็ทำให้ เกิดการรวมตัวกันเป็นก้อนของผง ทำให้ความสามารถในการละลายน้ำต่ำกว่า อันเนื่องมาจากพื้นที่ผิวสัมผัส ระหว่างอนุภาคผงและน้ำลดลง

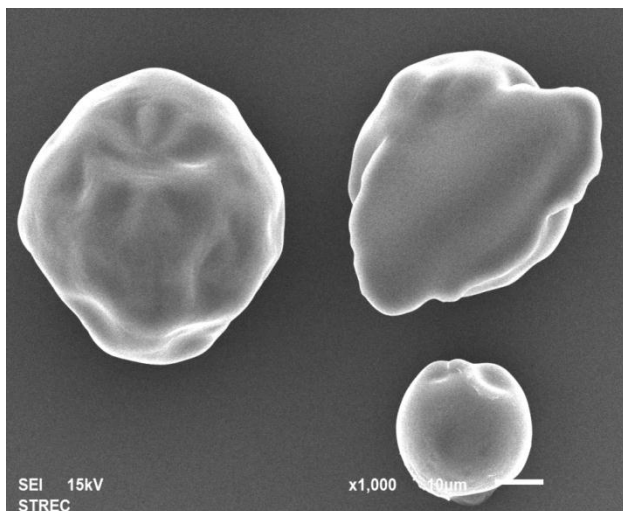
ตารางผนวกที่ 13.6 คุณภาพด้านต่าง ๆ ของอินูลินผงที่ผลิตได้ในงานวิจัยนี้

คุณสมบัติ		อินูลินผงที่ผลิตในงานวิจัยนี้ กรณีที่ไม่ใช้กระบวนการทำให้ บริสุทธิ์	อินูลินผงที่ผลิตในงานวิจัยนี้ กรณีที่ใช้กระบวนการทำให้ บริสุทธิ์
bulk density (kg/l)		0.72±0.02	0.66±0.01
ค่าสี	L*	78.77±0.21	50.56±0.02
	a*	2.26±0.04	8.88±0.05
	b*	21.22±0.23	26.49±0.15
ความชื้น (g/100g)		4.8±0.31	4.0±0.03
protein (g/100g _{dry mass})		6.92±0.02	2.62±0.02
total fat (g/100g _{dry mass})		Not detected	Not detected
total carbohydrate (g/100g _{dry mass})		85.40±0.04	86.94±0.05
total dietary fiber (g/100g _{dry mass})		4.73±0.02	7.49±0.12
ash (g/100g _{dry mass})		4.56±0.15	6.83±0.07
water activity		0.173±0.00	0.184±0.00
WAI (g/g)		1.09±0.18	0.40±0.18
WSI (%)		77.35±5.20	88.66±7.09

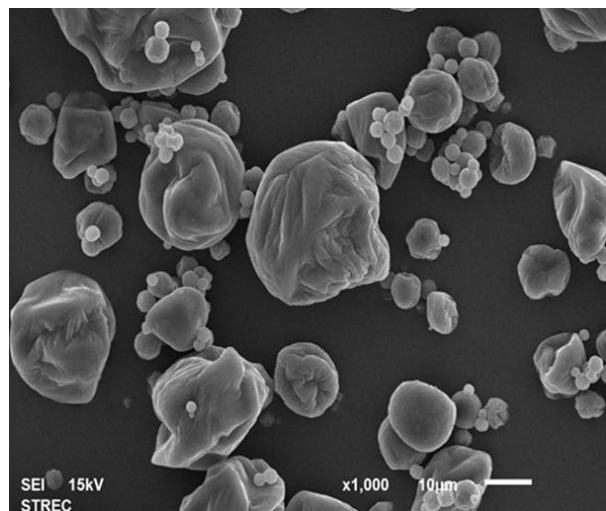
หมายเหตุ L* แสดงถึง ความสว่าง ($0 \leq L \leq 100$) ในขณะที่ a*(+), a*(-), b*(+) และ b*(-) แสดงค่า สีแดง, สีเขียว, สีเหลือง และสีน้ำเงิน ตามลำดับ; protein, total fat, total carbohydrate, total dietary fiber และ ash หาจากวิธี Proximate analysis ตาม AOAC methods; WAI = Water-absorption index และ WSI = Water-solubility index ซึ่งหาจากวิธีของ Al-Kahtani and Bakri (1990); ผลการทดลองได้จากการวัดค่า 3 ซ้ำ.

ภาพผนวกที่ 13.1 แสดงถึงผลการส่องดูโครงสร้างในระดับจุลภาคของอนุภาคผงอินูลินทางการค้าเกรด Orafit[®] HSI, ผงอินูลินที่ผลิตในงานวิจัยนี้ กรณีที่ไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ และผงอินูลินที่ผลิตในงานวิจัยนี้ กรณีที่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 1,000 เท่า จากภาพแสดงให้เห็นว่า อนุภาคผงอินูลินทางการค้ามีขนาดที่ใหญ่กว่าอนุภาคผงที่ผลิตในงานวิจัยนี้มาก ซึ่งอาจจะเป็น

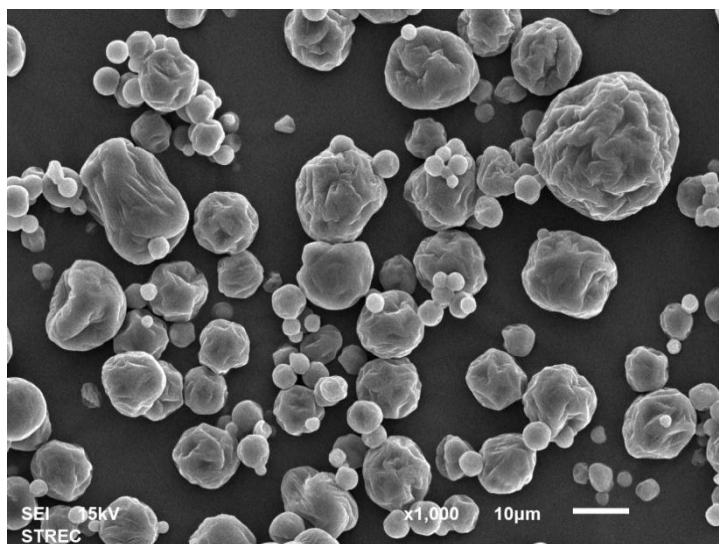
เพราะว่า ผงอินูลินทางการค้าไม่ได้ใช้วิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยในการผลิต แต่อาจใช้เทคนิคการทำแห้งอย่างอื่น หรือใช้เทคนิคการตกผลึกซึ่งข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อมูลปกปิดของบริษัทผู้ผลิต อีกทั้งเมื่อเปรียบเทียบระหว่างอนุภาค ผงอินูลินที่เกิดจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยในงานวิจัยนี้ ทั้งในกรณีที่ไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ และกรณีที่ใช้ กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ จะพบว่า กรณีที่ไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์จะมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าเล็กน้อย ซึ่ง คาดว่าเกิดจากการที่อินูลินผงที่ผลิตโดยไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่มากกว่า ทำให้มี คุณสมบัติ Hygroscopicity สูงกว่า ส่งผลทำให้เกิดการดูดซับน้ำและเกิดการบวมของอนุภาคมากกว่า นอกจากนี้ ยังเกิดการรวมตัวกันของอนุภาคผงมากกว่า



(a)



(b)



(c)

ภาพผนวกที่ 13.1 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope; SEM) แสดงโครงสร้างของอนุภาคของอินูลินผง (กำลังขยาย 1,000 เท่า): (a) ผลิตภัณฑ์ทางการค้าเกรด Orafit[®] HSI; (b) ตัวอย่างที่ผลิตในงานวิจัยนี้ กรณีที่ไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์; (c) ตัวอย่างที่ผลิตในงานวิจัยนี้ กรณีที่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์

ข้อมูลจากการทดลองในระดับนำร่อง สำหรับใช้ในการประเมินทางเศรษฐศาสตร์

จากการทดลองแปรรูปหัวแ่งนตะวันเป็นแ่งนตะวันในระดับนำร่อง ดังแสดงในภาคผนวกที่ 12 และนำแ่งนตะวันมาแปรรูปเป็นอินูลินผงดังรายละเอียดทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้นในภาคผนวกนี้ ผู้วิจัยได้มีการบันทึกและสรุปข้อมูลเพื่อใช้ในการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ ดังนี้

ในการผลิตอินูลินผงในระดับนำร่อง กรณีที่ไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ ดังขั้นตอนในตารางผนวกที่ 13.1 และ 13.2 สามารถสรุปข้อมูลสำหรับการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ดังตารางผนวกที่ 13.7

นอกจากนี้สำหรับการผลิตอินูลินผงในระดับนำร่อง กรณีที่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ ดังขั้นตอนในตารางผนวกที่ 13.3 และ 13.4 สามารถสรุปข้อมูลสำหรับการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ดังตารางผนวกที่ 13.8

ตารางผนวกที่ 13.7 ข้อมูลจากการทดลองผลิตอินูลินผงในระดับนําร่อง กรณีที่ไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ สำหรับใช้ในการประเมินทางเศรษฐศาสตร์

ลำดับที่	รายการ	รายละเอียด	หมายเหตุ
1	ค่าวัตถุดิบหัวแค้นตะวัน	- ใช้ปริมาณ 39 กิโลกรัม เพื่อให้ได้ผงแป้งแค้นตะวัน 3 กิโลกรัม - โครงการวิจัยนี้ซื้อหัวแค้นตะวันสดมาจากสถานีวิจัยเพชรบูรณ์ ศูนย์วิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีการเกษตร คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ด้วยราคา 50 บาทต่อกิโลกรัม - ดังนั้นต้นทุนวัตถุดิบ = 39 กิโลกรัม × 50 บาทต่อกิโลกรัม = 1,950 บาท	จากผลการทดลองในภาคผนวกที่ 12 พบว่า หัวแค้นตะวันสด 100 กิโลกรัม จะแปรรูปได้เป็นผงแป้งแค้นตะวันประมาณ 7.7 กิโลกรัม ดังนั้นหากต้องการแป้งแค้นตะวัน 3 กิโลกรัม เพื่อใช้ในการทดลองดังตารางผนวกที่ 13.1 – 13.2 ต้องใช้หัวแค้นตะวันสด 39 กิโลกรัม
2	ค่าแรงงาน	- ใช้แรงงานจำนวน 3 คน*วัน (man*day) ในการแปรรูปหัวแค้นตะวันเป็นผลิตภัณฑ์อินูลินผง กรณีที่ไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ - ดังนั้นต้นทุนค่าแรงงาน = 3 คน*วัน × 300 บาทต่อคนต่อวัน = 900 บาท	- จากผลการทดลองในภาคผนวกที่ 12 พบว่า ในการแปรรูปหัวแค้นตะวันสด 100 กิโลกรัม เป็นผงแป้งแค้นตะวันใช้แรงงานจำนวน 4 คน*วัน ดังนั้นหากต้องการแปรรูปหัวแค้นตะวันสด 39 กิโลกรัม เป็นผงแป้งแค้นตะวันจะใช้แรงงานจำนวน 1.56 คน*วัน - สำหรับกระบวนการแปรรูปผงแป้งแค้นตะวันเป็นอินูลินผง กรณีที่ไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ ประเมินว่าต้องใช้แรงงานจำนวน 1.44 คน*วัน
3	ค่าพลังงานไฟฟ้า	- พลังงานไฟฟ้าถูกใช้โดยอุปกรณ์ต่อไปนี้ ○ เครื่องหั่นสไลด์หัวแค้นตะวัน = 0.29 kW·h	จากผลการทดลองในภาคผนวกที่ 12 พบว่า ในการแปรรูปหัวแค้นตะวันสด 100 กิโลกรัม ใช้พลังงานไฟฟ้า

ลำดับที่	รายการ	รายละเอียด	หมายเหตุ
		○ ตู้อบลมร้อน (อบชิ้นหัวแค้นตะวันสไลด์) = 63.50 kW·h ○ เครื่อง Fitz mill (บดชิ้นแค้นตะวันที่ผ่านการอบแห้งให้เป็นแป้งแค้นตะวัน รอบที่ 1) = 0.60 kW·h ○ เครื่อง Pin mill (บดชิ้นแค้นตะวันที่ผ่านการอบแห้งให้เป็นแป้งแค้นตะวัน รอบที่ 2) = 0.72 kW·h ○ เครื่องกำเนิดไอน้ำชนิดใช้ไฟฟ้าสำหรับป้อนไอน้ำให้ถึงกวน ในกระบวนการสกัด = 9.5 kW·h ○ มอเตอร์ใบกวนของถังกวน ในกระบวนการสกัด = 0.1 kW·h ○ Basket centrifuge สำหรับเหวี่ยงแยกกาก = 1.25 kW·h ○ Ice bank สำหรับผลิตน้ำเย็นหล่อเลี้ยงคอนเดนเซอร์ของ Vacuum evaporator = 19.875 kW·h ○ Vacuum evaporator ในกระบวนการทำให้	○ โดยเครื่องหั่นสไลด์หัวแค้นตะวัน = 0.74 kW·h ดังนั้นหากต้องการแปรรูปหัวแค้นตะวันสด 39 กิโลกรัม จะใช้พลังงานไฟฟ้า = 0.29 kW·h ○ โดยตู้อบลมร้อน = 162.81 kW·h ดังนั้นหากต้องการแปรรูปหัวแค้นตะวันสด 39 กิโลกรัม จะใช้พลังงานไฟฟ้า = 63.50 kW·h ○ โดยเครื่อง Fitz mill = 1.55 kW·h ดังนั้นหากต้องการแปรรูปหัวแค้นตะวันสด 39 กิโลกรัม จะใช้พลังงานไฟฟ้า = 0.60 kW·h ○ โดยเครื่อง Pin mill = 1.85 kW·h ดังนั้นหากต้องการแปรรูปหัวแค้นตะวันสด 39 กิโลกรัม จะใช้พลังงานไฟฟ้า = 0.72 kW·h ● สำหรับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้โดยเครื่องกำเนิดไอน้ำชนิดใช้ไฟฟ้าสำหรับป้อนไอน้ำให้ถึงกวน, มอเตอร์ใบกวนของถังกวน, Basket centrifuge, Ice bank, Vacuum evaporator และเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย มีที่มาจาก การวัดโดย kW·h meter ในการทดลองระดับนําร่อง ● ราคาไฟฟ้า 2.6506 บาท/หน่วย อ้างอิงจากอัตรา

ลำดับที่	รายการ	รายละเอียด	หมายเหตุ
		เข้มน้ = 38.5 kW·h ○ เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ในกระบวนการแปรรูปน้ำสัคตเป็นอินูลินผง = 5.5 kW·h ● ดังนั้นในกระบวนการผลิตในระดับนำร่องใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 139.835 kW·h ● ต้นทุนพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด = 139.835 kW·h × 2.6506 บาท/kW·h = 370.65 บาท	ค่าธรรมเนียมประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลางซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดตั้งแต่ 30 ถึง 999 กิโลวัตต์ และมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือน ไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน
4	ค่าน้ำมัน	● น้ำมันดีเซลถูกใช้โดยเครื่องกำเนิดไอน้ำสำหรับผลิตไอน้ำป้อนให้ถังลวกชิ้นแ่งนตะวันสไลด์ = 2.08 ลิตร ● ดังนั้นต้นทุนค่าน้ำมันดีเซล = 2.08 ลิตร × 26 บาท/ลิตร = 54.08 บาท	● ในการแปรรูปหัวแ่งนตะวันสด 100 กิโลกรัม ใช้ น้ำมันดีเซล 5.3 ลิตร ดังนั้นหากต้องการแปรรูปหัวแ่งนตะวันสด 39 กิโลกรัม จะใช้น้ำมันดีเซล 2.08 ลิตร ● ราคาน้ำมันดีเซล 26 บาท/ลิตร อ้างอิงจากราคาน้ำมันขายปลีกในกรุงเทพฯ และปริมณฑล ของสถานีบริการน้ำมัน ปตท. วันที่ 9 มิถุนายน 2558
5	ค่าน้ำ	● น้ำประปาถูกใช้ในกระบวนการต่อไปนี้ ○ ล้างหัวแ่งนตะวัน = 214.5 ลิตร ○ แ่งกรดซิตริก = 57.72 ลิตร ○ ลวกแ่งนตะวัน = 146.25 ลิตร ○ ลดอุณหภูมิแ่งนตะวัน = 250.77 ลิตร ○ การสกัดอินูลินจากแ่งนตะวัน = 105 ลิตร	● จากผลการทดลองในภาคผนวกที่ 12 พบว่า ในการแปรรูปหัวแ่งนตะวันสด 100 กิโลกรัม ใช้ปริมาณน้ำ ○ ในขั้นตอนล้างหัวแ่งนตะวัน = 550 ลิตร ดังนั้นหากต้องการแปรรูปหัวแ่งนตะวันสด 39 กิโลกรัม จะใช้ปริมาณน้ำ = 214.5 ลิตร ○ ในขั้นตอนแ่งกรดซิตริก = 148 ลิตร ดังนั้น

ลำดับที่	รายการ	รายละเอียด	หมายเหตุ
		• ดังนั้นในกระบวนการผลิตในระดับนำร่องใช้ปริมาณน้ำประปาทั้งหมด 774.24 ลิตร หรือ 0.77424 ลูกบาศก์เมตร • ต้นทุนค่าน้ำประปาทั้งหมด = 0.77424 ลูกบาศก์เมตร $\times$ 14.51 บาท/ลูกบาศก์เมตร = 11.23 บาท	หากต้องการแปรรูปหัวแค้นตะวันตก 39 กิโลกรัม จะใช้ปริมาณน้ำ = 57.72 ลิตร ○ ในขั้นตอนลวกแค้นตะวันตก = 375 ลิตร ดังนั้นหากต้องการแปรรูปหัวแค้นตะวันตก 39 กิโลกรัม จะใช้ปริมาณน้ำ = 146.25 ลิตร ○ ในขั้นตอนลดอุณหภูมิแค้นตะวันตก = 643 ลิตร ดังนั้นหากต้องการแปรรูปหัวแค้นตะวันตก 39 กิโลกรัม จะใช้ปริมาณน้ำ = 250.77 ลิตร • สำหรับปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการสกัดอินูลินจากแป้งแค้นตะวันตก มีที่มาจากการบันทึกค่าในการทดลองระดับนำร่อง ดังแสดงในตารางผนวกที่ 13.1 และ 13.2 • ราคาค่าน้ำประปา 14.51 บาท/ลูกบาศก์เมตรอ้างอิงจากอัตราค่าน้ำประปาประเภท 2 (ธุรกิจ ราชการ รัฐวิสาหกิจ อุตสาหกรรม และอื่น ๆ) ของการประปานครหลวง วันที่ 9 มิถุนายน 2558 กรณีมีปริมาณน้ำใช้ 81-100 ลูกบาศก์เมตร/เดือน
6	รวมต้นทุนรายการที่ 1-5	• ต้นทุนรายการที่ 1-5 ประกอบด้วย ○ ค่าวัตถุดิบหัวแค้นตะวันตก = 1,950 บาท ○ ค่าแรงงาน = 900 บาท ○ ค่าพลังงานไฟฟ้า = 370.65 บาท	• เป็นต้นทุนที่เกิดขึ้นในการทดลองผลิตอินูลินผงในระดับนำร่อง กรณีที่ไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ ใช้ปริมาณวัตถุดิบหัวแค้นตะวันตก 39 กิโลกรัม เพื่อให้ได้ผงแป้งแค้นตะวันตก 3 กิโลกรัม และจากผลการทดลอง

ลำดับที่	รายการ	รายละเอียด	หมายเหตุ
		○ ค่าน้ำมัน = 54.08 บาท ○ ค่าน้ำประปา = 11.23 บาท ● รวมเป็นเงิน = 3,285.96 บาท ● คิดเป็นต้นทุนต่อ 1 กิโลกรัมของผลิตภัณฑ์อินูลินผง ชนิดไม่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ = 3,285.96 บาท/1.214 กิโลกรัม = 2,707 บาท	พบว่าจะได้ผลิตภัณฑ์ผงอินูลิน 1.112 – 1.315 กิโลกรัม (ค่าเฉลี่ยคือ 1.214 กิโลกรัม) ดังแสดงใน ตารางผนวกที่ 13.1 และ 13.2

ตารางผนวกที่ 13.8 ข้อมูลจากการทดลองผลิตอินูลินผงในระดับนำร่อง กรณีที่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ สำหรับใช้ในการประเมินทางเศรษฐศาสตร์

ลำดับที่	รายการ	รายละเอียด	หมายเหตุ
1	ค่าวัตถุดิบหัวแค้นตะวัน	- ใช้ปริมาณ 39 กิโลกรัม เพื่อให้ได้ผงแป้งแค้นตะวัน 3 กิโลกรัม - โครงการวิจัยนี้ซื้อหัวแค้นตะวันสดมาจากสถานีวิจัยเพชรบูรณ์ ศูนย์วิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีการเกษตร คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ด้วยราคา 50 บาทต่อกิโลกรัม - ดังนั้นต้นทุนวัตถุดิบ = 39 กิโลกรัม $\times$ 50 บาทต่อกิโลกรัม = 1,950 บาท	จากผลการทดลองในภาคผนวกที่ 12 พบว่า หัวแค้นตะวันสด 100 กิโลกรัม จะแปรรูปได้เป็นผงแป้งแค้นตะวันประมาณ 7.7 กิโลกรัม ดังนั้นหากต้องการแป้งแค้นตะวัน 3 กิโลกรัม เพื่อใช้ในการทดลองดังตารางผนวกที่ 13.3 – 13.4 ต้องใช้หัวแค้นตะวันสด 39 กิโลกรัม
2	ค่าแรงงาน	- ใช้แรงงานจำนวน 4 คน*วัน (man*day) ในการแปรรูปหัวแค้นตะวันเป็นผลิตภัณฑ์อินูลินผง กรณีที่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ - ดังนั้นต้นทุนค่าแรงงาน = 4 คน*วัน $\times$ 300 บาทต่อคนต่อวัน = 1,200 บาท	- จากผลการทดลองในภาคผนวกที่ 12 พบว่า ในการแปรรูปหัวแค้นตะวันสด 100 กิโลกรัม เป็นผงแป้งแค้นตะวันใช้แรงงานจำนวน 4 คน*วัน ดังนั้นหากต้องการแปรรูปหัวแค้นตะวันสด 39 กิโลกรัม เป็นผงแป้งแค้นตะวันจะใช้แรงงานจำนวน 1.56 คน*วัน - สำหรับกระบวนการแปรรูปผงแป้งแค้นตะวันเป็นอินูลินผง กรณีที่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ ประเมินว่าต้องใช้แรงงานจำนวน 2.44 คน*วัน
3	ค่าพลังงานไฟฟ้า	- พลังงานไฟฟ้าถูกใช้โดยอุปกรณ์ต่อไปนี้ ○ เครื่องหั่นสไลด์หัวแค้นตะวัน = 0.29 kW·h	จากผลการทดลองในภาคผนวกที่ 12 พบว่า ในการแปรรูปหัวแค้นตะวันสด 100 กิโลกรัม ใช้พลังงานไฟฟ้า

ลำดับที่	รายการ	รายละเอียด	หมายเหตุ
		○ ตู้อบลมร้อน (อบชิ้นหัวแ่งนตะวันสไลด์) = 63.50 kW·h ○ เครื่อง Fitz mill (บดชิ้นแ่งนตะวันที่ผ่านการอบแห้งให้เป็นแป้งแ่งนตะวัน รอบที่ 1) = 0.60 kW·h ○ เครื่อง Pin mill (บดชิ้นแ่งนตะวันที่ผ่านการอบแห้งให้เป็นแป้งแ่งนตะวัน รอบที่ 2) = 0.72 kW·h ○ เครื่องกำเนิดไอน้ำชนิดใช้ไฟฟ้าสำหรับป้อนไอน้ำให้ถึงกวน ในกระบวนการสกัด = 9.5 kW·h ○ มอเตอร์ใบกวนของถังกวน ในกระบวนการสกัด = 0.1 kW·h ○ Basket centrifuge สำหรับเหวี่ยงแยกกากหลังการสกัดด้วยน้ำร้อน = 1.25 kW·h ○ เครื่องกำเนิดไอน้ำชนิดใช้ไฟฟ้าสำหรับป้อนไอน้ำให้ถึงกวน ในกระบวนการคาร์บอนชั่น = 10 kW·h ○ มอเตอร์ใบกวนของถังกวน ในกระบวนการ	○ โดยเครื่องหันสไลด์หัวแ่งนตะวัน = 0.74 kW·h ดังนั้นหากต้องการแปรรูปหัวแ่งนตะวันสด 39 กิโลกรัม จะใช้พลังงานไฟฟ้า = 0.29 kW·h ○ โดยตู้อบลมร้อน = 162.81 kW·h ดังนั้นหากต้องการแปรรูปหัวแ่งนตะวันสด 39 กิโลกรัม จะใช้พลังงานไฟฟ้า = 63.50 kW·h ○ โดยเครื่อง Fitz mill = 1.55 kW·h ดังนั้นหากต้องการแปรรูปหัวแ่งนตะวันสด 39 กิโลกรัม จะใช้พลังงานไฟฟ้า = 0.60 kW·h ○ โดยเครื่อง Pin mill = 1.85 kW·h ดังนั้นหากต้องการแปรรูปหัวแ่งนตะวันสด 39 กิโลกรัม จะใช้พลังงานไฟฟ้า = 0.72 kW·h ● สำหรับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้โดยเครื่องกำเนิดไอน้ำชนิดใช้ไฟฟ้าสำหรับป้อนไอน้ำให้ถึงกวน, มอเตอร์ใบกวนของถังกวน, Basket centrifuge, มอเตอร์ปั๊มเครื่องกรอง, Ice bank, Vacuum evaporator และเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย มีที่มาจากการวัดโดย kW·h meter ในการทดลองระดับนำร่อง

ลำดับที่	รายการ	รายละเอียด	หมายเหตุ
		คาร์บอนชั้น = 0.5 kW·h ○ Basket centrifuge สำหรับเหวี่ยงแยกกาก หลังกระบวนการคาร์บอนชั้น = 0.45 kW·h ○ มอเตอร์ปั๊มเครื่องกรอง สำหรับกระบวนการกรองด้วยผงถ่านกัมมันต์ และ Ion exchange resin = 1.5 kW·h ○ Ice bank สำหรับผลิตน้ำเย็นหล่อเลี้ยง คอนเดนเซอร์ของ Vacuum evaporator = 19.875 kW·h ○ Vacuum evaporator ในกระบวนการทำให้เข้มข้น = 38.5 kW·h ○ เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ในกระบวนการแปรรูปน้ำสกัดเป็นอินูลินผง = 5.5 kW·h ● ดังนั้นในกระบวนการผลิตในระดับนำร่องใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 152.285 kW·h ● ต้นทุนพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด = 152.285 kW·h × 2.6506 บาท/kW·h = 403.65 บาท	● ราคาไฟฟ้า 2.6506 บาท/หน่วย อ้างอิงจากอัตราค่าธรรมเนียมประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลางซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด ตั้งแต่ 30 ถึง 999 กิโลวัตต์ และมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือน ไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน
4	ค่าน้ำมัน	● น้ำมันดีเซลถูกใช้โดยเครื่องกำเนิดไอน้ำสำหรับผลิตไอน้ำป้อนให้ถังลวกขึ้นแก๊นตะวันตกไซด์ = 2.08 ลิตร	● ในการแปรรูปหัวแก๊นตะวันตกไซด์ 100 กิโลกรัม ใช้น้ำมันดีเซล 5.3 ลิตร ดังนั้นหากต้องการแปรรูปหัวแก๊นตะวันตกไซด์

ลำดับที่	รายการ	รายละเอียด	หมายเหตุ
		• ดังนั้นต้นทุนค่าน้ำมันดีเซล = 2.08 ลิตร × 26 บาท/ลิตร = 54.08 บาท	สด 39 กิโลกรัม จะใช้น้ำมันดีเซล 2.08 ลิตร • ราคาน้ำมันดีเซล 26 บาท/ลิตร อ้างอิงจากราคาน้ำมันขายปลีกในกรุงเทพฯ และปริมณฑล ของสถานีบริการน้ำมัน ปตท. วันที่ 9 มิถุนายน 2558
5	ค่าน้ำ	• น้ำประปาถูกใช้ในกระบวนการต่อไปนี้ ○ ล้างหัวแก๊สวัน = 214.5 ลิตร ○ แห่กรดซิดริก = 57.72 ลิตร ○ ลวกแก๊สวัน = 146.25 ลิตร ○ ลดอุณหภูมิแก๊สวัน = 250.77 ลิตร ○ การสกัดอินูลินจากแป้งแก๊สวัน = 105 ลิตร • ดังนั้นในกระบวนการผลิตในระดับนำร่องใช้ปริมาณน้ำประปาทั้งหมด 774.24 ลิตร หรือ 0.77424 ลูกบาศก์เมตร • ต้นทุนค่าน้ำประปาทั้งหมด = 0.77424 ลูกบาศก์เมตร × 14.51 บาท/ลูกบาศก์เมตร = 11.23 บาท	• จากผลการทดลองในภาคผนวกที่ 12 พบว่า ในการแปรรูปหัวแก๊สวันสด 100 กิโลกรัม ใช้ปริมาณน้ำ ○ ในขั้นตอนล้างหัวแก๊สวัน = 550 ลิตร ดังนั้นหากต้องการแปรรูปหัวแก๊สวันสด 39 กิโลกรัม จะใช้ปริมาณน้ำ = 214.5 ลิตร ○ ในขั้นตอนแห่กรดซิดริก = 148 ลิตร ดังนั้นหากต้องการแปรรูปหัวแก๊สวันสด 39 กิโลกรัม จะใช้ปริมาณน้ำ = 57.72 ลิตร ○ ในขั้นตอนลวกแก๊สวัน = 375 ลิตร ดังนั้นหากต้องการแปรรูปหัวแก๊สวันสด 39 กิโลกรัม จะใช้ปริมาณน้ำ = 146.25 ลิตร ○ ในขั้นตอนลดอุณหภูมิแก๊สวัน = 643 ลิตร ดังนั้นหากต้องการแปรรูปหัวแก๊สวันสด 39 กิโลกรัม จะใช้ปริมาณน้ำ = 250.77 ลิตร • สำหรับปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการสกัดอินูลินจากแป้งแก๊สวัน มีที่มาจากการบันทึกค่าในการทดลอง

ลำดับที่	รายการ	รายละเอียด	หมายเหตุ
			ระดับน้ำร่อง ดังแสดงในตารางผนวกที่ 13.3 และ 13.4 ● ราคาค่าน้ำประปา 14.51 บาท/ลูกบาศก์เมตรอ้างอิงจากอัตราค่าน้ำประปาประเภท 2 (ธุรกิจ ราชการ รัฐวิสาหกิจ อุตสาหกรรม และอื่น ๆ) ของการประปานครหลวง วันที่ 9 มิถุนายน 2558 กรณีมีปริมาณน้ำใช้ 81-100 ลูกบาศก์เมตร/เดือน
6	ค่าผงแคลเซียมออกไซด์	● ปริมาณผงแคลเซียมออกไซด์ที่ใช้ในกระบวนการคาร์บอนชั่น = 348 กรัม หรือ 0.348 กิโลกรัม ● ดังนั้นต้นทุนค่าผงแคลเซียมออกไซด์ = 0.348 กิโลกรัม $\times$ 15 บาท/กิโลกรัม = 5.22 บาท	● ราคาค่าผงแคลเซียมออกไซด์ 15 บาท ต่อกิโลกรัม อ้างอิงจาก clickchemical.com (โทร. 083-303-1100) วันที่ 9 มิถุนายน 2558 ● ในการทดลองผลิตอินูลินผงในระดับน้ำร่อง 1 ครั้ง กรณีที่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ ใช้ผงแคลเซียมออกไซด์ประมาณ 348 กรัม
7	ค่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	● ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้ในกระบวนการคาร์บอนชั่น = 4 กิโลกรัม ● ดังนั้นต้นทุนค่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ = 4 กิโลกรัม $\times$ 14 บาท/กิโลกรัม = 56 บาท	● ราคาค่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 280 บาท/1 ท่อ (20 กิโลกรัม) หรือคิดเป็น 14 บาท ต่อกิโลกรัม อ้างอิงจาก บริษัท กิจเจริญอินดัสเตรียลแก๊ส จำกัด วันที่ 9 มิถุนายน 2558 ● ในการทดลองผลิตอินูลินผงในระดับน้ำร่อง 1 ครั้ง กรณีที่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 4 กิโลกรัม

ลำดับที่	รายการ	รายละเอียด	หมายเหตุ
8	ค่าวัสดุการกรอง	• ใส้กรองผงถ่านกัมมันต์ จำนวน 1 ไร่ และใส้กรอง Ion exchange resin จำนวน 2 ไร่ ถูกใช้ในกระบวนการกรองหลังจากการคาร์บอนชั้น และเหวี่ยงแยกกากตะกอนด้วย basket centrifuge • ดังนั้นต้นทุนค่าวัสดุการกรอง = $(1 \text{ ไร่} \times 590 \text{ บาท/ไร่}) + (2 \text{ ไร่} \times 550 \text{ บาท/ไร่}) = 1,690 \text{ บาท}$	• ราคาค่าวัสดุการกรอง ใส้กรองผงถ่านกัมมันต์ 590 บาท/ไร่ และ ใส้กรอง Ion exchange resin 550 บาท/ไร่ อ้างอิงจาก บริษัท ฟิวเตอร์ มาร์ท จำกัด วันที่ 9 มิถุนายน 2558 • จากการทดลองผลิตอินูลินผงในระดับนำร่อง 1 ครั้ง กรณีที่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ จะต้องใช้ใส้กรองผงถ่านกัมมันต์ = 1 ไร่ และ ใส้กรอง Ion exchange resin = 2 ไร่ โดยจะต้องมีการทำความสะอาดใส้กรองเพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพจนจบกระบวนการ
9	รวมต้นทุนรายการที่ 1-8	• ต้นทุนรายการที่ 1-8 ประกอบด้วย ○ ค่าวัตถุดิบหัวแค้นตะวัน = 1,950 บาท ○ ค่าแรงงาน = 1,200 บาท ○ ค่าพลังงานไฟฟ้า = 403.65 บาท ○ ค่าน้ำมัน = 54.08 บาท ○ ค่าน้ำประปา = 11.23 บาท ○ ค่าผงแคลเซียมออกไซด์ = 5.22 บาท ○ ค่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ = 56 บาท ○ ค่าวัสดุการกรอง = 1,690 บาท • รวมเป็นเงิน = 5,370.18 บาท	• เป็นต้นทุนที่เกิดขึ้นในการทดลองผลิตอินูลินผงในระดับนำร่อง กรณีที่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ ใช้ปริมาณวัตถุดิบหัวแค้นตะวันสด 39 กิโลกรัม เพื่อให้ได้ผงแห้งแค้นตะวัน 3 กิโลกรัม และจากผลการทดลองพบว่าจะได้ผลิตภัณฑ์อินูลิน 0.671 – 0.707 กิโลกรัม (ค่าเฉลี่ยคือ 0.689 กิโลกรัม) ดังแสดงในตารางผนวกที่ 13.3 และ 13.4

ลำดับที่	รายการ	รายละเอียด	หมายเหตุ
		คิดเป็นต้นทุนต่อ 1 กิโลกรัมของผลิตภัณฑ์อินูลินผง ชนิดผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ = 5,370.18 บาท/ 0.689 กิโลกรัม = 7,794 บาท	

ภาคผนวกที่ 14

การประเมินทางเศรษฐศาสตร์

โครงการวิจัยนี้ได้มีการประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตอินูลินผงจากหัวแค้นตะวันในเชิงการค้าโดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองในระดับนำร่องร่วมกับการใช้ตัวแปรเพิ่มเติมอื่น ๆ อาทิ ราคาขายและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่ในท้องตลาด โดยในภาคผนวกที่ 13 ได้มีการแสดงข้อมูลต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ สำหรับกระบวนการแปรรูปหัวแค้นตะวันเป็นอินูลินผง จากการทดลองในระดับนำร่องไปแล้ว

ซึ่งข้อมูลจากการทดลองผลิตอินูลินผงในระดับนำร่อง กรณีที่ไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ ในตารางผนวกที่ 13.7 แสดงให้เห็นว่า ต้นทุนค่าวัตถุดิบ ค่าแรงงาน ค่าพลังงานไฟฟ้า ค่าน้ำมัน และค่าน้ำประปา ในการผลิตอินูลินผง 1 กิโลกรัม คือ 2,707 บาท

ในขณะที่ข้อมูลจากการทดลองผลิตอินูลินผงในระดับนำร่อง กรณีที่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ ในตารางผนวกที่ 13.8 แสดงให้เห็นว่า ต้นทุนค่าวัตถุดิบหัวแค้นตะวัน ค่าแรงงาน ค่าพลังงานไฟฟ้า ค่าน้ำมัน ค่าน้ำประปา ค่าผงแคลเซียมออกไซด์ ค่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และค่าวัสดุการกรอง ในการผลิตอินูลินผง ชนิดผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ 1 กิโลกรัม คือ 7,794 บาท

จากข้อมูลต้นทุนการผลิตดังกล่าว เมื่อถูกนำมาเปรียบเทียบกับราคาขายของผลิตภัณฑ์อินูลินผงยี่ห้อ Orafiti ที่มีการนำเข้ามาในประเทศไทยและจำหน่ายอยู่ในท้องตลาด ดังใบเสนอราคาของ DPO (Thailand) Ltd. ในภาพผนวกที่ 14.1 จะเห็นได้ว่า ต้นทุนการผลิตอินูลินผงในระดับนำร่องของงานวิจัยนี้ สูงกว่าราคาขายของผลิตภัณฑ์อินูลินผงที่จำหน่ายในท้องตลาดปัจจุบันมาก โดยหากพิจารณาว่าผลิตภัณฑ์อินูลินผง ที่ผลิตจากการทดลองในระดับนำร่อง โดยไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ มีคุณภาพใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์อินูลินผงทางการค้าเกรด Orafiti[®] HSI ซึ่งมีราคาขายตามใบเสนอราคาเท่ากับ 200 บาท ต่อกิโลกรัม จะเห็นได้ว่าต้นทุนในงานวิจัยนี้สูงมากกว่า 13 เท่า ทั้ง ๆ ที่ต้นทุนที่คำนวณจากการทดลองในระดับนำร่อง ยังไม่ได้คิดค่าใช้จ่ายในเรื่องของเงินลงทุนสำหรับซื้อที่ดิน ค่าก่อสร้างโรงงาน ค่าเครื่องจักรอุปกรณ์ ค่าขนส่ง และค่าดำเนินการต่าง ๆ ดังนั้นหากใช้ต้นทุนจากการทดลองในระดับนำร่อง ดังตารางผนวกที่ 13.7 ในการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ จะสามารถสรุปได้ว่า การผลิตอินูลินผงจากหัวแค้นตะวันในประเทศไทย โดยใช้กระบวนการที่ศึกษาและพัฒนาขึ้นจากงานวิจัยนี้ ไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุน

DPO (Thailand) Ltd. [Company number : 0105544001757]
43 Thai CC Tower 22nd Floor Room 225,
South Sathorn Road Yannawa Sathorn,
Bangkok 10120, Thailand.
Tel : +66-2-672 3920 / 1 / 2
Fax : +66-2-672 3923
www.dpointernational.com



Quotation
Ref. no.: DPO(Q)14/405

December 4, 2014

Dear Dr. Veerachet / Argo- Industry Faculty

Thank you for your interest in our product, we are pleased to submit our price as follows;

Product	Price (Baht/kg)	MOQ (kg)
Orafti GR	180	100
Orafti H SI	200	100
Orafti P 95	260	100

Producer: Beneo / Belgium, Chile

Validity: End of January 2015

Remarks:

- prices are not including VAT
- prices are subject to our final confirmation

We do hope that our quotation will meet your satisfaction and please do not hesitate to contact us for further requirement. We will keep contacting you soon for the evaluation results

Best regards,

Sowichaya T.

Tel: 086-350-7654

We Bring **INNOVATIONS** **Into**
Global Food Local Asian Markets!

ภาพผนวกที่ 14.1 ใบเสนอราคาผลิตภัณฑ์อินูลินผง ยี่ห้อ Orafti เกรดที่มีการนำเข้ามาในประเทศไทยและจำหน่ายอยู่ในท้องตลาด ของบริษัท DPO (Thailand) Ltd.

ในทำนองเดียวกัน หากพิจารณาว่าผลิตภัณฑ์อินูลินผง ที่ผลิตจากการทดลองในระดับนำร่อง โดยใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ มีคุณภาพใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์อินูลินผงทางการค้า เกรด Orafiti[®] LGI ซึ่งไม่มีราคาขายแสดงใบเสนอราคา เนื่องจากบริษัทฯ ยังไม่มีการนำเข้ามาขายในประเทศไทย แต่ผู้วิจัยสามารถประเมินได้ว่ามีราคาอยู่ในช่วงระหว่าง 200 – 260 บาท ต่อกิโลกรัม เนื่องจากอินูลินผงที่ผลิตจากการทดลองในระดับนำร่อง โดยใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ มีความบริสุทธิ์สูงกว่า อินูลินผงทางการค้า เกรด Orafiti[®] HSI แต่มีความบริสุทธิ์ต่ำกว่าอินูลินผงทางการค้า เกรด Orafiti[®] P95 หากกำหนดให้ราคาขายตามคุณภาพของผลิตภัณฑ์อินูลินผง ที่ผลิตจากการทดลองในระดับนำร่อง โดยใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ มีค่าเท่ากับ 230 บาท จะเห็นได้ว่าต้นทุนในงานวิจัยนี้สูงมากกว่า 33 เท่า ทั้ง ๆ ที่ต้นทุนที่คำนวณจากการทดลองในระดับนำร่อง ยังไม่ได้คิดค่าใช้จ่ายในเรื่องของเงินลงทุนสำหรับซื้อที่ดิน ค่าก่อสร้างโรงงาน ค่าเครื่องจักรอุปกรณ์ ค่าขนส่ง และค่าดำเนินการต่าง ๆ ดังนั้นหากใช้ต้นทุนจากการทดลองในระดับนำร่อง ดังตารางผนวกที่ 13.8 ในการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ จะสามารถสรุปได้ว่า การผลิตอินูลินผงจากหัวแก่นตะวันในประเทศไทย โดยใช้กระบวนการที่ศึกษาและพัฒนาขึ้นจากงานวิจัยนี้ ไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุน

อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการพิจารณาว่าต้นทุนในการผลิตส่วนใด ที่ส่งผลให้การผลิตอินูลินผงจากหัวแก่นตะวันในการทดลองระดับนำร่องมีค่าสูงกว่าราคาขายของผลิตภัณฑ์อินูลินผงทางการค้ามาก สามารถสรุปประเด็นได้ดังนี้

1. ค่าวัตถุดิบหัวแก่นตะวันที่ใช้ในการทดลองมีค่าสูงมาก คือ 1,950 บาทต่อการผลิตอินูลินผง 1.214 กิโลกรัม หรือเท่ากับ 1,606 บาทต่อการผลิตอินูลินผง 1 กิโลกรัม ซึ่งมีสาเหตุมาจากหัวแก่นตะวันในประเทศไทยมีราคาสูงมากในปัจจุบัน เนื่องจากยังมีการปลูกน้อย และไม่ได้มีการปลูกในลักษณะของพืชเศรษฐกิจ อย่างไรก็ตามหากสามารถผลักดันให้เกษตรกรหันมาปลูกหัวแก่นตะวันมากขึ้นได้ โดยมีอุตสาหกรรมแปรรูปหัวแก่นตะวันมารองรับผลิตผลดังกล่าวในจำนวนมากได้ หรือมีการตกลงกับเกษตรกรให้ปลูกพืชดังกล่าวในลักษณะของเกษตรพันธสัญญา (contract farming) ราคาวัตถุดิบหัวแก่นตะวันอาจลดลงได้มาก เนื่องจากปริมาณผลผลิตต่อไร่ ของหัวแก่นตะวันและมันสำปะหลังไม่แตกต่างกันมาก แต่การปลูกหัวแก่นตะวันมีค่าใช้จ่ายต่อไร่ ประมาณ 10,000 บาท ในขณะที่การปลูกมันสำปะหลังมีค่าใช้จ่ายต่อไร่ ประมาณ 3,000 บาท และราคามันสำปะหลังในปัจจุบัน คือ 2.30 บาทต่อกิโลกรัม โดยหากประเมินจากข้อมูลดังกล่าว ราคาวัตถุดิบหัว

แค้นตะวันอาจลดลงได้ถึง $2.30 \times (10,000/3,000) = 7.66$ บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งก็จะทำให้ต้นทุนวัตถุดิบแค้นตะวันในการผลิตลดลงเหลือ $1,606 \times (7.66/50) = 246$ บาทต่อการผลิตอินูลินผง 1 กิโลกรัม

2. ค่าแรงงานที่ใช้ในการทดลองมีค่าสูงมาก คือ 900 บาทต่อการผลิตอินูลินผง 1.214 กิโลกรัม (กรณีที่ผู้ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์) หรือเท่ากับ 741 บาทต่อการผลิตอินูลินผง 1 กิโลกรัม ซึ่งมีสาเหตุมาจากการผลิตในปริมาณที่น้อย ทำให้มีต้นทุนค่าแรงงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์สูง ดังนั้นหากมีการผลิตในปริมาณที่มาก และมีการใช้เครื่องจักรอุปกรณ์ที่มีระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ ต้นทุนค่าแรงงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ก็จะสามารถลดลงไปได้มาก เนื่องจากผลของ Economies of scale

3. ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองมีค่าสูง คือ 370.65 บาทต่อการผลิตอินูลินผง 1.214 กิโลกรัม (กรณีที่ผู้ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์) หรือเท่ากับ 305.31 บาทต่อการผลิตอินูลินผง 1 กิโลกรัม ซึ่งหากพิจารณารายละเอียดการใช้ไฟฟ้าในตารางผนวกที่ 13.7 พบว่า กระบวนการที่ใช้พลังงานไฟฟ้าสูงมากคือ การอบขึ้นหุ้มแค้นตะวันสไลด์ด้วยตู้อบลมร้อน (63.50 kW·h) กระบวนการทำให้เข้มข้นด้วย Vacuum evaporator (38.5 kW·h) Ice bank การผลิตน้ำเย็นหล่อเลี้ยงคอนเดนเซอร์ของ Vacuum evaporator (19.875 kW·h) การผลิตไอน้ำสำหรับป้อนไอน้ำให้ถังกวน ในกระบวนการสกัด (9.5 kW·h) และกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย ในกระบวนการแปรรูปน้ำสกัดเป็นอินูลินผง (5.5 kW·h) ดังนั้นแนวทางที่จะสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าได้ คือ (1) การใช้วิธีการตากขึ้นหุ้มแค้นตะวันสไลด์บนลาน เพื่อทำแห้งขึ้นหุ้มแค้นตะวันสไลด์ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ แทนที่จะใช้ตู้อบลมร้อน เช่นเดียวกับโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง (2) การใช้หม้อต้มระเหยแบบเปิด (open pan evaporator) โดยอาศัยความร้อนจากการเผาไหม้วัสดุชีวมวล เช่น ลำต้นแค้นตะวัน เช่นเดียวกับการใช้ขานอ้อยในการผลิตพลังงานความร้อนในโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล ในกระบวนการทำให้น้ำสกัดอินูลินเข้มข้น แทนที่จะใช้ Vacuum evaporator ซึ่งจะต้องมี Ice bank สำหรับการผลิตน้ำเย็นหล่อเลี้ยงคอนเดนเซอร์ของ Vacuum evaporator ด้วย (3) การผลิตไอน้ำโดยใช้พลังงานความร้อนจากการเผาไหม้วัสดุชีวมวล เช่น ลำต้นแค้นตะวัน เช่นเดียวกับการใช้ขานอ้อยในการผลิตพลังงานความร้อนในโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล เพื่อใช้แทนการใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตไอน้ำสำหรับป้อนไอน้ำให้ถังกวน และแทนการใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตลมร้อนป้อนให้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย จากแนวทางดังกล่าวจะช่วยให้อัตราการใช้ไฟฟ้าลดลงได้มาก โดยหากเปรียบเทียบราคาค่าไฟฟ้ากับค่าวัสดุชีวมวล เช่น ลำต้นแค้นตะวัน สามารถประเมินได้ดังนี้

ราคาค่าไฟฟ้า 2.6506 บาท/kW·h (จากตารางผนวกที่ 13.7) = $2.6506 \text{ บาท}/3.6 \text{ MJ} = 0.736 \text{ บาท/MJ}$
ค่าพลังงานความร้อนจำเพาะที่ได้จากการเผาไหม้ลำต้นแกล่นตะวัน = 12.6 MJ/กิโลกรัม (ใช้ข้อมูลค่า
ความร้อนจำเพาะที่ได้จากการเผาไหม้ถ่านหะหมันสำปะหลัง ของ รุ่งโรจน์ และคณะ; 2553 คูณด้วย 0.7
เนื่องจากถ่านหะหมันสำปะหลังจะมีความชื้นน้อยกว่าลำต้นแกล่นตะวัน)

หากราคาลำต้นแกล่นตะวัน = 1 บาทต่อกิโลกรัม ต้นทุนค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ลำต้น
แกล่นตะวัน = 1 บาทต่อ $12.6 \text{ MJ} = 0.079 \text{ บาท/MJ}$ ซึ่งคิดเป็น 10.7% ของค่าพลังงานจากไฟฟ้า

4. ค่าน้ำมัน ที่ใช้ในการทดลองมีค่าเท่ากับ 54.08 บาทต่อการผลิตอินูลินผง 1.214 กิโลกรัม (กรณีที่ไม่ใช้
กระบวนการทำให้บริสุทธิ์) หรือเท่ากับ 44.55 บาทต่อการผลิตอินูลินผง 1 กิโลกรัม ซึ่งหากพิจารณา
รายละเอียดในตารางผนวกที่ 13.7 พบว่ามีการใช้น้ำมันดีเซลโดยเครื่องกำเนิดไอน้ำสำหรับผลิตไอน้ำป้อนให้ถึง
ลวกชั้นแกล่นตะวันสไลด์ = 2.08 ลิตร ดังนั้นแนวทางที่จะสามารถลดค่าใช้จ่ายเรื่องค่าน้ำมัน คือ การผลิตไอน้ำ
โดยใช้พลังงานความร้อนจากการเผาไหม้วัสดุชีวมวล เช่น ลำต้นแกล่นตะวัน โดยหากเปรียบเทียบราคาค่าน้ำมัน
กับค่าวัสดุชีวมวล เช่น ลำต้นแกล่นตะวัน สามารถประเมินได้ดังนี้

ราคาค่าน้ำมันดีเซล 26 บาท/ลิตร (จากตารางผนวกที่ 13.7)

ค่าพลังงานความร้อนจำเพาะที่ได้จากการเผาไหม้น้ำมันดีเซล B5 = $38.73 \text{ MJ/กิโลกรัม}$ (Jittanit et al.,
2011) โดยมีความหนาแน่น 0.875 กิโลกรัม/ลิตร ดังนั้นค่าพลังงานความร้อนจำเพาะที่ได้จากการเผาไหม้
น้ำมันดีเซล B5 = 33.89 MJ/ลิตร

ดังนั้นต้นทุนค่าน้ำมันดีเซล คิดเป็น $(26 \text{ บาท/ลิตร}) / (33.89 \text{ MJ/ลิตร}) = 0.767 \text{ บาท/MJ}$

ค่าพลังงานความร้อนจำเพาะที่ได้จากการเผาไหม้ลำต้นแกล่นตะวัน = 12.6 MJ/กิโลกรัม (ใช้ข้อมูลค่า
ความร้อนจำเพาะที่ได้จากการเผาไหม้ถ่านหะหมันสำปะหลัง ของ รุ่งโรจน์ และคณะ; 2553 คูณด้วย 0.7
เนื่องจากถ่านหะหมันสำปะหลังจะมีความชื้นน้อยกว่าลำต้นแกล่นตะวัน)

หากราคาลำต้นแกล่นตะวัน = 1 บาทต่อกิโลกรัม ต้นทุนค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ลำต้น
แกล่นตะวัน = 1 บาทต่อ $12.6 \text{ MJ} = 0.079 \text{ บาท/MJ}$ ซึ่งคิดเป็น 10.3% ของค่าพลังงานจากน้ำมันดีเซล

ดังนั้นหากใช้ลำต้นแกล่นตะวันในการเผาไหม้แทนน้ำมันดีเซล เพื่อให้พลังงานความร้อนแก่เครื่องกำเนิดไอน้ำสำหรับผลิตไอน้ำป้อนให้ถังลวกขึ้นแกล่นตะวันสไลด์ จะลดต้นทุนจาก 44.55 บาทต่อการผลิตอินูลินผง 1 กิโลกรัม เป็น $44.55 \times 10.3\% = 4.59$ บาทต่อการผลิตอินูลินผง 1 กิโลกรัม

ถึงแม้ว่าจากการนำต้นทุนที่คำนวณได้จากการทดลองในระดับนําร่องมาใช้ประเมินทางเศรษฐศาสตร์ จะพบว่า การผลิตอินูลินผงจากหัวแกล่นตะวันในประเทศไทยไม่มีความคุ้มค่าต่อการลงทุน เนื่องจากมีต้นทุนที่สูงกว่าราคาขายของอินูลินที่นำเข้าจากต่างประเทศและจำหน่ายอยู่ในท้องตลาดปัจจุบันมาก ทั้ง ๆ ที่ต้นทุนที่คำนวณจากการทดลองในระดับนําร่อง ยังไม่ได้คิดค่าใช้จ่ายในเรื่องของเงินลงทุนสำหรับซื้อที่ดิน ค่าก่อสร้างโรงงาน ค่าเครื่องจักรอุปกรณ์ ค่าขนส่ง และค่าดำเนินการต่าง ๆ แต่ในที่นี้ผู้วิจัยก็จะทดลองประเมินต้นทุนทั้งหมด โดยใช้แนวทางการลดต้นทุนทั้ง 4 ข้อ ที่กล่าวมาข้างต้น ร่วมกับสมมุติฐานบางประการ เพื่อแสดงให้เห็นว่าการลงทุนผลิตอินูลินผงจากหัวแกล่นตะวันในประเทศไทย จะมีโอกาสที่จะคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์หรือไม่ หากจะคุ้มค่าต่อการลงทุนจะต้องมีเงื่อนไขอย่างไร โดยจะทดลองประเมินทางเศรษฐศาสตร์เฉพาะกรณีของการผลิตอินูลินผง โดยไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์เท่านั้น เนื่องจากจากการทดลองในระดับนําร่อง แสดงให้เห็นว่า ในกรณีที่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์มีต้นทุนการผลิตที่สูงมากกว่ากรณีที่ไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ประมาณ 2.9 เท่า ในขณะที่ราคาของผลิตภัณฑ์ที่คาดว่าจะขายได้ในท้องตลาดสูงกว่าเพียง 15% อีกทั้งต้องมีการลงทุนเครื่องจักรอุปกรณ์มากกว่า จึงไม่น่าสนใจที่จะนำมาพิจารณา โดยเฉพาะหากพบว่าแม้กระทั่งการผลิตอินูลินผง โดยไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ ซึ่งมีโอกาสที่จะคุ้มค่าในการลงทุนมากกว่า ยังไม่สามารถให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ได้

การประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตอินูลินผงจากหัวแกล่นตะวันในเชิงการค้าโดยใช้แนวทางการลดต้นทุนร่วมกับสมมุติฐานบางประการ

การประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตอินูลินผงจากหัวแกล่นตะวันในเชิงการค้า ในประเทศไทย โดยใช้แนวทางการลดต้นทุนทั้ง 4 ข้อ ที่กล่าวมาข้างต้น ร่วมกับสมมุติฐานบางประการ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การประเมินต้นทุน

ผู้วิจัยได้นำข้อมูลจากตารางผนวกที่ 13.7 มาใช้ในการประเมินต้นทุนอีกครั้ง โดยมีการปรับตัวเลข ต้นทุน โดยใช้แนวทางการลดต้นทุนทั้ง 4 ข้อ ที่กล่าวมาข้างต้น ได้ผลการประเมินต้นทุน ดังตารางผนวกที่ 14.1

จากผลการประเมินต้นทุนการผลิตอินูลินผง กรณีที่ไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ โดยใช้แนวทางการลดต้นทุนทั้ง 4 ข้อ ในตารางผนวกที่ 14.1 แสดงให้เห็นว่าถึงแม้ว่าจะใช้แนวทางการลดต้นทุนการผลิตทั้งหมดแล้ว ก็ยังคงไม่สามารถทำให้ต้นทุนของผลิตภัณฑ์อินูลินผง เท่ากับหรือต่ำกว่าราคาขายของอินูลินผงทางการค้า เกรด Orafit[®] HSI (200 บาทต่อกิโลกรัม) ได้ ซึ่งหากใช้ตัวเลขดังกล่าวในการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ก็จะได้ข้อสรุปว่า โครงการนี้ไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน

ดังนั้นในขั้นตอนต่อไปจะเป็นการตั้งสมมุติฐานในเรื่องของปริมาณผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผลิต ซึ่งในการทดลองระดับนำร่องพบว่า หากใช้ปริมาณวัตถุดิบหัวแค้นตะวันตก 39 กิโลกรัม จะได้ผงแป้งแค้นตะวันตก 3 กิโลกรัม และสุดท้ายจะได้ผลิตภัณฑ์ผงอินูลิน ประมาณ 1.214 กิโลกรัม หรือคิดเป็นปริมาณผลิตภัณฑ์ผงอินูลินที่ได้ต่อปริมาณผงแป้งแค้นตะวันตกที่ใช้ $= (1.214/3) = 0.405$ หรือ 40.5% โดยหากสามารถพัฒนากระบวนการผลิตให้สามารถเพิ่มปริมาณผลิตภัณฑ์ผงอินูลินที่ได้ต่อปริมาณผงแป้งแค้นตะวันตกที่ใช้ได้เป็น 2 เท่า หรือ 81% จะส่งผลให้ต้นทุนการผลิตต่ออินูลินผง 1 กิโลกรัม ลดลงจาก 322.76 บาท เหลือเท่ากับ $(322.76/2) = 161.38$ บาท ซึ่งหากผู้ผลิตสามารถผลิตอินูลินผงได้ตามต้นทุนดังกล่าว ก็จะมีกำไรจากการขายสินค้า และสามารถนำกำไรที่ได้จากการขายไปประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการลงทุนได้ต่อไป

ตารางผนวกที่ 14.1 ข้อมูลการประเมินต้นทุนการผลิตอินูลินผง กรณีที่ไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ โดยใช้แนวทางการลดต้นทุนทั้ง 4 ข้อ

ลำดับที่	รายการ	รายละเอียด	หมายเหตุ
1	ค่าวัตถุดิบหัวแค้นตะวัน	● หากราคาวัตถุดิบหัวแค้นตะวัน ลดลงเหลือ 7.66 บาท ต่อ กิโลกรัม ดังแนวทางการลดต้นทุนข้อที่ 1 ต้นทุนวัตถุดิบจะลดลงเหลือ = $39 \text{ กิโลกรัม} \times 7.66 \text{ บาทต่อ กิโลกรัม} = 298.74 \text{ บาท}$	● จากข้อมูลในตารางผนวกที่ 13.7 พบว่า ต้องใช้หัวแค้นตะวันสด 39 กิโลกรัม เพื่อให้ได้ผงแห้งแค้นตะวัน 3 กิโลกรัม ● ต้นทุนวัตถุดิบในปัจจุบัน = $39 \text{ กิโลกรัม} \times 50 \text{ บาทต่อ กิโลกรัม} = 1,950 \text{ บาท}$
2	ค่าแรงงาน	● หากต้นทุนค่าแรงงานสามารถลดลงไปได้มาก เช่น เหลือ 5% ของต้นทุนค่าแรงงานในการทดลองผลิตระดับนำร่อง เนื่องจากการผลิตในปริมาณที่มาก และมีการใช้เครื่องจักรอุปกรณ์ที่มีระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ ดังแนวทางการลดต้นทุนข้อที่ 2 ต้นทุนค่าแรงงานจะลดลงเหลือ = $0.05 \times 900 \text{ บาท} = 45 \text{ บาท}$	● จากข้อมูลในตารางผนวกที่ 13.7 พบว่า ต้องใช้แรงงานจำนวน 3 คน*วัน (man*day) ในการแปรรูปหัวแค้นตะวันเป็นผลิตภัณฑ์อินูลินผง กรณีที่ไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ ดังนั้นต้นทุนค่าแรงงานในการทดลองผลิตระดับนำร่อง = $3 \text{ คน*วัน} \times 300 \text{ บาทต่อคนต่อวัน} = 900 \text{ บาท}$
3	ค่าพลังงานไฟฟ้า	● หากมีการปรับเปลี่ยนเทคโนโลยี และแหล่งพลังงานความร้อน ดังแนวทางการลดต้นทุนข้อที่ 3 ต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าจะลดลงเหลือดังรายละเอียดต่อไปนี้ ○ เครื่องหั่นสไลด์หัวแค้นตะวัน = $0.29 \text{ kW}\cdot\text{h}$ ○ เครื่อง Fitz mill (บดขึ้นแค้นตะวันที่ผ่านการอบแห้งให้เป็นผงแค้นตะวัน รอบที่ 1) =	● จากข้อมูลในตารางผนวกที่ 13.7 พบว่า ในการแปรรูปหัวแค้นตะวันเป็นผลิตภัณฑ์อินูลินผง กรณีที่ไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ ใช้พลังงานไฟฟ้าดังนี้ ● พลังงานไฟฟ้าถูกใช้โดยอุปกรณ์ต่อไปนี้ ○ เครื่องหั่นสไลด์หัวแค้นตะวัน = $0.29 \text{ kW}\cdot\text{h}$ ○ ตู้อบลมร้อน (อบขึ้นหัวแค้นตะวันสไลด์) =

ลำดับที่	รายการ	รายละเอียด	หมายเหตุ
		0.60 kW·h ○ เครื่อง Pin mill (บดชิ้นแกล่นตะวันที่ผ่านการอบแห้งให้เป็นแป้งแกล่นตะวัน รอบที่ 2) = 0.72 kW·h ○ มอเตอร์ใบกวนของถังกวน ในกระบวนการสกัด = 0.1 kW·h ○ Basket centrifuge สำหรับเหวี่ยงแยกกาก = 1.25 kW·h ○ มอเตอร์ใบกวนของ open pan evaporator ในกระบวนการทำให้เข้มข้น = 2 kW·h ○ มอเตอร์พัดลมของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ในกระบวนการแปรรูปน้ำสกัดเป็นอินูลินผง = 1.5 kW·h ● ดังนั้นในกระบวนการผลิตในระดับนำร่องใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 6.46 kW·h ● ต้นทุนพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด = $6.46 \text{ kW·h} \times 2.6506 \text{ บาท/kW·h} = 17.12 \text{ บาท}$ ● อย่างไรก็ตามต้องมีต้นทุนค่าลำต้นแกล่นตะวัน ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้เพื่อให้พลังงานความร้อน โดย	63.50 kW·h ○ เครื่อง Fitz mill (บดชิ้นแกล่นตะวันที่ผ่านการอบแห้งให้เป็นแป้งแกล่นตะวัน รอบที่ 1) = 0.60 kW·h ○ เครื่อง Pin mill (บดชิ้นแกล่นตะวันที่ผ่านการอบแห้งให้เป็นแป้งแกล่นตะวัน รอบที่ 2) = 0.72 kW·h ○ เครื่องกำเนิดไอน้ำชนิดใช้ไฟฟ้าสำหรับป้อนไอน้ำให้ถังกวน ในกระบวนการสกัด = 9.5 kW·h ○ มอเตอร์ใบกวนของถังกวน ในกระบวนการสกัด = 0.1 kW·h ○ Basket centrifuge สำหรับเหวี่ยงแยกกาก = 1.25 kW·h ○ Ice bank สำหรับผลิตน้ำเย็นหล่อเลี้ยงคอนเดนเซอร์ของ Vacuum evaporator = 19.875 kW·h ○ Vacuum evaporator ในกระบวนการทำให้เข้มข้น = 38.5 kW·h

ลำดับที่	รายการ	รายละเอียด	หมายเหตุ
		ต้นทุนค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ลำต้น แก่นตะวัน = 1 บาทต่อ 12.6 MJ = 0.079 บาท/MJ ซึ่งคิดเป็น 10.7% ของค่าพลังงานจากไฟฟ้า ดังนั้นจะมี รายการต้นทุนค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผา ไหม้ลำต้นแก่นตะวัน ดังนี้ ○ เครื่องกำเนิดไอน้ำสำหรับป้อนไอน้ำให้ถังกวน ในกระบวนการสกัด = $9.5 \text{ kW}\cdot\text{h} \times 2.6506$ บาท/kW·h $\times 10.7\% = 2.69$ บาท ○ Open pan evaporator ในกระบวนการทำ ให้เข้มข้น = $36.5 \text{ kW}\cdot\text{h} \times 2.6506$ บาท/ kW·h $\times 10.7\% = 10.35$ บาท ○ เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ในกระบวนการ แปรรูปน้ำสกัดเป็นอินูลินผง = $4 \text{ kW}\cdot\text{h} \times$ 2.6506 บาท/kW·h $\times 10.7\% = 1.13$ บาท ● ดังนั้นการใช้พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ลำ ต้นแก่นตะวันเพื่อทดแทนพลังงานความร้อนจาก พลังงานไฟฟ้า ในกระบวนการผลิตระดับนำร่องมี ต้นทุนค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ลำต้น แก่นตะวันทั้งหมด = $2.69 + 10.35 + 1.13 = 14.17$	○ เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ในกระบวนการ แปรรูปน้ำสกัดเป็นอินูลินผง = $5.5 \text{ kW}\cdot\text{h}$ ● ดังนั้นในกระบวนการผลิตในระดับนำร่องใช้พลังงาน ไฟฟ้าทั้งหมด $139.835 \text{ kW}\cdot\text{h}$ ส่งผลให้ต้นทุนพลังงาน ไฟฟ้าทั้งหมด = $139.835 \text{ kW}\cdot\text{h} \times 2.6506$ บาท/kW·h = 370.65 บาท

ลำดับที่	รายการ	รายละเอียด	หมายเหตุ
		บาท	
4	ค่าน้ำมัน	หากมีการปรับเปลี่ยนแหล่งพลังงานความร้อน ดังแนวทางการลดต้นทุนข้อที่ 4 ต้นทุนค่าน้ำมันจะลดลงเนื่องจากการใช้ลำตันแก๊สตะวันเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้เพื่อให้พลังงานความร้อน มีต้นทุนค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ลำตันแก๊สตะวัน = 1 บาทต่อ 12.6 MJ = 0.079 บาท/MJ ซึ่งคิดเป็น 10.3% ของค่าพลังงานจากน้ำมันดีเซล ดังนั้น เครื่องกำเนิดไอน้ำสำหรับผลิตไอน้ำป้อนให้ถึงลูกชิ้นแก๊สตะวันสไลด์ จะมีต้นทุนพลังงานเหลือเป็น $54.08 \text{ บาท} \times 10.3\% = 5.57 \text{ บาท}$	จากข้อมูลในตารางผนวกที่ 13.7 พบว่า น้ำมันดีเซลถูกใช้โดยเครื่องกำเนิดไอน้ำสำหรับผลิตไอน้ำป้อนให้ถึงลูกชิ้นแก๊สตะวันสไลด์ = 2.08 ลิตร ดังนั้นต้นทุนค่าน้ำมันดีเซล = $2.08 \text{ ลิตร} \times 26 \text{ บาท/ลิตร} = 54.08 \text{ บาท}$
5	ค่าน้ำ	สำหรับต้นทุนค่าน้ำประปา ใช้ข้อมูลตามตารางผนวกที่ 13.7 คือ 11.23 บาท	ใช้ข้อมูลตามตารางผนวกที่ 13.7
6	รวมต้นทุนรายการที่ 1-5	- ต้นทุนรายการที่ 1-5 ประกอบด้วย ○ ค่าวัตถุดิบหัวแก๊สตะวัน = 298.74 บาท ○ ค่าแรงงาน = 45 บาท ○ ค่าพลังงานไฟฟ้า = 17.12 บาท ○ ต้นทุนสำหรับพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ลำตันแก๊สตะวันทั้งหมด = $14.17 + 5.57 = 19.74 \text{ บาท}$	ต้นทุนรวม = 391.83 บาท เป็นต้นทุนที่เกิดขึ้นในการผลิตอินูลินผงในระดับนำร่อง กรณีที่ไม่ใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ ใช้ปริมาณวัตถุดิบหัวแก๊สตะวันสด 39 กิโลกรัม เพื่อให้ได้ผงแก๊สตะวัน 3 กิโลกรัม และจากผลการทดลองพบว่าจะได้ผลิตภัณฑ์ผงอินูลิน 1.112 – 1.315 กิโลกรัม (ค่าเฉลี่ยคือ 1.214 กิโลกรัม) ดังแสดงในตารางผนวกที่ 13.1 และ 13.2

ลำดับที่	รายการ	รายละเอียด	หมายเหตุ
		○ คำนวณน้ำประปา = 11.23 บาท ● รวมเป็นเงิน = 391.83 บาท ● คิดเป็นต้นทุนต่อ 1 กิโลกรัมของผลิตภัณฑ์อินูลินผง ชนิดไม่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ = 391.83 บาท/ 1.214 กิโลกรัม = 322.76 บาท	

2. สมมติฐาน

ในที่นี้ การประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตอินูลินผงจากหัวแก่นตะวันในเชิงการค้า ในประเทศไทย จะมีการตั้งสมมติฐานดังต่อไปนี้

- การผลิตอินูลินผงจากหัวแก่นตะวันสามารถลดต้นทุนได้ตามแนวทางการลดต้นทุนทั้ง 4 ข้อ ที่กล่าวมาข้างต้น

- ปริมาณผลิตภัณฑ์อินูลินที่ได้ต่อปริมาณผงแป้งแก่นตะวันที่ใช้ มีค่าเท่ากับ 81% (2 เท่าของค่าที่ได้จากการทดลองในระดับนําร่อง) ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตต่ออินูลินผง 1 กิโลกรัม เท่ากับ 161.38 บาท

- ผู้ผลิตสามารถขายผลิตภัณฑ์อินูลินผง ได้ในราคา 200 บาทต่อกิโลกรัม
- อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ธนาคาร 8.5% ต่อปี (คงที่ตลอดระยะเวลาที่พิจารณา)
- โรงงานมียอดขายเท่ากับ 10% ของมูลค่าการนำเข้าอินูลินผงในปี พ.ศ. 2552 (มูลค่าการนำเข้าอินูลินผงในปี พ.ศ. 2552 คือประมาณ 220 ล้านบาท (ธนโชติ และคณะ, 2553)) นั่นคือ $10\% \times 220$ ล้านบาท = 22 ล้านบาท ซึ่งหากคิดเป็นกำลังการผลิตที่ต้องการก็คือ $(22,000,000 \text{ บาท/ปี}) / (200 \text{ บาทต่อกิโลกรัม}) = 110,000 \text{ กิโลกรัม/ปี}$ (คงที่ตลอดระยะเวลาที่พิจารณา)

- วงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ 20 ปี
- ค่าใช้จ่ายคงที่สำหรับการลงทุนครั้งแรก มีรายละเอียดดังแสดงในตารางผนวกที่ 14.2
- ค่าใช้จ่ายแปรผันต่อปี มีรายละเอียดดังแสดงในตารางผนวกที่ 14.3 (คงที่ตลอดระยะเวลาที่พิจารณา)

ตารางผนวกที่ 14.2 ค่าใช้จ่ายคงที่สำหรับการลงทุนครั้งแรกของการผลิตอินูลินผงจากหัวแก่นตะวัน

ลำดับที่	รายการค่าใช้จ่าย	มูลค่า (บาท)
1	ค่าที่ดิน 5 ไร่	5,000,000
2	ค่าอาคารโรงงาน พื้นที่ 3,200 ตารางเมตร ราคาค่าก่อสร้างตารางเมตรละ 6,000 บาท	19,200,000
3	ค่าเครื่องจักรอุปกรณ์ ● ค่าระบบสายพานลำเลียงและล้างหัวแก่นตะวัน 500,000 ● เครื่องหั่นสไลด์หัวแก่นตะวัน 200,000 ● ถังแช่และถังลวก 500,000 ● ลานตากขึ้นแก่นตะวันสไลด์ พื้นที่ 3,200 ตารางเมตร ราคาค่าก่อสร้างตารางเมตรละ 500 บาท 1,600,000 ● เครื่องบดขึ้นแก่นตะวันที่ผ่านการอบแห้งให้เป็นแป้ง 500,000 ● ถังต้มสกัด 1,000,000 ● Basket centrifuge สำหรับเหวี่ยงแยกกาก 500,000 ● open pan evaporator 2,000,000 ● เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย 20,000,000 ● เครื่องบรรจุ 1,000,000 ● อุปกรณ์เครื่องใช้อื่น ๆ 1,000,000	
4	ค่ายานพาหนะ	3,000,000
	รวมค่าใช้จ่ายคงที่	56,000,000

ตารางผนวกที่ 14.3 ค่าใช้จ่ายแปรผันต่อปี สำหรับการผลิตอินูลินผงจากหัวแก่นตะวัน

ลำดับที่	รายการค่าใช้จ่าย	มูลค่าต่อปี (บาท)
1	ต้นทุนการผลิต ต้นทุนการผลิตต่ออินูลินผง 1 กิโลกรัม เท่ากับ 161.38 บาท กำลังการผลิต = 110,000 กิโลกรัม/ปี ต้นทุนการผลิตต่อปี = 161.38 บาท/กิโลกรัม $\times$ 110,000 กิโลกรัม/ปี	17,751,800
2	ค่าขนส่ง	500,000
3	เงินเดือนพนักงาน ที่นอกเหนือจากฝ่ายผลิต 12 คน เฉลี่ยคนละ 10,000 บาท	1,440,000
4	ค่าซ่อมบำรุงเครื่องจักรอุปกรณ์	500,000
5	ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ	500,000
	รวมค่าใช้จ่ายแปรผันต่อปี	20,691,800

3. การคำนวณระยะเวลาคืนทุน มูลค่าสุทธิเทียบกับปัจจุบัน และอัตราผลตอบแทนที่ได้
ระยะเวลาคืนทุน (Payback period) คำนวณได้จาก

ค่าใช้จ่ายคงที่สำหรับการลงทุนครั้งแรก = มูลค่าปัจจุบันของกำไรที่ได้ในแต่ละปีจนถึงระยะเวลาคืนทุน

ค่าใช้จ่ายคงที่สำหรับการลงทุนครั้งแรก = 56,000,000 บาท

กำไรต่อปี = ยอดขายต่อปี – ค่าใช้จ่ายแปรผันต่อปี = 22,000,000 – 20,691,800 = 1,308,200 บาท

มูลค่าปัจจุบันของกำไรที่ได้ในปีที่ 1 = $[1,308,200]/(1.085)$ = 1,205,714 บาท

มูลค่าปัจจุบันของกำไรที่ได้ในปีที่ 2 = $[1,308,200]/(1.085)^2$ = 1,111,257 บาท

มูลค่าปัจจุบันของกำไรที่ได้ในปีที่ 3 = $[1,308,200]/(1.085)^3$ = 1,024,200 บาท

จากการคำนวณจนถึงปีที่ 20 พบว่า มูลค่าปัจจุบันรวมของกำไรที่ได้ในปีที่ 1-20 = 12,379,937 บาท

การที่มูลค่าปัจจุบันรวมของกำไรที่ได้ในปีที่ 1-20 = 12,379,937 บาท < ค่าใช้จ่ายคงที่สำหรับการลงทุนครั้งแรก = 56,000,000 บาท แสดงให้เห็นว่าโครงการนี้มีระยะเวลาคืนทุนมากกว่า 20 ปี ซึ่งยาวนานกว่าวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ แสดงว่าไม่น่าลงทุน

มูลค่าสุทธิเทียบกับปัจจุบัน (Net present value) คำนวณได้จาก

มูลค่าสุทธิเทียบกับปัจจุบัน = มูลค่าปัจจุบันของกำไรที่ได้ในแต่ละปีจนถึงระยะเวลาลิ้นสุดของวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ - ค่าใช้จ่ายคงที่สำหรับการลงทุนครั้งแรก

แทนค่า จะได้

$$\text{มูลค่าสุทธิเทียบกับปัจจุบัน} = 12,379,937 - 56,000,000 = -43,620,063 \text{ บาท}$$

มูลค่าสุทธิเทียบกับปัจจุบัน < 0 แสดงว่าไม่น่าลงทุน

อัตราผลตอบแทนที่ได้อัตรา (Internal rate of return: IRR) คำนวณได้จาก

ค่าใช้จ่ายคงที่สำหรับการลงทุนครั้งแรก = มูลค่าปัจจุบันของกำไรที่ได้ในแต่ละปีจนถึงระยะเวลาลิ้นสุดของวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ (คำนวณโดยใช้ค่าอัตราผลตอบแทนที่ได้อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ธนาคาร) แทนค่า จะได้

$$56,000,000 = \left\{ \left([1,308,200] / (1+IRR) \right) + \left([1,308,200] / (1+IRR)^2 \right) + \left([1,308,200] / (1+IRR)^3 \right) + \dots + \left([1,308,200] / (1+IRR)^{19} \right) + \left([1,308,200] / (1+IRR)^{20} \right) \right\}$$

จากการคำนวณพบว่า IRR (Internal rate of return) $\approx$ -6.4% ต่อปี การที่ค่า IRR ต่ำกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ธนาคาร 8.5% ต่อปี แสดงว่าไม่น่าลงทุน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ค่า IRR ติดลบ

จากการพิจารณาค่าระยะเวลาคืนทุน มูลค่าสุทธิเทียบกับปัจจุบัน และอัตราผลตอบแทนที่ได้ แสดงให้เห็นว่าโครงการผลิตอินูลินผงจากหัวแค้นตะวันในเชิงการค้า ในประเทศไทย ตามสมมุติฐานที่ตั้งขึ้น ไม่น่าลงทุน เนื่องจากไม่คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

4. การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ โดยวิเคราะห์จากการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเติบโตของยอดขาย (Sales growth) ที่มีผลต่อค่า ระยะเวลาคืนทุน (Payback period) มูลค่าสุทธิเทียบกับปัจจุบัน (Net present value; NPV) และอัตราผลตอบแทนที่ได้ (Internal rate of return; IRR) โดยตั้งสมมติฐานเพิ่มเติมว่า ค่าใช้จ่ายแปรผันต่อปีมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตรา 50% ของอัตราการเติบโตของยอดขาย ผลการวิเคราะห์ถูกแสดงดังตารางผนวกที่ 14.4

จากผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ แสดงให้เห็นว่าการลงทุนโครงการนี้จะมีมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ หากมีอัตราการเติบโตของยอดขายตั้งแต่ 4.185% ต่อปีขึ้นไป ภายใต้เงื่อนไขว่า ค่าใช้จ่ายแปรผันต่อปีมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตรา 50% ของอัตราการเติบโตของยอดขาย เนื่องจากมีระยะเวลาคืนทุนภายในระยะเวลาของวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ มีค่ามูลค่าสุทธิเทียบกับปัจจุบัน > 0 และ อัตราผลตอบแทนที่ได้ $>$ อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ธนาคาร

ตารางผนวกที่ 14.4 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของระยะเวลาคืนทุน มูลค่าสุทธิเทียบกับปัจจุบัน และ อัตราผลตอบแทนที่ได้ ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเติบโตของยอดขาย และ ค่าใช้จ่ายแปรผันต่อปี

อัตราการเติบโต ของยอดขาย (%)	อัตราการเพิ่มขึ้นของ ค่าใช้จ่ายแปรผันต่อปี (%)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	มูลค่าสุทธิเทียบกับ ปัจจุบัน (ล้านบาท)	อัตราผลตอบแทนที่ได้ (%)
0	0	ไม่สามารถคืนทุนได้	- 132,154,189	โครงการขาดทุน
4.185	2.0925	20	64,945	8.51
5	2.5	18	12,004,173	10
10	5	11	123,132,629	19
15	7.5	9	339,348,031	27
20	10	7	751,455,496	33
25	12.5	7	1,523,158,014	40
30	15	6	2,944,979,139	46
35	17.5	6	5,524,566,748	52
40	20	5	10,135,557,044	58

หมายเหตุ: ตั้งสมมติฐานว่า ค่าใช้จ่ายแปรผันต่อปีมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตรา 50% ของอัตราการเติบโตของยอดขาย

Reprint หรือ manuscript บทความสำหรับการเผยแพร่
และหลักฐานการจดอนุสิทธิบัตร

1. บทความตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติ:

Khuenpet, K., W. Jittanit and S. Sirisansaneeyakul. 2015. Comparison between hot air and superheated steam drying of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers and the inulin powder production. *Transactions of the ASABE*. มีค่า impact factor = 0.843 (ได้รับการตอบรับให้ตีพิมพ์แล้ว)

American Society of Agricultural and Biological Engineers

Decision Letter (FPE-11020-2014.R2)

From: lur@msu.edu

To: jeabkrittiya@gmail.com, fagiwcj@ku.ac.th, fagissi@ku.ac.th

CC: fasinoo@auburn.edu

Subject: Manuscript FPE-11020-2014.R2 accepted for Transactions of the ASABE

Body: 16-Jun-2015

Dear Dr. Weerachet Jittanit:

I am pleased to advise you that your revised manuscript FPE-11020-2014.R2" Comparison between Hot Air and Superheated Steam Drying of Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) Tubers and the Inulin Powder Production" is accepted for publication in

Transactions of the ASABE as a Full-length article.

The most recent files you submitted (uploaded) will be used.

You will have the opportunity to review both an edited proof copy and page proofs of your article before it is published. Generally edited proof copy is sent to you within 10 weeks (the quarterly journal J. Agr. Safety & Health may take longer). You will receive a notice of the total page charges due along with your final page proof (<http://www.asabe.org/publications/authors/submit-journal-manuscript.aspx>).

If you have questions please contact Ms. Pat Howard at ASABE Publications (pfhoward@asabe.org or 269-932-7008).

Thank you for your contribution to the literature of the profession.

Sincerely,

Dr. Renfu Lu
Editor, ASABE, Processing Systems

BCC to associate editor

Transactions of the ASABE, Applied Engineering in Agriculture, and the Journal of Agricultural Safety and Health are published by the American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE).

Associate Editor's comments, if any, to the author (also look for files at your Author Center):

Associate Editor

Associate Editor Comments for Authors:
(There are no comments.)

Reviewer's comments, if any, to the author (also look for files at your Author Center):

Date Sent: 16-Jun-2015

 Close Window



Journal: Transactions of the ASABE

Mark	Journal Title	ISSN	Total Cites	Impact Factor	5-Year Impact Factor	Immediacy Index	Citable Items	Cited Half-life	Citing Half-life
	T ASABE	2151-0032	7176	0.843	1.105	0.337	202	>10.0	9.6
Cited Journal Citing Journal Source Data Journal Self Cites									

CITED JOURNAL DATA

CITING JOURNAL DATA

IMPACT FACTOR TREND

RELATED JOURNALS

Journal Information

Full Journal Title: Transactions of the ASABE

ISO Abbrev. Title: Trans. ASABE

JCR Abbrev. Title: T ASABE

ISSN: 2151-0032

Issues/Year: 6

Language: ENGLISH

Journal Country/Territory: UNITED STATES

Publisher: AMER SOC AGRICULTURAL & BIOLOGICAL ENGINEERS

Publisher Address: 2950 NILES RD, ST JOSEPH, MI 49085-9659

Subject Categories: AGRICULTURAL ENGINEERING

SCOPE NOTE

Eigenfactor[®] Metrics
 Eigenfactor[®] Score
 0.00584
 Article Influence[®]
 Score
 0.329

VIEW JOURNAL SUMMARY LIST

VIEW CATEGORY DATA

Journal Rank in Categories: JOURNAL RANKING

Journal Impact Factor

Cites in 2013 to items published in:	2012 = 147	Number of items published in:	2012 = 219
	2011 = 233		2011 = 232
	Sum: 380		Sum: 451
Calculation:	$\frac{\text{Cites to recent items}}{\text{Number of recent items}} = \frac{380}{451} = 0.843$		

5-Year Journal Impact Factor

Cites in {2013} to items published in:	2012 = 147	Number of items published in:	2012 = 219
	2011 = 233		2011 = 232
	2010 = 288		2010 = 188
	2009 = 244		2009 = 211
	2008 = 267		2008 = 217



**Comparison between Hot Air and Superheated Steam Drying
of Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) Tubers
and the Inulin Powder Production**

Journal:	<i>American Society of Agricultural and Biological Engineers</i>
Manuscript ID:	FPE-11020-2014.R2
Journal Name:	Transactions of the ASABE
Manuscript Type:	Full-length article
Date Submitted by the Author:	n/a
Complete List of Authors:	Khuenpet, Krittiya; Kasetsart University, Faculty of Agro-Industry,, Department of Food Science and Technology Jittanit, Weerachet; Kasetsart University, Faculty of Agro-Industry, Department of Food Science and Technology Sirisansaneeyakul, Sarote; Kasetsart University, Faculty of Agro-Industry,, Department of Biotechnology
Keywords:	drying model, inulin, Jerusalem artichoke, superheated steam drying, tray dryer
Abstract:	abstract.docx

SCHOLARONE™
Manuscripts

Reply of the authors to the reviewers' comments

Editor's comment: Abstract: Still needs to be improved upon. For example, the first sentence should be about the importance of JAT and then followed by what the authors have now (i.e. the procedure used). Also, a sentence after the conversion of dried JAT into powder should be added i.e. what was done with the JAT powder. There was not a sentence concerning the results from composition/quality of the powder.

Authors' reply: The authors revised the abstract as the editor's comment. The first sentence "Jerusalem artichoke tubers are rich of inulin which can be applied in food as prebiotics and dietary fiber supplement." was added to present the importance of JAT. The content of abstract was rearranged. The procedures used in the study were orderly presented. Furthermore, a sentence concerning the results from composition/quality of the JAT powder and inulin powder were added at the end of abstract to present the benefit of processing dried JAT into inulin powder.

Editor's comment: Line 36: The origin of Jerusalem artichoke can be traced to Canada but it is now widely cultivated in the temperate regions of the world.

Authors' reply: The authors changed the statement "It was originally found in Canada and then cultivated widely across the temperate zone" to be "The origin of Jerusalem artichoke can be traced to Canada but it is now widely cultivated in the temperate regions of the world" as the editor's comment.

Editor's comment: Line 37: During the last decades, there has been an increase in the amount of JA produced in Thailand....

Line 37: Authors should provide evidence for either the increase in amount of JA produced or the amount of land used to cultivate JA.

Authors' reply: The authors changed the statement "During the last few decades, there has been an increasing of area use for cultivating plantation area of Jerusalem artichoke (JA) in Thailand especially in the Northeastern region." to be "During the last few decades, it was found that many varieties of Jerusalem artichoke (JA) were bred, developed and could be successfully grown in Thailand especially in the northeastern region (Vorasoat and Jogloy, 2006; Tanjor *et al.*, 2012)." as the editor's comment.

In addition, more information about an increasing amount of inulin use in food products was added as following "Chaito *et al.* (2014) reported that inulin was fortified into various commercial food products in Thailand during 2008 to 2013; for example, weight control diet, instant coffee mix, instant beverage, supplemented food products for pregnant, milk, soy milk and fruit juice whereas JAT powder was identified as an excellent source of dietary fiber."

Editor's comment : Line 94: Change to - 'After drying, JAT samples from.....JAT powder. An extraction process was then used to obtain inulin powder from the JAT powder'

Authors' reply: The authors changed the statement as the editor's comment.

Editor's comment : Line 114: how was it ensured that the samples were 2 mm in thickness? How were the tubers sliced?

Authors' reply: The authors added the explanation how to ensure that the samples were 2 mm in thickness and how were the tubers sliced. The statement was amended to be

"Then, washed samples were sliced using a "Robot Coupe" electric vegetable slicer model R502 (Owner Foods Machinery Co. Ltd., Bangkok, Thailand) with the setting slice thickness of 2 mm and immediately immersed in 0.5% w/v citric acid solution for 5 min to prevent enzymatic browning."

Editor's comment : Line 157: In response to previous review, authors mentioned that the 350 g were for all samples. If 6 g sample were taken at 2, 4 and 6 h, the amount of sample left after 4 hour of drying will be less than 150 g (i.e. less than 50% of original sample mass) assuming samples were obtained in duplicates with each sample weight 6 g. This will definitely influence drying rate since there are less samples exposed to superheated steam especially because sample had influence on moisture uptake/loss during superheated steam drying (lines 358 to 374).

Authors' reply: The authors agree with the editor's comment that the decrease of sample amount left in superheated steam drying chamber after sampling had influence on drying rate. The sample amount at the beginning was limited to be 350 g due to the size of superheated steam dryer applied in this study. However, although the sample amount in the superheated steam drying chamber decreased along the drying experiment, the moisture content of samples after 6 h of drying remained much higher than the target moisture content ($\leq 8\%$ d.b) as described in the 1st and 2nd paragraphs of section 3.3. Moreover, this superheated steam drying experiment showed the unacceptable appearance of dried JAT product. So, the result could clarify that this drying technique is not suitable for JAT and less efficient than tray dryer. These findings would be similar although the samples were not taken at 2, 4 and 6 h during superheated steam drying experiment. In addition, for the development of thin layer drying models, only the experimental data from tray drying were applied. Therefore, the effect of sample decrease during superheated drying experiment on the drying rate would not relate to the drying kinetic models developed in this work.

Editor's comment : Line 166: Change 'would be' to 'was'

Authors' reply: The authors changed the word "would be" to be "was" as the editor's comment.

Editor's comment : Line 318: Change to 'Blanching was included as part of the sample preparation for hot-air drying and superheated steam drying experiments due to the similarity of drying time between and the aforementioned benefits of drying.

Authors' reply: The authored modified and corrected the statement "Due to similarity of drying time between unblanched and blanched JAT samples and the benefits of blanching, for the next drying experiments, blanching was included for the sample preparation." to "Blanching was included as part of the sample preparation for hot air drying experiments due to the similarity of drying time between unblanched and blanched JAT samples and the aforementioned benefits of drying." as the editor's comment.

Editor's comment : Line 322: Delete the sentence and reword as 'Blanched JAT samples were exposed to hot-air at temperatures of 55C, 65C and 75C.

Authors' reply: The authors deleted the sentence "After realizing that blanching should be included in the sample preparation. Tray drying experiments of blanched" and corrected the statement "blanched JAT samples were conducted in a tray dryer at 55°C, 65°C and 75°C" to "blanched JAT samples were exposed to hot air at temperatures of 55°C, 65°C and 75°C. " as the editor's comment.

Editor's comment : Figures 3 & 5: There are two graphs. What are the differences between the two graphs?

Authors' reply: Figure 3 is the result after conducting the experiment described in section 2.2.1. It shows drying characteristics of unblanched and blanched JAT samples in tray dryer at 65°C. Figure 5 is the result of experiment described in section 2.2.2. It illustrates drying characteristics of blanched JAT samples in tray dryer at three different temperatures 55°C, 65°C and 75°C. The experimental data in Figures 3 and 5 were obtained from different sets of experiments. The authors amended the statements in section 2.2.1 and 2.2.2 in order to be clearer.

Editor's comment : Figure 6: A portion of the figure is missing.

Authors' reply: The authors used the track changes feature of Microsoft Word to obviously indicate the changes that were carried out by the authors. If the editor clicks the feature "Accept All Changes in Document", Figure 6 would be complete (not missing). However, for this latest revision, the track changes feature was not applied. The highlight by light-blue color was used to indicate all the positions that were corrected by the authors.

Editor's comment : Line 330: These variations in moisture content are high and should not occur especially because the samples have been exposed to liquid water (blanching and cooling) for at least 12 minutes. If there is high variation in maturity and size of the samples used in this study, how applicable are the results obtained in this study?

Authors' reply: As described in the 2nd paragraph of section 3.2, there were rather high variations in moisture content although the samples have been exposed to liquid water (blanching and cooling). Even though there were rather high variations in initial moisture content of blanched samples due to maturity, size and subsequently blanching effect in this study, the results obtained in this study could be applicable. It is because the main results that the authors investigated from these experiments consist of 1) required drying time for drying JAT to the target moisture content ($\leq 8\%$ d.b), 2) drying characteristics for developing thin-layer drying models and 3) quality of dried JAT. If considering the required drying time for drying JAT to the target moisture content ($\leq 8\%$ d.b or 0.08 g water/g dry solid), the authors found that all the samples required drying time of about 200 minute. The authors already stated in the 2nd paragraph of section 3.2 that

“Although there was disparity in the initial moisture content of samples, the moisture contents were decreasing and became comparable after 200 min. It is because most moisture of the samples was free moisture that could be easily removed. Moreover, the shape of JAT slices, which was considered as a slab because the ratios between the width and thickness of the samples were greater than 10, had a high specific surface area. A plenty of surface area could facilitate the moisture removal. After reaching a lower moisture content, the drying rate would be limited by the moisture diffusion rate from inside to the surface of samples resulting in the similarity of moisture contents at the later drying stage even if the drying temperature was raised from 55°C to either 65°C or 75°C.”

For the drying characteristics for developing thin-layer drying models, the parameters that were fitted into the models were the moisture ratio, drying time and equilibrium moisture content. Although there were variations in initial moisture content of blanched samples, the moisture ratio at initial time calculated by the equation (1) would be always equal to 1. So, the tendency of the drying characteristics would not be influenced too much by initial moisture content. The variation in maturity of blanched samples might have some effects on the drying characteristic but it should not be much because the supplied fresh JAT were in the range of maturity state and they were blanched before drying leading to the comparable texture. The variation in size of blanched samples would definitely affect on the drying characteristic but it should not be too much because they are slab shape due to the ratios between the width and thickness of the samples greater than 10. For the slab shape, the parameter that has the most influence on the drying characteristic is the thickness. In this study, the thickness of JAT is controlled to be 2 mm by setting the electric vegetable slicer.

As previously mentioned, the required drying time for drying JAT to the target moisture content ($\leq 8\%$ d.b or 0.08 g water/g dry solid) was similar (about 200 minute) although there were rather high variations in initial moisture content of blanched samples. Therefore, in this study the quality of dried JAT should not be obviously influenced by the variation in initial moisture content. The main parameters that normally affect on the quality of samples are drying temperature and drying time.

To sum up, even though the variations in initial moisture content of blanched samples might have some influence on the drying characteristics and quality of dried JAT, the influence should not be sufficiently intensive to cause the inapplicability of the result. Therefore, the results obtained in this study could be applicable.

Editor's comment : Line 336: Reword 'A plenty of surface area'

Authors' reply: The authors reworded "A plenty of surface area" to "This high specific surface area" as the editor's comment.

Editor's comment : Line 376: change to 'when the drying temperature was raised to 140C and 160C.

Authors' reply: The authors corrected the statement as the editor's comment.

Editor's comment : Line 378: Spelling of 'moisute'

Authors' reply: The authors corrected spelling of the word "moisute" to "moisture" as the editor's comment.

Editor's comment : Since there were significant differences in the values of moisture contents for repeated experiments, which sample (and associated data set) was used for quality determination, thin layer modelling, moisture diffusivity determination and sugar/FOS/fructans determination?

Authors' reply: The authors added more details in order to explain which sample was used for quality determination, thin layer modelling, moisture diffusivity determination and sugar/FOS/fructans determination.

For quality determination of dried JAT using a tray dryer, in terms of color and microstructure, samples prepared from blanching pretreatment in section 2.2.1 were used. The statement "The decision to blanch or not for the further tray drying experiment was made after comparing the drying characteristics and quality (color and microstructure) of the samples." was added as the last sentence of section 2.2.1.

For tray drying experiment (section 2.2.2), the experimental results were used to compare the drying kinetics and to develop thin-layer drying models. The first content of section 2.2.2 was revised to "After the blanching pretreatment study, the selected pretreatment condition was applied in tray drying experiment. For tray drying, the JAT samples weighing approximately 3 kg per batch were spread in a single layer on the cotton fabric and placed on stainless steel trays. The samples were dried at three drying temperatures of 55°C, 65°C and 75°C until they reached the moisture contents equal or less than 8% dry basis (d.b.) in order to compare the drying kinetics and to develop thin-layer drying models.". The result from Figure 5 was used to develop thin-layer drying models. Although the initial moisture content of blanched JAT samples were different as illustrated in Figure 5, they do not intensively influence on the model development because the moisture ratio (MR) was used for the model fitting. The initial moisture ratio calculated by the equation (1) would be always equal to 1. So, the tendency of the drying characteristics would not be influenced too much by initial moisture content.

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_i - M_e} \quad \dots(1)$$

Where M_t is the moisture content at any time t during drying (% d.b.), M_i is the initial moisture content (% d.b.), M_e is the equilibrium moisture content (% d.b.).

For the moisture diffusivity determination, the prediction data from thin-layer drying model was used. The sentence after equation 6 was revised to “Typically, the effective moisture diffusivity was calculated using the method of slope (Sacilik, 2007; Jittanit, 2011) by plotting the prediction data of the best-fitting model in terms of $\ln MR$ versus drying time.”.

In case of sugars, fructo-oligosaccharide and fructans determination, the blanched JAT sample was dried with a tray dryer at 65 °C because it was the suitable drying condition. Dried JAT was ground, extracted and analysed the amount sugars, fructo-oligosaccharide and fructan. The detail of selected sample and quality determination was presented in the second paragraph of section 2.2.3. Moreover, although there were significant differences in the values of moisture contents for repeated experiments, it would not affect on the results of sugars, fructo-oligosaccharide and fructans contents because they were determined in dry basis as shown in Table 4.

The 1st reviewer

Comments for the Author

Authors addressed most of the questions and suggestion for change. However, the following two points needs to be addressed before publication:

Reviewer’s comment : Abstract: The authors still did not correct the order of presentation pointed out in the first review. The WHY of a study should precede HOW. What you set out to achieve and why you set out to achieve should precede how you went about your activities.

Authors’ reply: The authors revised the abstract as the editor and the 1st reviewer’s comment.

Reviewer’s comment : The authors bluntly refused to address the issue of unnecessarily digression to another produce “chicory” which has no bearing whatsoever with the objectives of the study presented except that it is another source of inulin. If chicory was going to be mentioned at all in the manuscript, it should be in the context of being another example source of inulin and it comparison should be made in the context of inulin content compared to JAT. Please see lines 40, 41 and 59.

Authors’ reply: The authors agree with the 1st reviewer comment. It is unnecessarily to address about chicory root without the context of inulin content compared to JAT from this study. Therefore, the authors deleted the following statement;

“Meijer and Mathijssen (1993) and Simonovska (2000) claimed that Chicory root and Jerusalem artichoke (JA) are plants rich in inulin and appropriate candidate crops for inulin production. The inulin content of chicory root ranges between 15%-20% whereas that of Jerusalem artichoke tubers (JAT) is 14%-19%. (Van Loo et al., 1995)”

and

“Nowadays, commercial inulin powder sold in the market is produced from chicory root and used as a functional food ingredient, offering both nutritional properties (fiber enrichment, proven prebiotic, reduced calories intake, etc.) and technical functional benefits (sugar/fat replacer, enhancing stability) (Vokov et al., 1993; Ninness, 1999; Roberfroid, 2007).”

as the 1st reviewer comment.

For Review Only

Comparison between Hot Air and Superheated Steam Drying of Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) Tubers and the Inulin Powder Production

Krittiya Khuenpet^a, Weerachet Jittanit^{a*}, Sarote Sirisansaneeyakul^b

^aDepartment of Food Science and Technology, Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University, 50 Ngam Wong Wan Road, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

^bDepartment of Biotechnology, Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University, 50 Ngam Wong Wan Road, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

*Corresponding author, e-mail: fagiwcj@ku.ac.th

Abstract

Jerusalem artichoke tubers are rich of inulin which can be applied in food as prebiotics and dietary fiber supplement. In this study, the hot air and superheated steam drying of Jerusalem artichoke tubers (JAT) were compared. The hot air drying was carried out at 55°C, 65°C and 75°C while the superheated steam drying temperatures were 120°C, 140°C and 160°C. The JAT samples from a selected drying condition were used for manufacturing not only JAT powder but also inulin powder by applying extraction process. The aims of this research were (1) to compare the quality of blanched and unblanched JAT dried under different conditions in terms of moisture content, color and microstructure, (2) to investigate the drying kinetics of JAT under hot air and superheated steam drying and (3) to determine the chemical compositions of JAT powder and inulin extracted from JAT powder. The result indicated that the superheated steam drying was inappropriate for JAT due to too long drying time and product color. For the hot air drying, Page's model and Modilli *et al.* model were the best-fitting models due to their highest R^2 and lowest $RMSE$ while the effective moisture diffusivity (D_{eff}) ranged from 1.56×10^{-10} to 3.14×10^{-10} m²/s. Additionally, the extraction process applied in this work could raise the inulin content from 39.09 g/100 g (d.b.) in JAT powder to 56.29 g/100 g (d.b.) in inulin powder sample.

Keywords: drying model, inulin, Jerusalem artichoke, superheated steam drying, tray dryer

1. Introduction

Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) is a native species of sunflower in eastern region of North America. The origin of Jerusalem artichoke can be traced to Canada but it is now widely cultivated in the temperate regions of the world. During the last few

decades, it was found that many varieties of Jerusalem artichoke (JA) were bred, developed and could be successfully grown in Thailand especially in the northeastern region (Vorasoont and Jogloy, 2006; Tanjor *et al.*, 2012). According to the study of Judprasong *et al.* (2011), JA grown in Thailand is a potential source of inulin-type fructans. It shows a rather high inulin content of 19.5 g/100 g fresh weight. Chaito *et al.* (2014) reported that inulin was fortified into various commercial food products in Thailand during 2008 to 2013; for example, weight control diet, instant coffee mix, instant beverage, supplemented food products for pregnant, milk, soy milk and fruit juice whereas JAT powder was identified as an excellent source of dietary fiber. The extraction of inulin from the plant tissue is similar to extraction of sucrose from sugar beets because inulin is soluble in hot water. The inulin production process involves three general steps: the first is extraction of raw inulin by hot water diffusion, followed by purification of the inulin extract and then drying of the purified juice to a pure inulin powder (Angus *et al.*, 2005).

Inulin represents a mixture of oligo- and/or polysaccharides composed of fructose unit joined by β -(2 $\rightarrow$ 1) D-fructosyl-fructose bonds and terminated with a glucose unit by α -D-glucopyranosyl bond (Blecker *et al.*, 2002; Ronkart *et al.*, 2007). In general, formation of inulin is GF_n where G is glucose, F is fructose and n is the number of fructose molecules. The degree of polymerization (DP) varies from 2 to 60 units (Van Loo *et al.*, 1995; Judprasong *et al.*, 2011) depending on various factors such as species, harvesting maturity, storage time and production conditions. (Saengthongpinit and Sajjaanantakul, 2005; Stanley and Nottingham, 2007). Molecules with $DP < 10$ are so-called fructo-oligosaccharides (FOS) (Sirisansaneeyakul *et al.*, 2007).

The manufacture of inulin from domestically grown JAT in Thailand has been considered as a potential option for the food business in the region to replace the import of inulin powder from the European companies. Moreover, the JAT powder produced from grinding the dried JAT could be sold as a supplementary food due to its inulin and other nutrient contents.

Drying is a vital process for lengthening the storage life of harvested Jerusalem artichoke tubers before they are processed because it enables factories to efficiently manage raw material procurement, inventory and production. After harvesting, primary processing such as blanching will be required in order to inactivate inulinase and polyphenol oxidase (PPO) enzymes that degrade inulin and cause color change (Modler *et al.*, 1993; Takeuchi &

Nagashima, 2011). Hot air drying is widely used in food processing to reduce moisture content but have disadvantages such as low efficiency and product quality. A novel drying treatment, superheated steam drying, which combines blanching and drying processes together might be suitable for some food production due to the possibility of the processing time reduction, more functional compounds being preserved and better physical properties such as color, shrinkage, microstructure and texture (Niamnuy *et al.*, 2011; Srisang *et al.*, 2011). Superheated steam at atmospheric pressure is an alternative drying medium for dehydrating materials insensitive to temperature at or above 100°C (Tang and Cenkowski, 2000).

Mathematical models especially thin-layer drying models have been widely used for predicting the moisture content change of food materials during drying (Doymaz, 2012). Moisture diffusion is deemed as the dominant mechanism that restraints the drying rate of food materials during falling rate period. The effective moisture diffusivity of product is the imperative physical property indicating how fast the moisture can transfer from inside to the surface of product. Wang and Brennan (1992) pointed out that drying of most food materials commonly occur in the falling rate period. It means that the moisture transfer during drying is controlled by internal diffusion. The internal diffusion during the falling rate period for most food materials was described by the Fick's second law of diffusion (Crank, 1975). In this study, JAT samples were pretreated and then dried using a tray dryer and superheated steam dryer under various conditions. The thin-layer drying models were also developed together with effective moisture diffusivity determination. After drying, JAT samples from a selected drying condition were used to manufacture JAT powder. An extraction process was then applied to obtain inulin powder from the JAT powder. The objectives of this research were to: (1) compare the quality (moisture content, color and microstructure) of blanched and unblanched JAT dried under different conditions, (2) investigate the drying kinetics of JAT under hot air and superheated steam drying, and (3) determine the chemical compositions of JAT powder and inulin extracted from JAT powder. The outcome of this research would be beneficial to the entrepreneur who intend to manufacture either JAT powder or inulin.

2. Materials and Methods

2.1 Sample preparation

The fresh JAT variety JA 102 was supplied by Agro-Ecological System Research and Development Institute, Kasetsart University (Petchaboon Research Station), Thailand. Initially, JAT samples were soaked in tap water for 30 min and then washed in order to eliminate soil materials that adhered to the surface of the samples. Then, washed samples were sliced using a “Robot Coupe” electric vegetable slicer model R502 (Owner Foods Machinery Co. Ltd., Bangkok, Thailand) with the setting slice thickness of 2 mm and immediately immersed in 0.5% w/v citric acid solution for 5 min to prevent enzymatic browning. After that, the excess water was drained out of the samples by placing them on a sieve for 10 min.

2.2 Pre-treatment and drying experiments

2.2.1 Blanching pretreatment

The effects of blanching on the drying time and appearance of JAT were investigated in this study in order to determine whether the blanching step should be included in the sample preparation process prior to drying. The JAT samples prepared by the procedure previously described were (1) unblanched (as controls) and (2) blanched in boiling water for 2 min (Takeuchi and Nagashima, 2011), subsequently cooled down by soaking in tap water for 10 min, followed by draining the excess water by placing them on a sieve for 10 min. Then, both samples were dried using a tray dryer (Reliance Tech-Service Co., Ltd., Thailand) at 65°C to compare their drying characteristics and quality in terms of color and microstructure. The methodologies for color, microstructure and moisture content determination are described in section 2.3. The decision to blanch or not for the further tray drying experiment was made after comparing the drying characteristics and quality (color and microstructure) of the samples.

2.2.2 Tray drying

After the blanching pretreatment study, the selected pretreatment condition was applied in tray drying experiment. For tray drying, the JAT samples weighing approximately 3 kg per batch were spread in a single layer on the cotton fabric and placed on stainless steel trays. The samples were dried at three drying temperatures of 55 °C, 65°C and 75°C until they reached moisture contents equal or less than 8% dry basis (d.b.) in order to compare the drying kinetics and to develop thin-layer drying models. During drying experiments, approximately 20 g of samples were randomly collected from the top, middle and bottom

trays for the moisture content determination at specified times as follows: every 15 min for the first hour, every 30 min for the next 3 hours, and every 1 hour thereafter. The drying experiments were conducted in duplicate.

2.2.3 Superheated steam drying

In addition to tray drying, the JAT samples were also dried in a superheated steam dryer which was designed by the Department of Food Science and Technology, Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University in Thailand. Its schematic diagram is shown in Figure 1 (a). The heat to the boiler was supplied by the electric heater. Before loading samples into the drying chamber, the system was warmed up by circulating the hot air. After loading the samples, the superheated steam was supplied into the system in order to purge the air out of the system and become the drying medium. Superheated steam drying experiments were performed at 120°C, 140°C and 160°C. The unblanched samples were used for the superheated steam drying experiments because the application of superheated steam during drying would result in the enzyme inhibition similarly to steam blanching. The total JAT samples of approximately 350 g were spread as a single layer on the cotton fabric and placed on all three stainless steel trays. The direction of superheated steam flow and sample positions 1 to 9 are presented in Figure 1 (b). During drying experiments samples of approximately 6 g were collected from each position for the moisture content determination at 0, 2, 4 and 6 h. Also, the color and microstructure of dried samples were determined. The procedures of moisture content, color and microstructure determinations are described in section 2.3.

After comparing their drying characteristics and quality with those of tray drying, the suitable drying condition was determined. The dried samples were ground into JAT powder by two milling steps using Fitz mill model M5 (The Fitzpatrick Company, USA) and Alpine Augsburg pin mill type 160Z (Alpine American Corporation, Natick, MA). The JAT powder was screened using 60 and 80 mesh sieves after the 1st stage milling in the Fitz mill and the 2nd stage milling in the pin mill respectively. The JAT powder was also used for inulin extraction. The chemical compositions of the powder with regard to sugar, fructo-oligosaccharide (FOS) and inulin-type fructans were then quantified.

2.3 Quality determinations of dried JAT

The quality parameters of dried JAT were quantified that consist of moisture content, color and microstructure. The moisture contents were determined by the oven method using 2 g of sample and 105°C drying air temperature for 24 h (AOAC, 2005). The colors of samples were measured by a Hunter Laboratory MiniScan XE colorimeter (Hunter Associates, Reston, VA) in the L^* , a^* , b^* scale. L^* represents lightness ($0 \leq L \leq 100$), while $a^*(+)$, $a^*(-)$, $b^*(+)$ and $b^*(-)$ represent redness, greenness, yellowness, and blueness respectively. The colorimeter was calibrated with a standard white tile using illuminant D65 and the 10° standard observer. Both moisture content and color determinations were carried out in triplicate.

For the microstructure investigation, the dried JAT samples were cut and mounted on brass specimen stubs using an electrically conductive double-sided adhesive tape. Then samples were sputtered with gold (SCD 040, Balzer Union, Switzerland) prior to the microstructure observation by the “JEOL” scanning electron microscope (SEM) model JSM-6610LV (Seal Laboratories, USA). The magnifications of 100-500 times and accelerating voltage of 15 kV were applied using the signals of secondary and backscattered electrons (Totosaus and Perez-Chabela, 2009).

2.4 Development of thin-layer drying models

The data obtained from drying experiments were used to develop the thin-layer drying models. The models would be useful for estimating the required drying time for each batch of JAT. The moisture ratio (Eqn. 1) and drying time data were fitted into the thin-layer drying models presented in Table 1. The equilibrium moisture contents of the samples at different drying temperatures were determined by drying the samples in a tray dryer until no weight changes were observed. For the model fitting, the moisture ratio (MR) was considered as the dependent variable.

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_i - M_e} \quad \dots(1)$$

Where M_t is the moisture content at any time t during drying (% d.b.), M_i is the initial moisture content (% d.b.), M_e is the equilibrium moisture content (% d.b.).

The data from the drying experiments was fitted by non-linear regression procedure using the software Statistica 5.5 (StatSoft, Inc. Tulsa, OK 74104 USA) to obtain coefficient of the models listed in Table 1. The statistical validity of the models was evaluated and

compared by estimating the coefficient of determination (R^2) (Eqn. 2) and root mean square error ($RMSE$) (Eqn. 3).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Measured } MR \text{ value} - \text{Predicted } MR \text{ value})^2}{\sum_{i=1}^n (\text{Measured } MR \text{ value} - \text{Average } MR \text{ value})^2} \quad \dots(2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{Measured } M_t \text{ value} - \text{Predicted } M_t \text{ value})^2}{n}} \quad \dots(3)$$

2.5 Determination of effective moisture diffusivity

The effective moisture diffusivity is the physical property that indicates the rate of moisture transfer from inside to the surface of a product and therefore important for predicting the drying process. Moisture diffusivity is a function of drying temperature and product moisture content (Liu *et al.*, 2009). The thickness of JAT samples was 2 mm whereas their minimum width and length were 25 and 50 mm respectively; so, it was assumed to be slab shape. According to Sacilik (2007), for the determination of moisture diffusivity, the samples were considered as slab geometry if their length and width are much greater than its thickness. Similarly, Vaccarezza (1974) stated that no serious error for slab shape hypothesis is introduced when the ratio between the width and thickness of the slab is larger than 10. The analytical solution of Fick's second law of diffusion for slab shape material, with the assumptions of moisture transfer occurring by diffusion, negligible shrinkage, constant diffusion coefficients and temperature was as per following equation (Crank, 1975).

$$MR = \left(\frac{8}{\pi^2} \right) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left(- \frac{\pi^2 (2n+1)^2 D_{eff} t}{4H^2} \right) \quad \dots(4)$$

Where D_{eff} is the effective moisture diffusivity (m^2/s), t is the drying time (s) and H is the half-thickness of the slab (JAT sample), 1×10^{-3} m.

Expansion of the first three terms ($n = 0, 1$ and 2) of equation (4) results in equation (5):

$$MR = 0.81057 e^{-2.4674 N_{Fo}} + 0.09006 e^{-22.2066 N_{Fo}} + 0.0324 e^{-61.685 N_{Fo}} \quad \dots(5)$$

Where N_{F0} is Fourier number $\left(\frac{D_{eff}t}{H^2}\right)$. As described by Sacilik (2007), Saykova *et al.* (2009) and Jittanit (2011), it appears clearly that the first term of the series solution in equation (5) dominates the rest. Then, the natural logarithmic of the equation (5) can be expressed as shown in equation (6).

$$\ln(MR) = \ln(0.81057) - 2.4674 \left(\frac{D_{eff}t}{H^2} \right) \quad \dots(6)$$

Typically, the effective moisture diffusivity was calculated using the method of slope (Sacilik, 2007; Jittanit, 2011) by plotting prediction data of the best-fitting model in terms of $\ln MR$ versus drying time.

$$D_{eff} = \frac{-slope}{\left(\frac{2.4674}{H^2} \right)} \quad \dots(7)$$

2.6 Inulin extraction

The procedure of inulin powder production from JAT powder is illustrated in Figure 2. The JAT powder produced under the suitable condition investigated from the previous section was used as the raw material for inulin extraction. Inulin was extracted from the JAT powder using hot water 85°C for 30 min with the ratio of powder to water being 1:35 (w/w). After that, the extract was cooled down under ambient conditions and its sediment separated using a basket centrifuge at 1,500 rpm. The inulin extract was then concentrated to 30 °Brix by boiling it on a hot plate under stirring. The last step was spray drying by a “NIRO” small-scale spray dryer model “Mobile Minor 2000” (GEA Process Engineering Inc., USA) using the inlet and outlet drying at 150°C and 90°C respectively. The inulin powder was analyzed with regard to its chemical composition in terms of sugar, fructo-oligosaccharide (FOS) and inulin-type fructans in order to compare with JAT powder.

2.7 Sugar, fructo-oligosaccharide (FOS) and inulin-type fructans determination

The sugar, FOS and inulin-type fructans contents in JAT powder and inulin powder were determined following the method of AOAC (2005, 997.08). Initially, total sugars, FOS and inulin-type fructans were extracted from powder samples by applying hot water at 85°C. FOS and inulin-type fructans in a portion of extract were hydrolysed by inulinase. Both, hot water extracted samples and enzyme hydrolysed fractions were derivatised by oxymation and

silylation reactions. Individual sugars were then determined by high-temperature gas chromatography (Joye and Hoebregs, 2000; Judprasong *et al.*, 2011).

2.8 Statistical analysis

The software package of SPSS version 12.0 was used for the analysis of variance (ANOVA) and a Duncan's multiple range test in the statistical analysis.

3. Results and Discussion

3.1 Blanching pretreatment

The effects of blanching on the drying time are illustrated in Figure 3. It was clear that the initial moisture content of JAT samples after blanching was higher than that of unblanched sample about 2 times. It appears that although their initial moisture contents were considerably different, the moisture contents of both samples decreased sharply during the initial drying period and reached the desired final moisture content of 8% d.b. at almost the same time which was around 240 min. This phenomenon can be explained by the fact that blanching resulted in tissue softening thereby enhancing moisture transfer rate from inside to the surface of JAT.

The appearance of unblanched and blanched samples after drying is shown in Figure 4 while the measured color values are presented in Table 2. It was noticed that the blanched JAT samples has more intense color than its unblanched counterpart. According to the study of Bach *et al.* (2013), JAT color turned to be grey after boiling due to after-cooking darkening reactions between iron and phenolic acids. Furthermore, the non-enzymatic browning reaction such as Maillard reaction occurring during blanching would be another reason for the darker color of blanched sample because heat could accelerate this browning reaction. Although after drying blanched sample had more intense color, Takeuchi and Nagashima (2011) found that blanching at or above 60°C could inactivate inulase which caused the inulin degradation in JAT during storage. Prestamo *et al.* (1998) pointed out that the benefits of blanching are not only to inactivate enzymes, destroy vegetative microbial cells but also elimination of off-flavor. Blanching was included as part of the sample preparation for hot air drying experiments due to the similarity of drying time between unblanched and blanched JAT samples and the aforementioned benefits of drying.

3.2 Tray drying

275 Blanché JAT samples were exposed to hot air at temperatures of 55°C, 65°C and
276 75°C in order to compare the drying kinetics and fit the thin-layer drying model.

277 The drying curves in Figure 5 illustrate that the initial moisture contents of JAT
278 samples ranged from 6.68 to 8.17 $\text{g}_{\text{water}}/\text{g}_{\text{dry solid}}$ (668 to 817% d.b.). These moisture contents
279 were lower than those of blanched samples in Figure 3. This should be due to the variation of
280 each sliced JAT sample with regard to size, maturity and subsequently blanching effect.
281 Although there was disparity in the initial moisture content of samples, the moisture contents
282 were decreasing and became comparable after 200 min. It is because most moisture of the
283 samples was free moisture that could be easily removed. Moreover, the shape of JAT slices,
284 which was considered as a slab because the ratios between the width and thickness of the
285 samples were greater than 10, had a high specific surface area. This high specific surface area
286 could facilitate the moisture removal. After reaching a lower moisture content, the drying rate
287 would be limited by the moisture diffusion rate from inside to the surface of samples
288 resulting in the similarity of moisture contents at the later drying stage even if the drying
289 temperature was raised from 55°C to either 65°C or 75°C.

290 Nonetheless, the drying curves apparently showed that during the first 3 h of drying
291 process, drying temperature of 65°C caused a faster moisture removal than that of 55°C but
292 the increase of drying temperature from 65°C to 75°C could not obviously raise the moisture
293 removal rate. The results are similar to the earlier observations on drying of persimmon slices
294 (Doymaz, 2012) and apple slices (Rayaguru and Routray, 2012). In addition, it appears that
295 the drying times required in order to reach the desired final moisture content of 8% d.b. were
296 480, 240 and 210 min for drying air temperatures of 55°C, 65°C and 75°C, respectively. The
297 experimental result of tray drying affirmed that drying at 65°C was appropriate for blanched
298 JAT samples due to its much shorter drying time than that of 55°C but not much longer than
299 75°C leading to the energy saving. Thus, this drying temperature was chosen for the
300 comparison with the superheated steam drying.

301 3.3 Superheated steam drying

302 Apart from tray drying, the JAT samples were also dried in the superheated steam dryer
303 at 120°C, 140°C and 160°C and the results are shown in Figure 6. As previously described,
304 the JAT samples prepared for the superheated steam drying were not blanched. So, the initial
305 moisture contents of samples ranged between 3.84 to 4.72 $\text{g}_{\text{water}}/\text{g}_{\text{dry solid}}$ (384 to 472% d.b.)
306 which were lower than those of blanched samples. According to Figure 6, it was observed

that there was variation in moisture content between samples located in different positions (1 to 9) in the drying chamber for all superheated steam temperatures. In case of 120°C, the moisture content of samples in position 1 which were located in zone 1 significantly increased in the first 2 h and then slightly decreased after drying for 4 and 6 h; however, the moisture content after 6 h was still higher than its initial moisture content. This phenomenon happened because of the steam condensation occurring during an early period of superheated steam drying since the drying material temperature was much lower than the superheated steam temperature (Nimmol *et al.*, 2007). This occurrence would be considerable of magnitude if the magnitude of superheat was not large enough as in case of applying superheated steam at 120°C. In other words, the condensation would be significant after the steam transferred its heat to the sample surface when the temperature of the superheated steam was close to its dew point temperature. The steam condensed on the sample surface in the drying chamber, especially in zone 1, could not be rapidly removed because the superheated steam lost its heat when moving along the sample surface in zone 3 and 2 respectively. This phenomenon was less pronounced when the drying temperature was raised to 140°C and 160°C.

In this study, the increase of superheated steam temperature from 120°C to 160°C had a considerable impact on the moisture loss due to the difference in the degrees of superheat. The degree of superheat is defined as the difference between the temperature of the superheated steam and its saturation temperature (Tang and Cenkowski, 2000). The lowering of the condensate-surface temperature difference is correlated with degree of superheat. (Balekjian and Katz, 1958). As the degree of superheat is raised, the condensate-surface temperature difference would decrease. When considering the drying at 140°C and 160°C, the trends of drying curves were similar to that of 120°C but the moisture loss occurred faster. This was due to the fact that higher degrees of superheat generate larger driving force for heat/mass transfer (Pimpaporn *et al.*, 2007). Although the drying temperatures of 140°C and 160°C could raise the drying rate, the final moisture contents of samples after 6 h drying remained much higher than the target moisture content ($\leq 8\%$ d.b). The moisture contents of samples after drying at 140°C for 6 h and 160°C for 4 h were in the range of 22 – 334% and 14 - 216% d.b. respectively depending on the sample positions in the drying chamber. The samples could not be dried at 160°C for 6 h because the color and texture could not be accepted due to their extreme darkness and softness.

3.4 Quality determinations of dried JAT

The appearances of samples after tray drying and superheated steam drying are shown in Figure 4 while the measured color values are presented in Table 2. It was clear that the JAT samples dried by tray dryer had better appearance than those of superheated steam dryer. Also, it was noticed that sample location significantly ($p < 0.05$) affected the sample color. In case of zone 3 (positions 3, 6 and 9) which was close to the entrance of superheated steam, the color of samples became darker and changed from pale yellow to dark brown. The browning was possibly due to Maillard reaction. It occurred after the slices were exposed to a high temperature environment of superheated steam drying for 6 and 4 h at steam temperatures of 140°C and 160°C, respectively. Non enzymatic browning reactions such as the Maillard reaction which is interaction between reducing sugars and amino acids, accelerated by high drying temperature were likely to be the cause of the dark brown color (Niamnuy *et al.*, 2007; Bains and Langrish, 2009). Additionally, caramelization should be another reason of dark color because of sugar content in JAT sample and high temperature of superheated steam. These colors were unacceptable for dried JAT samples. According to Bach *et al.* (2013), JAT became dark after boiling due to a non-enzymatic reaction. This darkening occurred when tubers were exposed to air after cooking. During cooking, a complex of Fe^{2+} and *o*-diphenolic acid was formed. When exposed to air, this complex was oxidised to a bluish-grey Fe^{3+} -*o*-diphenolic acid complex (Hughes *et al.*, 1962). JAT have a high iron content (Terzic' *et al.*, 2012) resulting in a potential for developing after-cooking darkening. The darkening does not affect product flavor or nutritional value; however, it causes an undesirable appearance of the product (Wang-Prusky and Nowak, 2004).

Referring to the color values in Table 2, for each superheated steam temperature, the colors of samples collected from zone 1 were significantly lighter than those of zone 2 and 3 ($p < 0.05$). The redness values of dried JAT slices was also significantly affected by both, the drying temperature and drying zone. The yellowness values of samples in zone 1 and 2 ranged from 14.54 to 23.69 whereas for zone 3 they were only 2.48 to 6.42. Comparing to superheated steam drying, the color values of samples dried by tray dryer at 65°C were less intense. These results are in agreement with the photographs in Figure 4.

The microstructures of dried JAT samples subjected to three treatments were observed by SEM are illustrated in Figure 7. The micrographs show that at the surface of unblanched and blanched tray dried JAT slices, polygonal cell wall structures with deep pores could be observed; however, the cross sectional micrographs of tray dried JAT slices from both treatments were clearly different. The blanched sample seemed to be thinner due to the

collapse of cells and pores of the sample during hot water blanching. More porous microstructure in the blanched sample was also found. This occurred due to the fast moisture transport from inside to outside during drying process leading to more cracks inside the structure. According to Waldron *et al.* (2003), Canet *et al.* (2005) and Hiranvarachat *et al.* (2011), once moisture started to migrate from the cells, the cell walls begin to shrink, leading the cells to crumple and consequently causing the collapse of the cell structure.

As previously discussed, condensation occur on the surface of sample dried in superheated steam. The exposure of material surface at considerably high temperature for long drying time resulted in the surface collapse and then the formation of a denser layer on the surface because most of compositions of dried JA is inulin (Van Loo *et al.*, 1995) that usually melts at high temperature. Furthermore, the cross-sectional micrographs of sample dried in superheated steam show that it was not as porous as the tray dried samples. This should be due to the slow moisture removal rate during drying in superheated steam leading to less cracks and lower porosity inside the structure. Moreover, the melting of inulin during superheated steam drying would be another cause of this compact microstructure.

3.5 Thin-layer drying models

After comparing the drying characteristics and quality of the air dried samples (tray dryer) and those subjected to superheated steam drying, it was obvious that the tray drying was more appropriate for JAT samples because of its shorter required drying time and superior appearance. Thus, the thin-layer drying models for tray drying of JAT samples were developed by fitting the drying experimental data to mathematical models that are presented in Table 1 by non-linear regression. The results of model fitting are presented in Table 3. The best models describing the thin-layer drying characteristics of blanched JAT slices were Page's model and Midilli *et al.* model due to their highest R^2 and lowest $RMSE$ values. This finding was similar to the earlier observation of Porniammangkol *et al.* (2013) who developed the thin layer drying models for drying JAT slices in hot air oven at 60°C, microwave oven and open air. Also, Page's model and Midilli *et al.* model were the best fitting models for persimmon slices (Doymaz, 2012) and tomato slices (Garavanda *et al.*, 2011).

3.6 Effective moisture diffusivity

The values of the effective moisture diffusivity during tray drying were calculated using the method of slope as previously described. The D_{eff} values were 1.56×10^{-10} , 1.91×10^{-10} and $3.14 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ for drying temperatures of 55°C , 65°C and 75°C respectively. It was noted that D_{eff} values were escalated with increasing drying temperatures. Xiao *et al.* (2010) pointed out that when samples were dried at higher temperature, increased heating energy would increase the activity of water molecules leading to higher moisture diffusivity.

3.7 Sugar, FOS and inulin-type fructans in JAT and inulin powders

The JAT samples dried in the tray dryer at 65°C for 6 h were ground to be JAT powder. The JAT powder was also used for inulin extraction and determination of the chemical composition in terms of sugar, FOS and inulin-type fructans. Bohm *et al.* (2005), Glibowski & Bukwska (2011) and Luo *et al.* (2011) pointed out that when $\text{pH} \geq 5$, inulin has high stability even at high processing temperature. However, if the $\text{pH} \leq 4$, inulin stability would decrease with an increase of heating time and temperature. In this study, the samples did not expose to the high acidic environment; therefore, the chance that the thermal processes such as blanching and hot water extraction would affect on the chemical compositions of the inulin powder should be little. The results of determination of the chemical compositions are presented in Table 4. It appears that JAT powder and JA inulin powder contained sum of soluble sugars (fructose, glucose and sucrose) of 10 and 23.62 g/100 g (d.b.), respectively. The JAT and inulin powders contained merely little amount of fructose and glucose. According to Takeuchi and Nagashima (2011), JAT slices blanched in hot water for 120 s would lose some water-soluble materials such as one-third of the total soluble saccharides. About 15.8 and 23.19 g/100 g d.b. of total FOS (GF_2 , GF_3 and GF_4) were found in JAT powder and inulin powder, respectively. As expected, after inulin extraction process, the inulin powder contained higher proportions of FOS and inulin-type fructans than JAT powder. In other words, the extraction process could eliminate the impurities in JAT powder in order to produce more purified inulin powder. Inulin powder could be used as a functional food ingredient, offering both nutritional properties and technical benefits (Vokov *et al.*, 1993; Ninness, 1999; Roberfroid, 2007).

4. Conclusions

The blanching process should be applied for the JAT sample preparation. Although the moisture content of JAT samples increased after blanching, the required drying times for unblanched and blanched samples were comparable. The SEM micrographs showed that

more porous microstructure was found in the JAT sample that was blanched and dried in a tray dryer whereas the superheated steam drying caused a denser microstructure. Tray drying was more appropriate for JAT samples than superheated steam drying because of its shorter required drying time and superior appearance. The best models describing the thin-layer drying characteristics of blanched JAT slices were Page's model and Midilli *et al.* model due to their highest R^2 and lowest $RMSE$ values. The effective moisture diffusivity during tray drying ranged from 1.56×10^{-10} to $3.14 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$. The extraction process applied in this work could eliminate the impurities in JAT powder in order to produce more purified inulin powder. The outcome of this research was useful for the JAT powder or inulin manufacturers.

Acknowledgement

This research was jointly funded by Kasetsart University and the Thailand Research Fund.

References

- Agrawal, Y. C., and R. D. Singh. 1977. Thin layer drying studies on short grain rice. *ASAE Paper No: 3531*, ASAE, St. Joseph, MI.
- Angus, F., S. Smart and C. Shortt. 2005. Prebiotic ingredients with emphasis on galactooligosaccharides and fructo-oligosaccharides. *In: Tamime AY, editor. Probiotic dairy products*. Oxford: Blackwell Publishing. 120–137.
- AOAC, 2005. *Official Method of Analytical of AOAC International, 18th Edition*. Method: 990.19 and 997.08. AOAC International, Maryland, USA.
- Ayensu, A. 1997. Dehydration of food crops using a solar dryer with convective heat flow. *Sol. Energ.* 59(4–6): 121–126.
- Bach, V., S. Jensen, M. R. Clausen, H. C. Bertram, and M. Edelenbos. 2013. Enzymatic browning and after-cooking darkening of Jerusalem artichoke tubers (*Helianthus tuberosus* L.). *Food Chem.* 141: 1445–1450.
- Baini, R., and T. A. G. Langrish. 2009. Assessment of colour development in dried bananas – measurements and implications for modelling. *J. Food Eng.* 93(2): 177–182.
- Balekjian, G., and D. Katz. 1958. Heat Transfer from Superheated Vapors to a Horizontal Tube. *A.I.Ch.E. J.* 4(1): 43–48.

- 465 Blecker, C., C. Fougny, J. C. Van Herck, J. P. Chevalier, and M. Paquot. 2002. Kinetic
466 study of the acid hydrolysis of various oligofructose samples. *J. Agric. Food Chem.* 50(6):
467 1602–1607.
- 468 Bohm, A., I. Kaiser, A. Trebstein, and T. Henle. 2005. Heat-induced degradation of inulin.
469 *Eur. Food Res. Technol.* 220: 466–471.
- 470 Canet, W., M. D. Alvarez, P. Luna, C. Fernandez, and M. E. Tortosa. 2005. Blanching
471 effects on chemistry, quality and structure of green beans (cv. Moncayo). *Eur. Food Res.*
472 *Tech.* 220: 421–430.
- 473 Chaito, C., K. Judprasong and P. Puwastien. 2014. Inulin content of fortified food products in
474 Thailand. *Food Chem.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.140>
- 475 Crank, J. 1975. *The mathematics of diffusion*. Oxford University Press, London, UK.
- 476 Doymaz, I. 2004. Convective air drying characteristics of thin layer carrots. *J. Food Eng.* 61:
477 359–364.
- 478 Doymaz, I. 2012. Evaluation of some thin-layer drying models of persimmon slices
479 (*Diospyros kaki* L.). *Energ. Convers. Mgmt.* 56: 199–205.
- 480 Garavanda, A. T., S. Rafieea, and A. Keyhania. 2011. Mathematical Modeling of Thin Layer
481 Drying Kinetics of Tomato Influence of Air Dryer Conditions. *ITJEMAST.* 2(2): 147–160.
- 482 Glibowski, P., and A. Bukowska. 2011. The effect of pH, temperature and heating time on
483 inulin chemical stability. *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment.* 10(2): 189–196.
- 484 Henderson, S. M. 1974. Progress in developing the thin-layer drying equation. *Trans. ASAE*
485 17: 1167–1168, 1172.
- 486 Hiranvarachai, B., S. Devahastin, and N. Chiewchan. 2011. Effects of acid pretreatments on
487 some physicochemical properties of carrot undergoing hot air drying. *Food Bioprod.*
488 *Process.* 89: 116–127.
- 489 Hughes, J. C., J. E. Ayers, and T. Swain. 1962. After-cooking blackening in potatoes. 1–
490 Introduction and analytical methods. *J. Sci. Food Agric.* 13(4): 224–229.
- 491 Jittanit, W. 2011. Kinetics and the temperature dependent moisture diffusivities of pumpkin
492 seeds during drying. *Kasetsart J. (Nat. Sci.)*. 45(1): 147–158.
- 493 Joye, D., and H. Hoebregs. 2000. Determination of oligofructose, a soluble dietary fiber, by
494 high-temperature capillary gas chromatography. *J. AOAC Intl.* 83: 1020–1025.
- 495 Judprasong, K., S. Tanjor, P. Puwastien, and P. Sungpuag. 2011. Investigation of Thai plants
496 for potential sources of inulin-type fructans. *J. Food Comp. Anal.* 24: 642–649.

- 497 Liu, X., Z. Qiu, L. Wang, Y. Cheng, H. Qu, and Y. Chen. 2009. Mathematical modeling for
498 thin layer vacuum belt drying of *Panax notoginseng* extract. *Energ. Convers. Mgmt.* 50:
499 928–932.
- 500 Luo, D., W. Xu, J. Liu, and S. Liu. 2011. Acid-induced degradation behavior of inulin. *Adv.*
501 *Biomed. Eng.* 1-2: 59-61.
- 502 Meisami-asl, E., S. Rafiee, A. Keyhani, and A. Tabatabaefar. 2010. Drying of apple slices
503 (var.Golab) and effect on moisture diffusivity and activation energy. *Plant Omics J.* 3(3):
504 98–102.
- 505 Midilli, A., H. Kucuk, and Z. Yapar. 2002. A new model for single layer drying. *Dry. Tech.*
506 20(7): 1503–1513.
- 507 Modler, H. W., J. D. Jones and G. Mazza. 1993. Observations on long-term storage and
508 processing of Jerusalem artichoke tubers (*Helianthus tuberosus*). *Food Chem.*
509 48: 279-284.
- 510 Niamnuy, C., M. Nachaisin, J. Laohavanich, and S. Devahastin. 2011. Evaluation of
511 bioactive compounds and bioactivities of soybean dried by different methods and
512 conditions. *Food Chem.* 129(3): 899–906.
- 513 Niamnuy, C., S. Devahastin, and S. Soponronnarit. 2007. Effects of process parameters on
514 quality changes of shrimp during drying in a jet spouted bed dryer. *J. Food Sci.* 72(9):
515 553–563.
- 516 Nimmol, C., S. Devahastin, T. Swasdisevi, and S. Soponronnarit. 2007. Drying of banana
517 slices using combined low-pressure superheated steam and far-infrared radiation. *J. Food*
518 *Eng.* 81: 624–633.
- 519 Niness, K. R. 1999. Inulin and oligofructose: What are they? *J. Nutr.* 129: 1402S-1406S.
- 520 Pimpaporn, P., S. Devahastin, and N. Chiewchan. 2007. Effects of combined pretreatments
521 on drying kinetics and quality of potato chips undergoing low-pressure superheated steam
522 drying. *J. Food Eng.* 81: 318–329.
- 523 Porniammongkol, O., W. Duangkhamchan, and S. Inchuen. 2013. Evaluation of thin-layer
524 drying models for Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers in different drying
525 methods. *Suranaree J. Sci. Tech.* 21(1):47–58.
- 526 Prestamo, G., C. Fuster, and M. C. Risueno. 1998. Effects of blanching and freezing on the
527 structure of carrots cells and their implications for food processing. *J. Sci. Food Agric.*
528 77(2): 223–229.

- 529 Rafiee, S, M. Sharifi, A. Keyhani, M. Omid, A. Jafari and S. S. Mohtasebi. 2010. Modeling
530 effective moisture diffusivity of orange slices (Thompson Cv.). *Intl. J. Food Prop.* 13: 32–
531 40.
- 532 Rayaguru, K. and W. Routray. 2012. Mathematical modeling of thin layer drying kinetics of
533 stone apple slices. *Intl. Food Res. J.* 19(4): 1503-1510.
- 534 Roberfroid, M. B. 2007. Inulin-typed fructans: functional food ingredients. *J. Nutr.* 137:
535 2493S-2502S.
- 536 Ronkart, S. N., C. Deroanne, M. Paquot, C. Fournies, J. C. Lambrechts, and C. S. Blecker.
537 2007. Characterization of the physical state of spray-dried inulin. *Food Biophys.* 2:83–92.
- 538 Sacilik, K. 2007. Effect of drying methods on thin-layer drying characteristics of hull-less
539 seed pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). *J. Food Eng.* 79: 23–30.
- 540 Saengthongpinit, W., and T. Sajjaanantakul. 2005. Influence of harvest time and storage
541 temperature on characteristics of inulin from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*
542 L.) tubers. *Postharvest Biol. Tech.* 37(1): 93–100.
- 543 Saykova, I., G. Cwicklinski and P. Castelle. 2009. Analytical approach for predicting
544 effective diffusion coefficients in multidimensional slab geometry. *J. Univ. Chem.*
545 *Technol. Metall.* 44(1): 44-49.
- 546 Sharaf-Eldeen, Y. I., J. L. Blaisdell, and M. Y. Hamdy. 1980. A model for ear corn drying.
547 *Trans. ASAE* 23: 1261–1271.
- 548 Sirisansaneeyakul, S., N. Worawuthiyanan, W. Vanichsriratana, P. Srinophakun and Y.
549 Chisti. 2007. Production of fructose from inulin using mixed inulinases from *Aspergillus*
550 *niger* and *Candida guilliermondii*. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 23: 543–552.
- 551 Srisang, N., W. Varanyanond, S. Soponronnarit, and S. Prachayawarakorn. 2011. Effects of
552 heating media and operating conditions on drying kinetics and quality of germinated
553 brown rice. *J. Food Eng.* 107(3-4): 385–392.
- 554 Stanley, J.K. and S.F. Nottingham. 2007. *Biology and Chemistry of Jerusalem Artichoke:*
555 *Helianthus tuberosus* L. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- 556 Takeuchi, J. and T. Nagashima. 2011. Preparation of dried chips from Jerusalem artichoke
557 (*Helianthus tuberosus* L.) tubers and analysis of their functional properties. *Food Chem.*
558 126: 922-926.
- 559 Tang, Z., and S. Cenkowski. 2000. Dehydration dynamics of potatoes in superheated steam
560 and hot air. *Can. Agric. Eng.* 42(1): 6.1–6.13

- 561 Tanjor, S., K. Judprasong, C. Chaito, and S. Jogloy. 2012. Inulin and fructooligosaccharides in
 562 different varieties of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). *KKU Res. J.* 17(1):
 563 25-34.
- 564 Terzić, S., J. Atlagić, I. Maksimović, T. Zeremski, M. Zorić, V. Miklič, and I. Balalić.
 565 2012. Genetic variability for concentrations of essential elements in tubers and leaves of
 566 Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). *Sci. Hort.* 136: 135–144.
- 567 Totosaus, A., and M. L. Perez-Chabela. 2009. Textural properties and microstructure of low-
 568 fat and sodium-reduced meat batters formulated with gellan gum and dicationic salts. *LWT*
 569 *Food Sci. Technol.* 42: 563–569.
- 570 Troncoso, E., and F. Pedreschi. 2007. Modeling of textural changes during drying of potato
 571 slices. *J. Food Eng.* 82: 577–584. Vaccarezza, L. M., J. L. Lombardi and J. Chirife. 1974.
 572 Kinetics of moisture movement during air drying of sugar beet root. *J. Food Technol.* 9:
 573 317-327.
- 574 Van Loo, J., P. Coussemant, L. D. Leenheer, H. Hoebregs, and G. Smits. 1995. On the
 575 presence of inulin and oligofructose as natural ingredients in the western diet. *Crit. Rev.*
 576 *Food Sci. Nutr.* 35: 525–552.
- 577 Vokov, K., M. Erdelyi, and E. Pichler-Magyar. 1993. Preparation of pure inulin and various
 578 inulin-containing products from Jerusalem artichoke for human consumption and for
 579 diagnostic use. In *Inulin and inulin-containing crops*, 341-345. A. Fuchs, ed. Amsterdam:
 580 Elsevier.
- 581 Vorasoot, N., and S. Jogloy. 2006. Inulin: Non-digestible carbohydrate as soluble fiber from
 582 Kaentawan for human health. *Khon Kaen Agric.* 34(2): 85-91.
- 583 Waldron, K. W., M. L. Parker, and A. C. Smith. 2003. Plant cell walls and food quality.
 584 *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 2: 128–146.
- 585 Wang, C. Y., and R. P. Singh. 1978. A single layer drying equation for rough rice. *ASAE*
 586 *Paper No: 78-3001*, ASAE, St. Joseph, MI.
- 587 Wang, N., and J. G. Brennan. 1992. Effect of water binding on the drying behavior of potato.
 588 In: Mujamdar, A.S. (Ed.), *Drying*, vol. 92. Elsevier Science Publishers B.V., London,
 589 1350-1359.
- 590 Wang-Prusky, G., and J. Nowak. 2004. Potato after-cooking darkening. *Am. J. Potato Res.*
 591 81: 7–16.
- 592 Westerman, P. W., G. M. White, and I. J. Ross. 1973. Relative humidity effect on the high
 593 temperature drying of shelled corn. *Trans. ASAE* 16: 1136–1139.

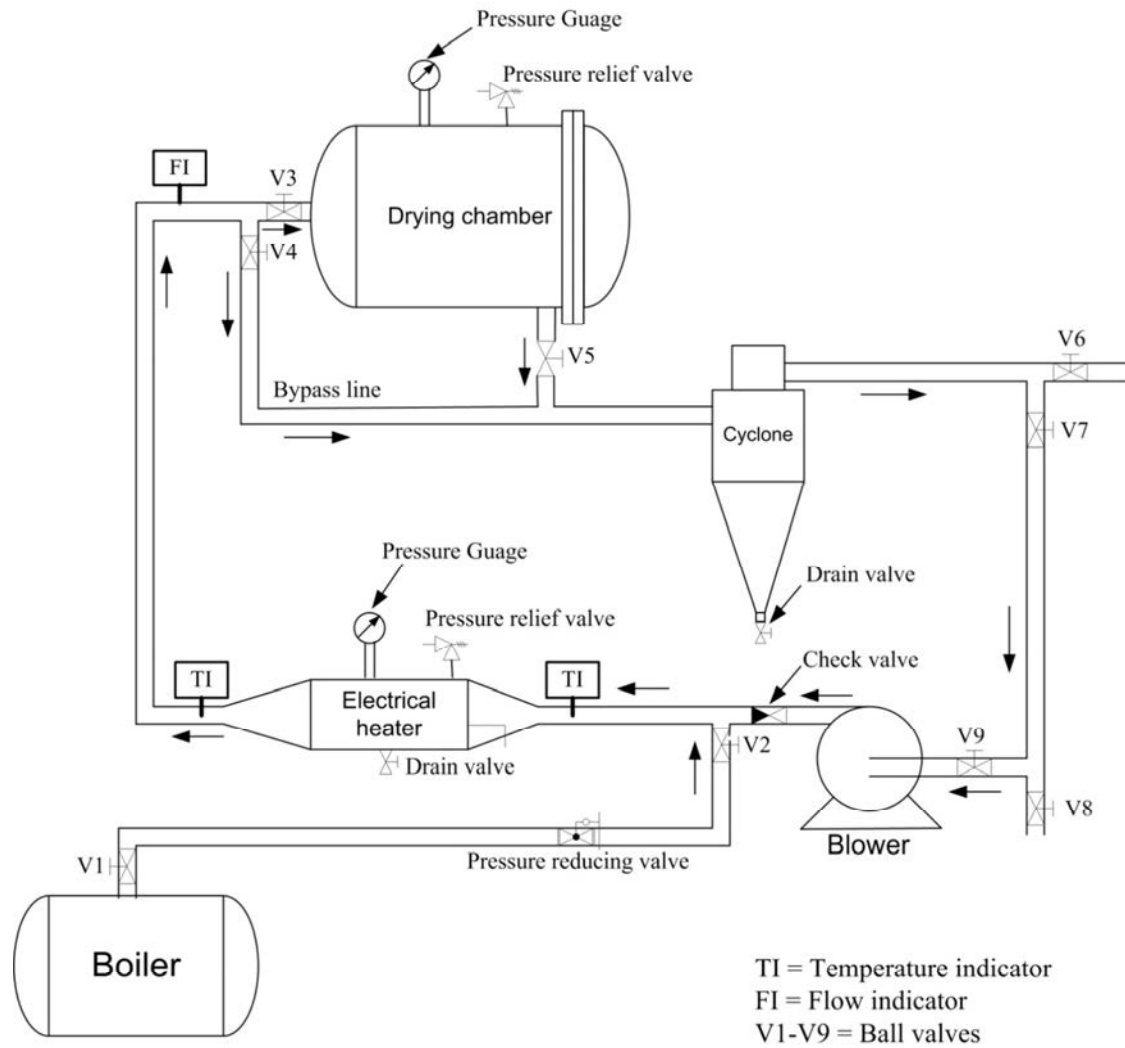
594 Xiao, H. W., C. L. Pang, L. H. Wang, J. W. Bai, W. X. Yang, and Z. J. Gao. 2010. Drying
595 kinetics and quality of Monukka seedless grapes dried in an air-impingement jet dryer.
596 *Biosyst Eng.* 105: 233–240.

597 Yaldiz, O., and C. Ertekin. 2001. Thin layer solar drying some different vegetables. *Dry.*
598 *Tech.* 19(3): 583–596.

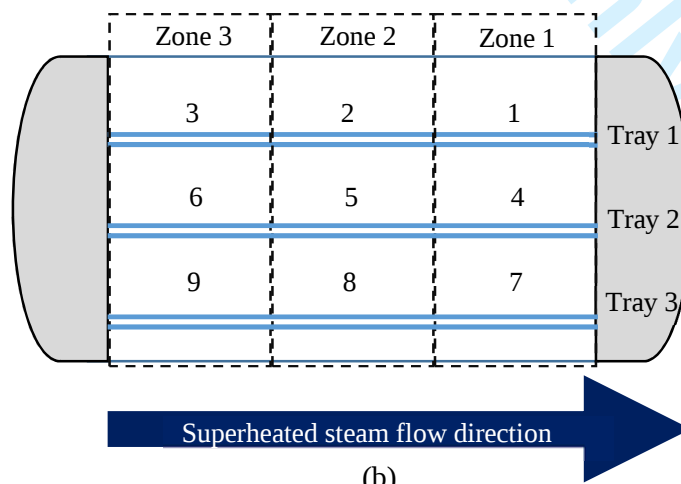
599 Zhu, A., and X. Shen. 2014. The model and mass transfer characteristics of convection drying
600 of peach slices. *Intl. J. Heat Mass Tran.* 72: 345–351.

601

For Review Only



(a)



(b)

Figure 1. Superheated steam dryer: (a) Schematic diagram; (b) Sample positions in drying chamber.

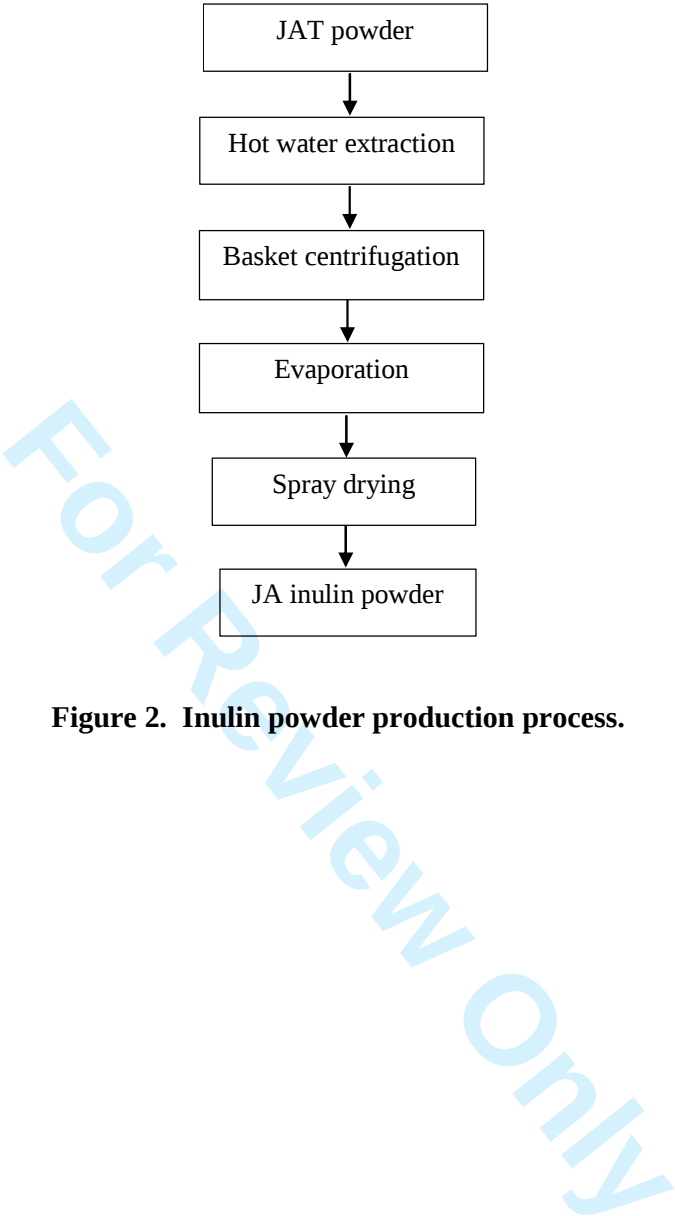


Figure 2. Inulin powder production process.

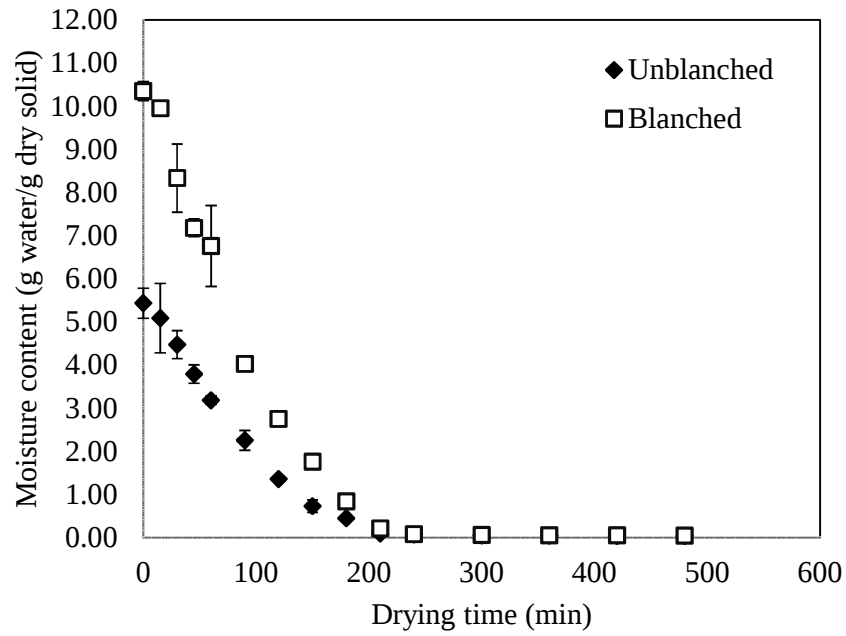


Figure 3. Drying characteristics of unblanched and blanched JAT samples in tray dryer at 65°C.

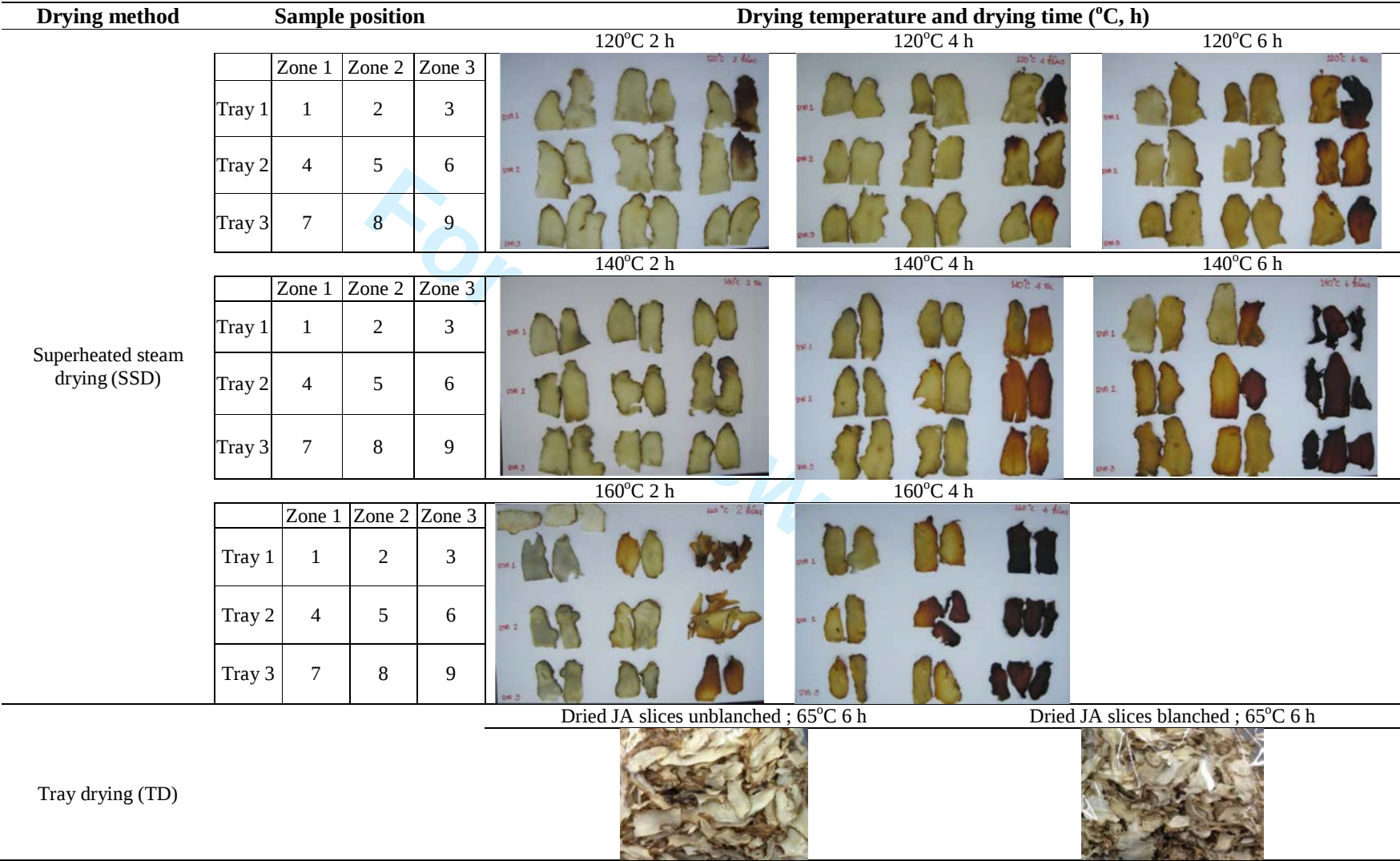


Figure 4. Photographs of JAT samples after superheated steam and tray dryings.

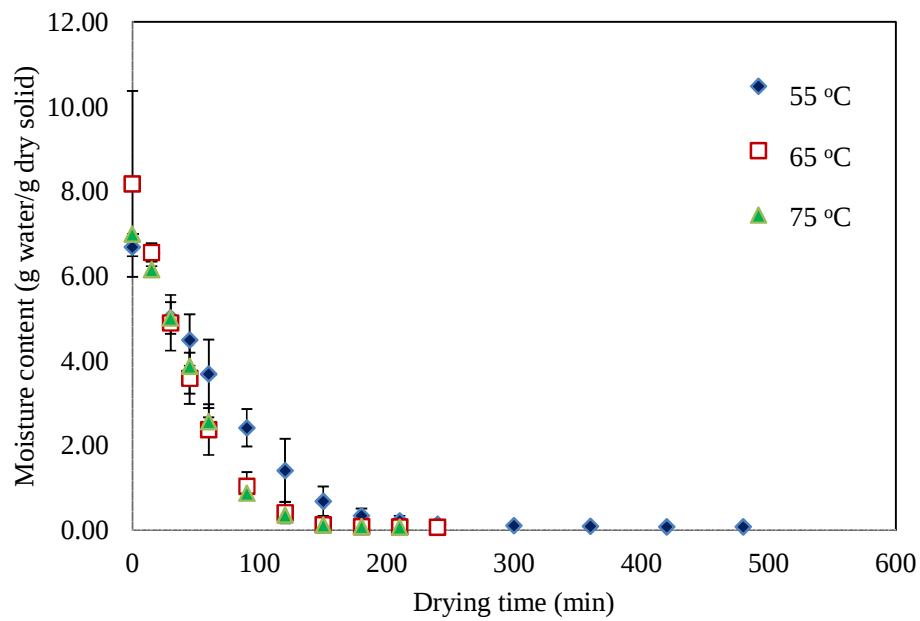


Figure 5. Drying characteristics of blanched JAT samples in tray dryer at 55°C, 65°C and 75°C.

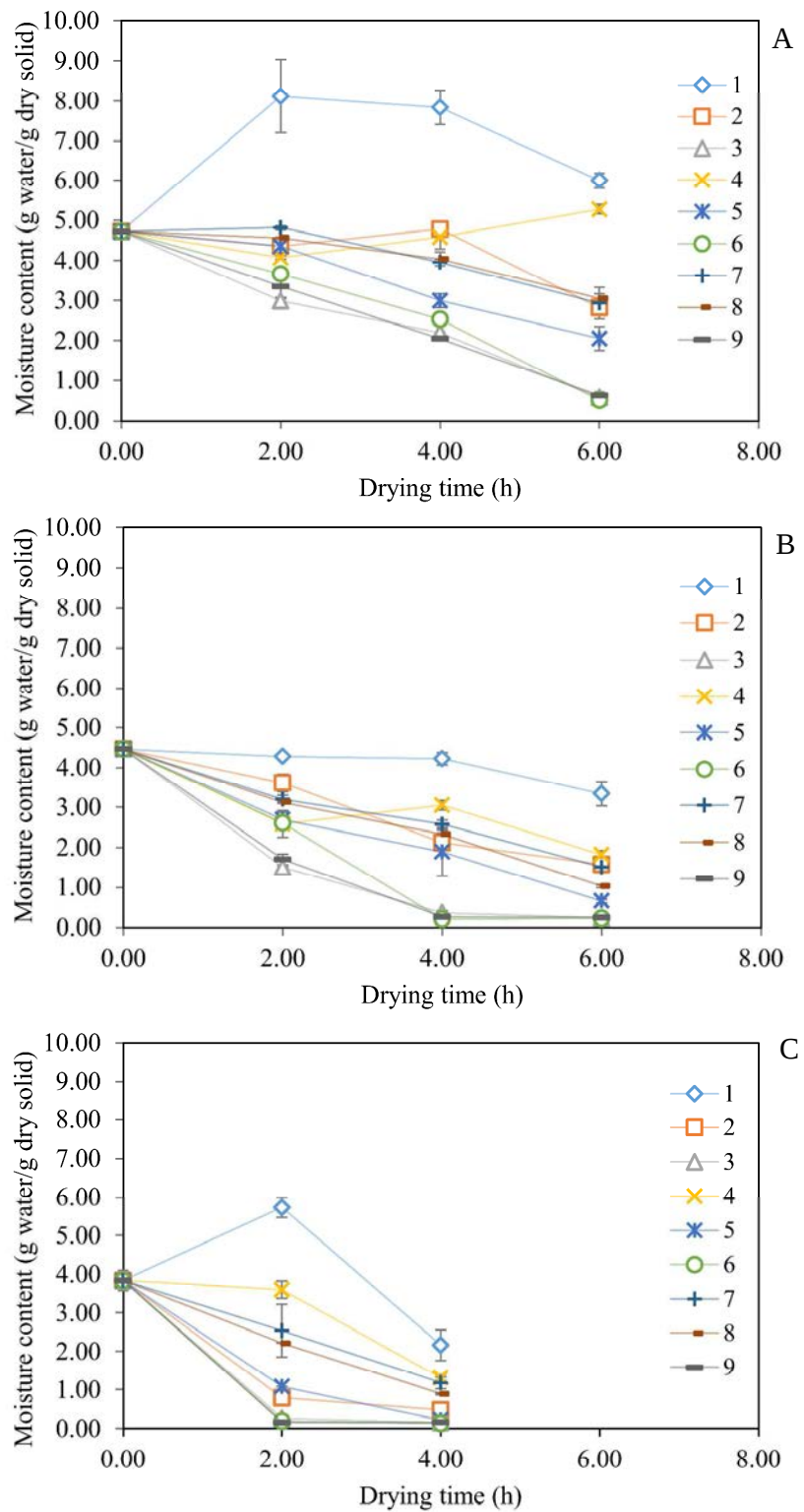


Figure 6. Drying characteristics of JAT samples in superheated steam dryer: (A) 120 °C; (B) 140 °C; (C) 160°C.

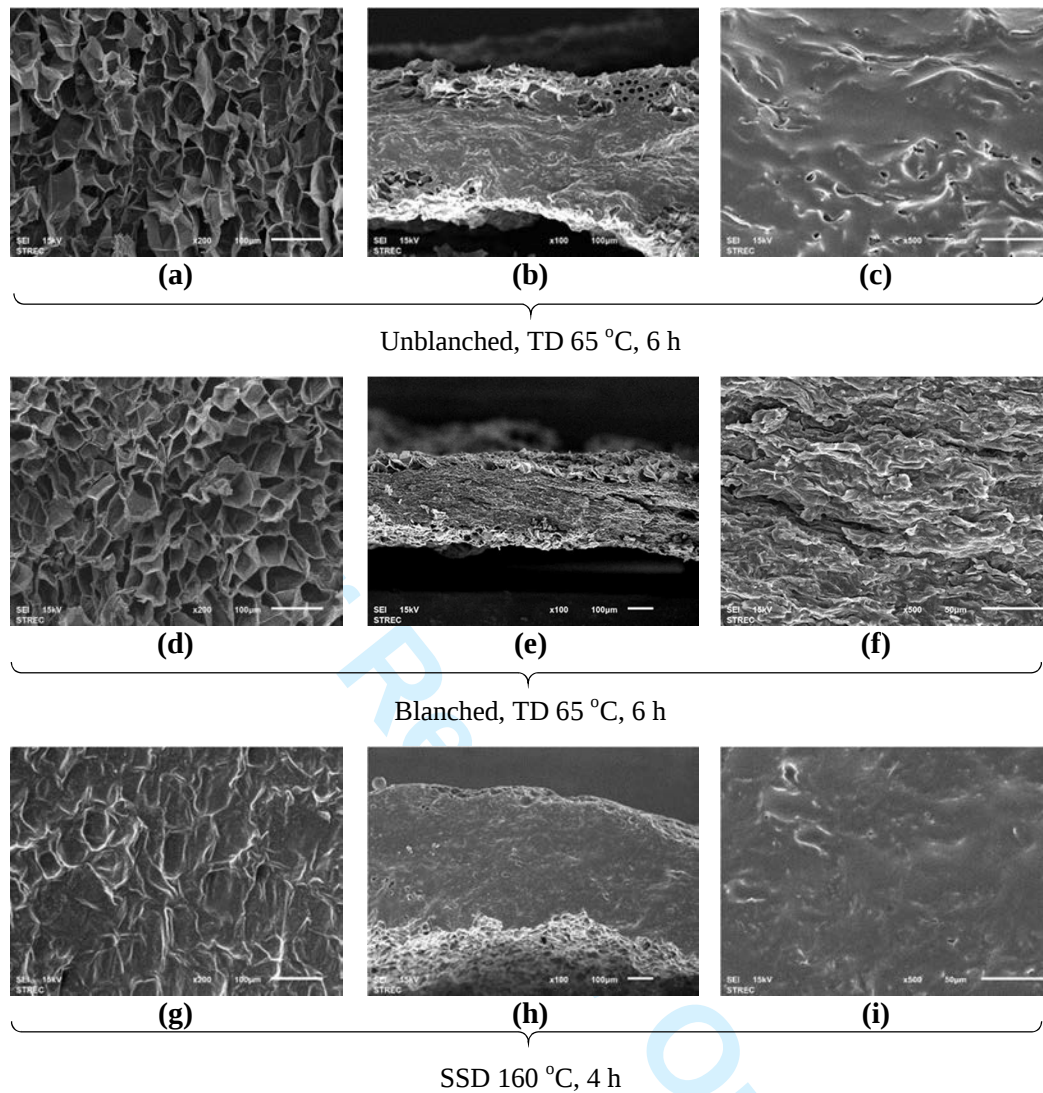


Figure 7. Scanning electron microscope micrographs of dried JAT samples: (a) surface of unblanched/tray dried sample; (b) cross section of unblanched/tray dried sample (100x); (c) cross section of unblanched/tray dried sample (500x); (d) surface of blanched/tray dried sample; (e) cross section of blanched/tray dried sample (100x); (f) cross section of blanched/tray dried sample (500x); (g) surface of superheated steam dried sample; (h) cross section of superheated steam dried sample (100x); (i) cross section of superheated steam dried sample (500x).

Table 1. Thin layer drying models considered in this study.

Model	Mathematical equation	References
Lewis	$MR = \exp(-kt)$	Ayensu (1997)
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	Agrawal and Singh (1977)
Modified Page	$MR = \exp[-(kt)^n]$	Yaldiz and Ertekin (2001)
Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	Westerman <i>et al.</i> (1973)
Midilli <i>et al.</i>	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	Midilli <i>et al.</i> (2002)
Two-term	$MR = a \exp(-k_0t) + b \exp(-k_1t)$	Henderson (1974)
Two-term exponential	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kat)$	Sharaf-Eldeen <i>et al.</i> (1980)
Wang and Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	Wang and Singh (1978)

Table 2. Color values of dried JAT samples.

Drying condition	Zone	Color		
		L*	a*	b*
Superheated steam drying				
120°C 6 h	1	38.84 ^d ± 0.83	3.93 ^d ± 0.02	20.50 ^b ± 0.48
	2	35.23 ^c ± 0.12	5.85 ^c ± 0.11	23.69 ^a ± 0.72
	3	21.01 ^g ± 0.19	6.25 ^c ± 0.82	6.42 ^c ± 0.50
140°C 6 h	1	36.71 ^c ± 1.25	5.84 ^c ± 0.32	20.95 ^b ± 0.49
	2	27.06 ^f ± 0.99	8.91 ^b ± 0.23	14.55 ^d ± 0.56
	3	20.74 ^g ± 0.57	3.26 ^c ± 0.19	2.48 ^g ± 0.26
160°C 4 h	1	45.89 ^c ± 1.62	0.85 ^g ± 0.01	14.54 ^d ± 0.09
	2	36.14 ^c ± 0.73	10.86 ^a ± 0.34	23.18 ^a ± 0.25
	3	21.39 ^g ± 0.28	4.24 ^d ± 0.25	3.67 ^f ± 0.24
Tray drying 65°C 6 h				
Unblanched sample		77.41 ^a ± 1.14	-0.50 ^h ± 0.17	15.41 ^c ± 0.34
Blanched sample		56.16 ^b ± 0.36	1.92 ^f ± 0.26	16.11 ^c ± 0.56

^{a-g} Different letters in the same column indicate that values are significantly different ($p < 0.05$).

Table 3. Results of fitting experimental data into various thin layer drying models.

Model	Temperature (°C)	Model constants	R^2	RMSE
Lewis	55	k=0.011710	0.9747	0.0017
	65	k=0.019847	0.9918	0.0004
	75	k=0.016691	0.9707	0.0017
Page	55	k=0.001807, n=1.419717	0.9966	0.0002
	65	k=0.006735, n=1.273288	0.9998	0.0000
	75	k=0.001348, n=1.617298	0.9992	0.0000
Modified Page	55	k=0.011682, n=1.424372	0.9966	0.0088
	65	k=0.019699, n=1.273289	0.9998	0.0000
	75	k=0.016786, n=1.627726	0.9992	0.0000
Henderson and Pabis	55	a=1.097028, k=0.012943	0.9837	0.0011
	65	a=1.042896, k=0.020739	0.9935	0.0003
	75	a=1.087996, k=0.018177	0.9774	0.0013
Midilli <i>et al.</i>	55	a=1.015549, k=0.002117, n=1.389349, b=0.000011	0.9968	0.0002
	65	a=0.996445, k=0.006479, n=1.282451, b=0.000006	0.9998	0.0000
	75	a=0.992327, k=0.001222, n=1.639090, b=0.00001	0.9993	0.0000
Two-term	55	a=0.547823, k ₀ =0.012929, b=0.547823, k ₁ =0.012928	0.9837	0.0011
	65	a=0.521391, k ₀ =0.020729, b=0.521391, k ₁ =0.020742	0.9935	0.0003
	75	a=0.543998, k ₀ =0.018177, b=0.543998, k ₁ =0.018177	0.9774	0.0014
Two-term exponential	55	a=0.001872, k=6.240644	0.9743	0.0017
	65	a=0.002648, k=7.461698	0.9916	0.0004
	75	a=0.002564, k=6.462052	0.9703	0.0018
Wang and Singh	55	a= -0.007001, b=0.000011	0.9458	0.0036
	65	a= -0.008038, b=0.000013	0.7203	0.0150
	75	a= -0.007846, b=0.000013	0.8225	0.0108

Table 4. Sugars, FOS and inulin-type fructans in JAT and inulin powders.

Content (g/100 g db)	JAT powder	Inulin powder
Fructose	0.01 ± 0.00	2.27 ± 0.47
Glucose	0.02 ± 0.00	0.40 ± 0.12
Sucrose	9.97 ± 1.59	20.95 ± 0.39
GF ₂	6.71 ± 0.06	9.83 ± 0.11
GF ₃	4.97 ± 0.05	7.48 ± 0.14
GF ₄	4.12 ± 0.06	5.88 ± 0.13
Inulin-type fructans	39.09 ± 0.87	56.29 ± 0.58

2. บทความตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติ:

Khuenpet, K., W. Jittanit, S. Sirisansaneeyakul and W. Srichamnong. 2015. Effect of pre-treatments on quality of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tuber powder and the inulin extraction. *Transactions of the ASABE*. มีค่า impact factor = 0.843 (อยู่ระหว่างการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิอีกครั้ง หลังจากที่ได้มีการปรับแก้ไขบทความตามข้อเสนอแนะจากผู้ทรงคุณวุฒิแล้ว)



Dashboard

- To submit a NEW manuscript, click on "Click here to submit a new manuscript" below.
- Clicking on the various manuscript status links under "My Manuscripts" will display a list of all the manuscripts in that status. The list will be at the bottom of the screen.
- To submit a REVISED manuscript, click on the "Manuscripts with Decisions" or the "Revised Manuscripts in Draft" link below and find it in the list. If it is not on the list please contact admin (mccann@asabe.org). Probably it's at a co-author's site, but admin can move it.
- To see files from reviewers: Hit "Manuscripts with Decisions" so you see them listed below. Scroll to the manuscript listing and look to the right side. Click on View Decision Letter. Scroll down to the end of the letter. There are links to any review files. The letter looks very much like what you see elsewhere, but the links are only at this place.
- To continue a submission already in progress, click the "Continue Submission" link in the "Unsubmitted Manuscripts" list.
- Would you like to review? Click on your name (top right) to edit your account. Put the acronym of your ASABE Technical Community + rev (i.e., ASE rev, EOPD rev, ES rev, ESH rev, ITSC rev, MS rev, NRES rev, PAFS rev, PRS rev) in the Specialty/Areas of Expertise area, along with your particular specialties and keywords. You do not need to be an ASABE member to review, but match your interests with these communities. Editors use these terms when searching for potential reviewers.
- Awaiting Recommendation means that the minimum number of reviews are complete and thus you will probably hear from the editors within 2 weeks. Sometimes additional reviews are done, and that takes more time.
- Problems? Go to Get Help Now (top right) or email mccann@asabe.org

My Manuscripts

- 0 [Unsubmitted and Manuscripts in Draft](#)
- 0 [Revised Manuscripts in Draft](#)
- 1 [Submitted Manuscripts](#)
- 8 [Manuscripts with Decisions](#)
- 0 [Manuscripts I Have Co-Authored](#)
- 0 [Withdrawn Manuscripts](#)
- 0 [Invited Manuscripts](#)

Author Resources

 [Click here to submit a new manuscript](#)



Click [here](#) to send a manuscript to AJE for English-language editing. Note: this service is provided by an outside vendor. You will be responsible for any fees. There is no guarantee that your manuscript will be accepted by the ASABE journals after editing.

This section lists the subjects of the five most recent e-mails that have been sent to you regarding your submission(s). To view an e-mail, click on the link. To delete an e-mail from this list, click the delete link.

[About reviewing for ASABE journals](#) (16-Jun-2015) [Delete](#)

[Manuscript FPE-11020-2014.R2 accepted for Transactions of the ASABE](#) (16-Jun-2015) [Delete](#)

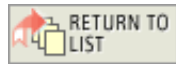
[Revision submitted - FPE-11020-2014.R2](#) (25-May-2015) [Delete](#)

[ASABE manuscript FPE-11020-2014.R1](#) (14-May-2015) [Delete](#)

[Revision submitted - PRS-11036-2014.R1](#) (04-Apr-2015) [Delete](#)

Submitted Manuscripts

Manuscript ID	Manuscript Title	Date Created	Date Submitted	Status
PRS-11036-2014.R1	Effect of pretreatments on quality of Jerusalem artichoke (<i>Helianthus tuberosus</i> L.) tuber powder and the inulin extraction [View Submission]	01-Apr-2015	04-Apr-2015	ED: Lu, Renfu ADM: McCann, Peg • Under review



Journal: Transactions of the ASABE

Mark	Journal Title	ISSN	Total Cites	Impact Factor	5-Year Impact Factor	Immediacy Index	Citable Items	Cited Half-life	Citing Half-life
	T ASABE	2151-0032	7176	0.843	1.105	0.337	202	>10.0	9.6
Cited Journal Citing Journal Source Data Journal Self Cites									

CITED JOURNAL DATA

CITING JOURNAL DATA

IMPACT FACTOR TREND

RELATED JOURNALS

Journal Information

Full Journal Title: Transactions of the ASABE

ISO Abbrev. Title: Trans. ASABE

JCR Abbrev. Title: T ASABE

ISSN: 2151-0032

Issues/Year: 6

Language: ENGLISH

Journal Country/Territory: UNITED STATES

Publisher: AMER SOC AGRICULTURAL & BIOLOGICAL ENGINEERS

Publisher Address: 2950 NILES RD, ST JOSEPH, MI 49085-9659

Subject Categories: AGRICULTURAL ENGINEERING

SCOPE NOTE

Eigenfactor[®] Metrics
 Eigenfactor[®] Score
 0.00584
 Article Influence[®]
 Score
 0.329

VIEW JOURNAL SUMMARY LIST

VIEW CATEGORY DATA

Journal Rank in Categories: JOURNAL RANKING

Journal Impact Factor

Cites in 2013 to items published in: 2012 = 147 Number of items published in: 2012 = 219

2011 = 233

2011 = 232

Sum: 380

Sum: 451

 Calculation: $\frac{\text{Cites to recent items}}{\text{Number of recent items}} = \frac{380}{451} = 0.843$

5-Year Journal Impact Factor

Cites in {2013} to items published in: 2012 = 147 Number of items published in: 2012 = 219

2011 = 233

2011 = 232

2010 = 288

2010 = 188

2009 = 244

2009 = 211

2008 = 267

2008 = 217



Effect of pretreatments on quality of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tuber powder and the inulin extraction

Journal:	<i>American Society of Agricultural and Biological Engineers</i>
Manuscript ID:	PRS-11036-2014.R1
Journal Name:	Transactions of the ASABE
Manuscript Type:	Full-length article
Date Submitted by the Author:	n/a
Complete List of Authors:	Khuenpet, Krittiya; Kasetsart University, Faculty of Agro-Industry,, Department of Food Science and Technology Jittanit, Weerachet; Kasetsart University, Faculty of Agro-Industry, Department of Food Science and Technology Sirisansaneeyakul, Sarote; Kasetsart University, Faculty of Agro-Industry,, Department of Biotechnology Srichamnong, Warangkana; Mahidol University, Institute of nutrition, Salaya campus
Keywords:	blanching, extraction, inulin, Jerusalem artichoke tuber, peeling
Abstract:	Abstract.docx

SCHOLARONE™
Manuscripts

Effect of pre-treatments on ~~qualities~~ quality of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tuber powder and the inulin extraction

Krittiya Khuenpet^a, Weerachet Jittanit^{a*}, Sarote Sirisansaneeyakul^b, Warangkana Srichamnong^c

^aDepartment of Food Science and Technology, Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University, 50 Ngam Wong Wan Road, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

^bDepartment of Biotechnology, Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University, 50 Ngam Wong Wan Road, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

^cInstitute of Nutrition, Mahidol University at Salaya, Putthamonthon 4, Nakhon Pathom 73170, Thailand

*Corresponding author, e-mail: fagiwcj@ku.ac.th

Abstract

In this study, the Jerusalem artichoke tuber (JAT) samples were pretreated ~~by 4 in four~~ different ~~ways~~ conditions—including ~~non~~-peeling/blanching, ~~non~~-peeling/~~unblanching-non-blanching~~, peeling/ blanching and peeling/~~unblanching-non-blanching~~ prior to hot air drying and milling ~~to be into~~ fine powder. The physical characteristics of Jerusalem artichoke tuber powder (JATP) specimens were determined ~~their physical characteristics in aspects of in terms of~~ color, moisture content, pH, microstructure, particle ~~sizes~~ size and solubility. Furthermore, they were processed ~~to be into~~ inulin powder by applying extraction, evaporation and spray drying procedures. Both JATP and inulin powder samples from ~~4 four~~ pre-treatments ~~s~~ conditions—were analyzed their sugars, fructo-oligosaccharide (FOS) and inulin-type fructan contents. The aims of this research were to (1) determine the appropriate pre-treatment condition for JAT in order to obtain superior quality of JATP and inulin powder products, (2) investigate the sugars, FOS and inulin-type fructans in JATP and inulin powder and (3) evaluate the yield of inulin powder production from JATP. The results indicated that ~~non~~-peeling/blanching were the pre-treatment that should be applied for the JATP and inulin powder production because it provided JATP with the lowest sugars (10.00 ± 1.59 g/100 g_{dry mass}) and ~~highest~~ inulin-type fructans ~~products~~ (39.09 ± 0.87 g/100 g_{dry mass}) together with spray-dried inulin powder that has the lowest sugars (23.62 ± 0.98 g/100 g_{dry mass}) ~~and~~ the maximum inulin-type fructans ~~weight in collected inulin powders produced from a specific amount of JATP~~ ($56.2976.94 \pm 0.58$ g/100 g_{dry mass} ~~g/300 g JATP1~~). Also, the benefit of -blanching is to help preventing the browning reaction during inulin powder production process. The extraction process could separate some impurities and raise the

Formatted: Numbering: Continuous

Formatted: Font: 12 pt

sugars, FOS and inulin-type fructan contents in powder product. Additionally, the yields of inulin powder production ranged between 45.56% to 59.85% of the JATP dry weight.

Keywords: blanching, extraction, inulin, Jerusalem artichoke tuber, peeling

1. Introduction

Inulin is a linear polymer of fructose unit joined by β -(2 $\rightarrow$ 1) D-fructosyl-fructose bonds and terminated with a glucose unit by α -D-glucopyranosyl bond (Blecker *et al.*, 2002; Ronkart *et al.*, 2007). Ordinarily, formation of inulin is GF_n where G is glucose, F is Fructose and n is the number of fructose molecules. The degrees of polymerization (DP) of inulin range between 2 to 60 units (Van Loo *et al.*, 1995; Judprasong *et al.*, 2011) depending on species, harvesting maturity, storage time and production conditions (Saengthongpinit and Sajjaanantakul, 2005; Stanley and Nottingham, 2007). Small molecules with DP<10 are so-called fructo-oligosaccharides (FOS) (Sirisansaneeyakul *et al.*, 2007). Inulin is generally applied in food industry as a functional food ingredient, offering both nutritional properties (fiber enrichment, proven prebiotic, reduce calorie intake, etc.) and technical benefits (sugar/fat replacer, enhancing stability) (Vokov *et al.*, 1993; Niness, 1999; Roberfroid, 2007).

Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) is a tuberous plant belonging to the sunflower family. It is cultivated widely across the temperate zone; however, during the last few decades, it was found that many varieties of Jerusalem artichoke (JA) were bred, developed and could be successfully grown in Thailand especially in the northeastern region (Vorasoot and Jogloy, 2006; Tanjor *et al.*, 2012). At present, Jerusalem artichoke tuber (JAT) is deemed as a popular herbal food among Thai people due to its nutraceutical properties especially for diabetics. According to Meijer and Mathijssen (1993) and Simonovska (2000), JA is a plant rich in inulin; thus, it is one of the candidate crops for inulin production. The inulin content of JAT is 14%-19% while the crop that is commercially used for inulin production, namely chicory root contains inulin between 15%-20% (Van Loo *et al.*, 1995). Referring to Judprasong *et al.* (2011), JA grown in Thailand was the potential source of inulin-type fructans with the inulin content of 19.5 g/100 g fresh weight.

The processing of JAT domestically grown in Thailand to be either Jerusalem artichoke tuber powder (JATP) or inulin powder would be beneficial for both JA growers and food business in the region because it can help raising the demand and subsequently market

Formatted: Font: Italic

69 value of JAT. Also, the JATP can be sold as a supplementary food due to its inulin and other
 70 nutrient contents whereas inulin powder produced from JAT can replace the inulin powder
 71 imported from European companies.

72 According to Angus *et al.* (2005), the production of inulin powder from the plant
 73 tissue is similar to the sucrose production from sugar beets because inulin is soluble in hot
 74 water. It involves three general steps comprising ~~with~~-hot water extraction, purification of the
 75 inulin extract and then drying of the purified solution to be inulin powder. Although the
 76 world inulin production ~~was-is~~ estimated ~~to-beat~~ approximately 100,000 ~~ton-tonnes~~ a year,
 77 almost all of them were manufactured from chicory root. Moreover, the production
 78 technology of inulin has not been disclosed from the key producers. Lingyun *et al.* (2007)
 79 pointed out that so far, most of the JAT have not been processed to be inulin powder because
 80 the purification technology is not well developed. Several methods for inulin extraction from
 81 JAT have been proposed. Lorenzo *et al.* (1999) grinded JAT and then applied boiling water
 82 extraction for 10-15 min. Wei *et al.* (2002) applied microwave heating technique to assist the
 83 inulin extraction from JAT. In addition to hot water extraction, Sangthongpinit &
 84 Sajjaanantakul (2005) applied the process of inulin coagulation by alcohol prior to drying.
 85 However, Lingyun *et al.* (2007) pointed out that the precipitation of inulin by alcohol is
 86 uneconomical and inappropriate for industrial-scale production. Furthermore, they claimed
 87 that the important factors influencing the effectiveness of inulin extraction from JAT
 88 ~~comprising-include~~ pH, time duration, temperature and proportion of solvent to raw material.
 89 It was concluded that the optimal conditions for maximizing inulin extraction yield (83.6%)
 90 in conventional process were at natural pH for 20 min at ~~76.65~~76.7 °C and solvent:solid
 91 ratios of 10.56:1 (v/w). Franck (2002) stated that for the industrial production process, inulin
 92 was ~~to be~~ extracted by hot water followed by refining using exchanger technology and then
 93 concentrating using evaporation and spray drying. In past decades, thermal extraction,
 94 multistage extraction and countercurrent extraction were conducted using merely hot water;
 95 however, recently, an ultrasound technique has been applied to assist inulin extraction from
 96 Jerusalem artichoke ~~tubers-tuber~~ by some researchers (Li *et al.*, 2012). ~~—~~JA tuber has
 97 light brown skin that is thin and edible. A high content of phenolic compounds from JA
 98 tubers ~~were-was~~ found in the peel, but not in the flesh of the tubers; therefore, JA should be
 99 consumed unpeeled in order to get more nutrients from JA tubers (Seljåsen and Slimstad,
 100 2007). Besides, Yildiz (2006) found that the yield values of sweetening syrups produced from
 101 JA were 17_g and 13_g, and DP values were 7 and 7.9 for extracts obtained with whole and

peeled tubers, respectively. Nearly 31% increase in yield, and 13% decrease in DP was obtained with whole tubers. Therefore, for the production of functional syrups, JA tubers should not be peeled. According to Milala *et al.* (2009), the ~~-~~inulin-type fructan contents in the extract of chicory root and that of chicory root peel were 61.8 and 47.7% respectively indicating that chicory root should not be peeled in the inulin production. This finding could be also the guideline for the inulin production from JAT. Although it is clear that the utilization of the whole JA tubers would result in ~~the a~~ higher production yield of JATP and inulin powder, the effect of peeling on the powder ~~qualities-quality~~ should be investigated.

Blanching is a common pre-treatment step for the processing of many food products. The benefits of blanching are to inactivate enzymes mainly in fruits and vegetables, reduce the initial load of microorganisms and remove the impurities in raw materials. For the JAT, inulinase and polyphenol oxidase (PPO) are deemed as the vital enzymes that can affect on the JAT quality. Inulin is usually degraded to shorter DP by an internal enzyme, inulinase, during storage. PPO is related to the occurrence of undesirable browning and off-flavors~~s~~ generation. Usually, JAT sample would have ~~unwanted aromatic flavor~~~~off-flavors~~ and also the development of blackening of the tubers as a result of oxidation occurred while processing. Therefore, thermal treatment such as hot water blanching is generally required in order to inactivate inulinase and PPO which influence on degradation of inulin, color change and off-flavors~~s~~ (Modler *et al.*, 1993; Ziyen and Pekyardimci, 2003; Takeuchi and Nagashima, 2011). It appeared that inulinase could be inactivated by lower temperature treatment than PPO. Heat treatment at 60°C could inactivate inulinase (Marx *et al.*, 1997; Takeuchi and Nagashima, 2011) whereas 50% of PPO activity still remained after hot water blanching at 100°C for 2 min (Takeuchi and Nagashima, 2011). Takeuchi and Nagashima (2011) pointed out that blanching for 2 min did not completely inactivate PPO, but it was enough to maintain pale color of JAT sample. Moreover, it appeared that blanching longer than 60 s resulted in inulin loss from JAT slices whereas one-third of the total soluble saccharides were lost after blanching JAT for 2 min. Even though blanching process provides some benefits to JAT samples as previously stated, the effect of blanching on the JAT powder ~~qualities-quality~~ and yield of inulin extraction should be clarified.

Up to now, there have been some methods proposed in the published papers for determining the inulin content of the samples. Lingyun *et al.* (2007) determined the inulin content in sample by calculating the difference between total carbohydrates and reducing sugars. The total carbohydrates were obtained by the phenolsulphuric acid method while the

135 | reducing sugars were measured by the dinitrosalicylic acid method using D(-)-~~f~~fructose as
136 | standard. Moreover, they applied HPAEC with pulsed amperometric detection (PAD) to find
137 | the oligofructan pattern in more detail. The major drawback of HPAEC-PAD is that it is very
138 | difficult to quantify the high-DP compounds due to the lack of appropriate standards and the
139 | reduced sensitivity of the PAD detector for high-DP polymers. A high-temperature capillary
140 | gas chromatographic method has been developed for the quantitative determination of inulin-
141 | type oligosaccharides with DP<10 (Joye and Hoebregs, 2000). Sample preparation involves
142 | oxime formation and silylation of the extracted sugars. The oxime-trimethylsilyl derivatives
143 | are analyzed on an apolar capillary Al-clad column with temperature programming up to
144 | 440°C, and detection by flame ionization. The method is accurate and specific. Moreover ~~β~~-
145 | (2-6) oligosaccharides (levan) can be clearly distinguished from ~~β~~- (2-1) compounds (inulin)
146 | and GF_n molecules from F_n molecules. Bach *et al.* (2012) calculated the inulin content of the
147 | Jerusalem artichoke tuber extract from the difference in concentrations of glucose and
148 | fructose before and after hydrolysis, applying the method of Kocsis *et al.* (2007). They
149 | analyzed the content of free sugars by high-performance anion exchange chromatography
150 | (HPAEC), according to the method of Kaack *et al.* (2004). Regarding the results of Bach *et al.*
151 | (2012), a low total sugar content was found in all three varieties of Jerusalem artichoke
152 | tubers, ranging from 1.55 to 2.15 g/100 g of fresh weight. Sucrose appeared to be the main
153 | part of that total sugar. Baldini *et al.* (2004) determined the inulin content by analyzing the
154 | free sugars (sucrose (f_s), glucose (f_g) and fructose (f_f)) in inulin extract and then investigating
155 | the total fructose (F) and glucose (G) content in acid-hydrolysed inulin extract by HPLC
156 | method. Judprasong *et al.* (2011) applied similar principle to Baldini *et al.* (2004) for
157 | evaluating the inulin content but they used enzyme hydrolysis instead of acid hydrolysis.
158 | Chabbert *et al.* (1985, 1993) claimed that the DP of inulin depended on the cultivar and age
159 | of Jerusalem artichoke. Saengthongpinit and Sajjaanantakul (2005) stated that a decrease in
160 | the more polymerized fractions (DP>10) with an increase in fructose and sucrose
161 | composition was observed for late-harvested (20 weeks) Jerusalem artichoke tubers.

162 | In this study, the JAT samples were pretreated by 4 different conditions comprising
163 | non-peeling/blanching, non-peeling/~~unblanchingnon-blanching~~, peeling/blanching and
164 | peeling/~~unblanching-non-blanching~~ prior to hot air drying and milling to be fine powder. The
165 | JATP specimens were determined their physical characteristics in aspects of color, moisture
166 | content, pH, microstructure, particle sizes and solubility. Besides, JATP samples were
167 | processed to be inulin powder by applying extraction, evaporation and spray drying

Formatted: Not Highlight

procedures. Both JATP and inulin powder samples from 4 pre-treatment conditions were analyzed their sugars, fructo-oligosaccharide (FOS) and inulin-type fructan contents by applying high-temperature gas chromatography. The main objectives were to (1) determine the appropriate pre-treatment condition for JAT in order to obtain superior quality of JATP and inulin powder products, (2) investigate the sugars (fructose, glucose and sucrose), FOS and inulin-type fructans in JATP and inulin powder and (3) evaluate the yield of inulin powder production from JATP. The outcome of this research would be beneficial to the entrepreneurs who intend to specify the manufacturing process for either JATP or inulin.

2. Materials and methods

2.1 Pre-treatments and JATP production

The fresh JAT variety JA 102 was supplied by Agro-Ecological System Research and Development Institute, Kasetsart University (Petchaboon Research Station), Thailand. Raw JAT samples were exposed to the preparation procedures from washing until milling to be JATP as the diagram shown in Figure 1. JAT samples were washed to eliminate the soil and other impurities and then kept at 2°C in coldroom before use. The JAT samples taken from the coldroom were left at the room temperature prior to experiencing the 4-four different pre-treatments—conditions—including non-peeling/blanching, non-peeling/~~unblanchingnon-blanching~~, peeling/blanching and peeling/~~unblanchingnon-blanching~~. The vegetable cutter was used for slicing JAT to be 2 mm thickness. The immersion of samples in 0.5% w/v citric acid solution for 5 min was done for preventing enzymatic browning. For blanching step, the sliced samples were immersed in boiling water for 2 min (Takeuchi and Nagashima, 2011) and then the tap water at room temperature was applied for cooling-step. Each pretreated sample was drained, laid on the filter fabric before tray drying at 65°C. This drying temperature was chosen because in the previous study it provided the short drying time and acceptable product quality. Dried JAT chips were ground to be JAT powder by two milling steps applying a Fitz mill model M5 (The Fitzpatrick Company, USA) and an Alpine Augsburg pin mill type 160Z (Alpine American Corporation, Natick, MA). The JAT powder was screened ~~by-through~~ 60 and 80 mesh sieves after the 1st stage milling by a Fitz mill and the 2nd stage milling by a pin mill ~~correspondingly~~ respectively. There were four samples obtained from the preparation procedure namely JATP1, JATP2, JATP3 and JATP4 as

Formatted: Not Highlight

~~presented-shown~~ in Figure 1. All four specimens were processed ~~to-beinto~~ inulin powder by applying extraction, evaporation and spray drying procedures.

2.2 Inulin powder production

The procedure of inulin powder production and the quality ~~determinations~~ ~~determination~~ for samples collected in each step are illustrated in Figure 2. The JATP1, JATP2, JATP3 and JATP4 were used as the raw materials for inulin powder production. Inulin was extracted from the JATP using hot water 85°C for 30 min with the ratio of powder : water at 1:35 (w/w). Then, the extract was cooled down under ambient condition and ~~separated-its-sediment~~ ~~the sediment separated~~ using a basket centrifuge at 1,500 rpm with polypropylene-fabric multifil bag model F254-3 (Cannew International Trading Co., Ltd., Thailand). The inulin extract was evaporated to ~~be-a~~ 30 °Brix concentration by boiling it on a hot plate ~~with stirring~~ ~~stirrer~~. The concentrated solution was processed ~~to-beinto~~ powder by a “NIRO” small-scale spray dryer model “Mobile Minor 2000” (GEA Process Engineering Inc., USA) using the inlet and outlet drying at 150°C and 90°C respectively. This spray drying condition was applied because in the preliminary test it provided high powder recovery, acceptable powder appearance and sufficiently low moisture content of powder product. The quality determinations for JATP, sediment, inulin extract, concentrated inulin extract and inulin powder were carried out in various ~~faets~~ ~~characteristics~~ ~~stages~~ as ~~presented-shown~~ in Figure 2.

2.3 Quality determinations

In this study, the ~~samples were determined their qualities in various aspects~~ ~~including~~ quality of the samples was determined in terms of color, moisture content, pH, particle size, microstructure and the contents of sugars, FOS and inulin-type fructans depending on the production step. Furthermore, the solubility of JATP, powder recovery in spray drying and production yield of inulin powder were calculated using the experimental data. The determination of the color, moisture content, pH and contents of sugars, FOS and inulin-type fructans were done in three ~~replications~~ ~~replicates~~. The software package SPSS version 12.0 was used for statistical analysis.

2.3.1 Color

Formatted: Left, Space After: 8 pt, Line spacing: Multiple 1.08 li, Adjust space between Latin and Asian text, Adjust space between Asian text and numbers

The ~~colors-color~~ of examples ~~were-was~~ measured by a Hunter Laboratory MiniScan XE colorimeter (Hunter Associates, Reston, VA) ~~in-using~~ the L*, a*, b* scale. L* represents lightness ($0 \leq L \leq 100$), while a*(+), a*(-), b*(+) and b*(-) represent redness, greenness, yellowness, and blueness correspondingly. The colorimeter was calibrated with a standard white tile using illuminant D65 and the 10° standard observer (Sootjarit *et al.*, 2011a, 2011b).

2.3.2 Moisture content

The moisture contents were determined by the oven method using 2 g of sample and 105°C drying air temperature until constant weight (AOAC, 2005).

2.3.3 pH

The 2 g of powder samples were dissolved in 75 ~~ml-mL~~ of distilled water prior to pH measurement. The pH values of solutions were measured by “Lutron” pH meter Model PH-207 (Lutron, Taiwan).

2.3.4 Particle size

To analyze particle sizes of JATP, a set of sieves ~~were-was~~ used with a mechanical sieve shaker. Sieves with mesh size of 125, 149, 177 and 250 micrometers were ~~utilizedused~~. They were assembled in the ascending order of mesh size increasing from bottom to top while the pan was installed below. The 20-30 g of each sample ~~was-were~~ placed on the top sieve and ~~shaked-shaken~~ for 10 min with amplitude of 1.5 mm. The powders on each sieve were weighed. The weight was divided by the total weight to calculate the ~~powder~~ percentage ~~of powder~~ retained on each sieve mesh.

2.3.5 Microstructure

The physical structure of JATP and JAT inulin powders were observed by scanning electron microscopy (SEM). Powder samples were sprinkled onto double-sided tape on an SEM stubs. Then samples were sputtered with gold (SCD 040, Balzer Union, Switzerland) prior to the microstructure observation by the “JEOL” scanning electron microscope model JSM-6610LV (Seal Laboratories, USA). The magnifications of 200-1,000 times and accelerating voltage of 15 kV were applied using the signals of secondary and backscattered electrons (Totosaus and Perez-Chabela, 2009).

2.3.6 Sugars, FOS and inulin-type fructan contents

~~The sugars, FOS and inulin-type fructans contents in JAT powder and inulin powder were analyzed following the method of AOAC (2005, 997.08). Firstly, total sugars, FOS and inulin-type fructans were extracted from powder samples by applying hot water at 85°C. FOS and inulin-type fructans in a portion of extract were hydrolysed by inulinase. Both hot water extract samples and enzyme hydrolysed fractions were derivatised by oxymation and silylation reactions. Individual sugars were then defined by high-temperature gas chromatography (Joye and Hoebregs, 2000; Judprasong *et al.*, 2011). The sugars, FOS and inulin-type fructans contents in JAT powder and inulin powder were analyzed following the method of AOAC (2005, 997.08). Firstly, total sugars, FOS and inulin-type fructans were extracted from powder samples (2–3 g), containing about 1 g of inulin-type fructans, by applying hot water at 85±2 °C for 15 min in shaking water bath. FOS and inulin-type fructans in a portion of extract were hydrolysed by inulinase. Both hot water extract samples and enzyme hydrolysed fractions were derivatised by oxymation and silylation reactions. Individual sugars which contained native fructose, glucose, sucrose and FOS (1-kestose (GF₂), nystose (GF₃) and 1^F-β-fructofuranosyl nystose (GF₄)) were then defined by high-temperature gas chromatography. For sugars in the solution of inulinase hydrolysed extract which contain native sugars, sugars fractions from inulin and FOS (fructose and glucose) were determined using another gas chromatography (Joye and Hoebregs, 2000; Judprasong *et al.*, 2011). Amount of inulin-type fructans was calculated from the difference of the amounts of each sugar – fructose, glucose and sucrose – before and after enzyme hydrolysis as given in AOAC (2005, 997.08). (Judprasong *et al.*, 2011).~~

Formatted: Superscript

2.4 Solubility of JATP

The loss of dry solid contained in JATP during hot water extraction and basket centrifugation could be realized if the solubility percentage was calculated using the equation 1. The higher solubility percentage implied that the lower loss of dry solid occurred. For the inulin extraction experiment, 300 g of JATP ~~was-were~~ used as raw material. After hot water extraction and basket centrifugation, the sediments were weighed. JATP and sediments were determined their moisture content. The moisture content values were used for calculating the dry solid contents in JATP and sediment.

$$\text{Solubility (\%)} = \frac{\text{dry solid in JATP (g)} - \text{dry solid in sediment (g)}}{\text{dry solid in JATP (g)}} \times 100 \quad \dots (1)$$

2.5 Production yield

2.5.1 Powder recovery in spray drying

The production yield of spray drying process could be represented by the powder recovery value. The total soluble solid (°Brix) in the concentrated inulin extract after evaporation step was measured by a “Hanna” digital refractometer model HI96801 (Hanna Instruments Inc., USA). Then, the weight of total ~~solid~~-solids in the concentrated inulin extract that was fed into the spray drying machine for each experimental run was calculated. Also, the weight of inulin powder collected from each spray drying experiment was recorded. The powder recovery value was then determined using equation 2.

$$\text{Powder recovery (\%)} = \frac{\text{Total solid in collected spray dried powder (g)}}{\text{Total solid in the feed (g)}} \times 100 \quad \dots (2)$$

2.5.2 Production yield of inulin powder

The percentage of production yield of inulin powder was calculated applying the data of total solid weight in inulin powder collected from spray dryer and the dry mass of JATP used as the raw material in extraction process. The formula for calculation is shown in equation 3.

$$\text{Production yield (\%)} = \frac{\text{Total solid in collected spray dried powder (g)}}{\text{Dry solid in JATP (g)}} \times 100 \quad \dots (3)$$

~~Moreover, the inulin type fructan weights in collected inulin powders produced from 300 g of JATP were estimated using the equation 4.~~

~~Estimated inulin content from JATP g = Production yield of inulin powder % x Inulin type fructan content (%) x 300 g(4)~~

2.6 Statistical analysis

~~The software package of SPSS version 12.0 was used for the analysis of variance (ANOVA) and a Duncan’s multiple range test in the statistical analysis.~~

Formatted: Indent: First line: 0.5"

Formatted: Font: 11 pt, Not Italic

Formatted: Font: 11 pt, Not Italic

Formatted: Indent: Left: 0"

Formatted: Indent: Left: 0", First line: 0.49"

3. Results and discussion

After the production of JATP applying four different pre_treatments, the JATP samples were used as the raw materials for inulin powder production. The quality of the samples ~~were-was~~ determined ~~their qualities in various aspects including~~ in terms of color, moisture content, pH, particle size, microstructure and the contents of sugars, FOS and inulin-type fructans at various production steps. depending on the production steps that the ~~samples were collected from.~~

3.1 Color, moisture content and pH

The color is one of the main attributes that influence ~~to~~ the consumer preference in JATP and inulin powder. Usually, ~~the a~~ less intense color of powder is ~~more~~ preferred. The results of color ~~measuremet~~ measurement are presented in Table 1. It ~~appeared~~ appears that the blanched samples (JATP1 and JATP3) were significantly darker than the non-blanched counterparts ~~those of unblanched counterparts~~ (JATP2 and JATP4). Among all JATP, the sample prepared using non~~n~~-peeling and blanching pre_treatments (JATP1) was found to be the darkest powder due to its lowest L* and highest a* and b* values. This may be caused ~~It should be caused~~ by non-enzymatic browning reaction such as Maillard reaction occurring during blanching. Bach *et al.* (2013) claimed that after peeling and meanwhile drying, JAT slices turned brown due to the enzymatic browning reaction. Moreover, if they were heated in boiling water, their colors would be darker as a result of non-enzymatic darkening reaction between iron and phenolic acids forming a complex of Fe²⁺ and o-diphenolic acid. When exposed to air, this complex was oxidized to a bluish-grey Fe³⁺-o-diphenolic acid complex (Hughes *et al.*, 1962). In addition, JATP1 was significantly darker than JATP3 because JATP1 contained the JAT skin. According to Takuechi and Nagashima (2011), JAT peels contained more polyphenolics than flesh; therefore, the more intense of non-enzymatic darkening reaction occurred for JATP1.

All JATP specimens were used as the raw materials for inulin extraction as previously mentioned. The sediments and inulin extracts were collected after basket centrifugation step. It was found that the colors of sediment and extract in case of using ~~unblanched-non-blanched~~ samples were darker than those of blanched counterparts. This phenomenon could be attributed to two main reasons. Firstly, blanching pre_treatment could inactivate PPO that is deemed as the key cause of undesirable browning in JAT during storage (Modler *et al.*, 1993;

357 | Ziyen and Pekyardimci, 2003; Takeuchi and Nagashima, ~~2011~~2011). Takeuchi and
 358 | Nagashima (~~2011~~2011) pointed out that blanching JAT in boiling water for 2 min could not
 359 | completely inactivate PPO, but it was enough to maintain pale color of JAT sample.
 360 | Secondly, during blanching step, some soluble compounds such as sugars and peptides that
 361 | are substrates for Maillard reaction were eluted out from JAT to hot water (Takeuchi and
 362 | Nagashima, 2011). As a consequence, when the blanched samples were heated during the
 363 | extraction process, the development of brown color due to Maillard reaction in both
 364 | sediments and extracts were less than those ~~of in unblanched non-blanched~~ counterparts. If
 365 | considering the color values of concentrate and inulin powder samples, it ~~appeared~~ appears
 366 | that the tendency was similar to ~~those that~~ of sediments and inulin extracts. The reasons for
 367 | this ~~occurrence phenomenon~~ would be identical to those ~~of in~~ sediments and inulin extracts as
 368 | ~~priorly previously~~ explained. The result of color measurement showed that blanching pre-
 369 | treatment should be applied in order to ~~obstruct prevent~~ the browning reaction occurring
 370 | during storage and inulin powder production process. In addition, the samples containing JAT
 371 | peel that were JATP1 and JATP2 and their subsequent products had more intense color when
 372 | comparing with samples without JAT skin. It was because the polyphenolics normally exist
 373 | in JAT peel more than flesh leading to more intense ~~of~~ non-enzymatic darkening reaction
 374 | during heating as previously described (Takeuchi and Nagashima, 2011). Although the
 375 | application of JATP that include JAT skin caused darker color of inulin powder, it could raise
 376 | the production yield of inulin powder due to ~~the a~~ high content of inulin-type fructans in the
 377 | peel (Yildiz, 2006).

378 |
 379 |
 380 | The moisture content and pH values of JATP and inulin powder samples are
 381 | presented in Table 2. The moisture contents of JATP and inulin powder were in the range of
 382 | 5.7 – 6.8% wet basis (w.b.) and ~~5.7 – 7.64.8 – 6.4%~~ w.b. respectively. These moisture contents
 383 | were deemed low enough for long term storage. Lingyun *et al.* (2007) dried their fresh JAT to
 384 | the moisture content about 5.61% w.b. in order to prevent them from brown rot. The effect of
 385 | pretreatment on the moisture content of JATP is not obvious. Moreover, the pretreatment
 386 | should not directly influence the moisture content of inulin powder because for the inulin
 387 | production process, the samples exposed to more heat and moisture during hot water
 388 | extraction than those during blanching pretreatment. For the pH determination, the 2 g of
 389 | sample was dissolved in 75 ~~ml~~ mL of distilled water before measurement. ~~It~~ appeared that

the pH values were between 5.52–5.91 and 5.67–6.65 for JATP and inulin powder samples correspondingly indicating that these specimens were acid ingredients. It is noticeable that ~~However, the pH values of blanched JATP samples (JATP1 and JATP3) were significantly higher than non-blanched samples (JATP2 and JATP4).~~ The soaking of sliced JAT samples in citric acid solution should be a cause of the rather low pH values of JATP and inulin powder. The blanching of sliced JAT samples in hot water for 2 min resulted in a slight increase of pH due to the leaching of acidic substances from the sample to water. However, the blanching step is not the key factor that influences the pH values of inulin powder because for the inulin production process, the samples exposed to the hot water extraction for a long time. This pH information would be useful for the food industries that apply these powders as an ingredient in their products such as healthy drinks.

Formatted: Not Highlight

Formatted: Not Highlight

3.2 Particle ~~sizes-size~~ and solubility of JATP

The ~~particle size distribution distributions of particle sizes~~ of JATP samples ~~were-was~~ determined using a mechanical sieve shaker as previously described. The results ~~were-are~~ shown in Figure 3. It is clear that the JATP with particle size ~~of~~ less than 125 micron were the majority of JATP samples in all cases with the proportion between 51.43 and 81.11% of total weight. ~~It should be due~~ This is likely to be due to the application of two-stage milling using a Fitz mill and pin mill respectively. Furthermore, it ~~appeared-appears~~ that the blanched samples (JATP1 and JATP3) contained ~~a higher more~~ proportions of powder with larger particle sizes than ~~unblanched-non-blanched~~ specimens (JATP2 and JATP4). In the other words, the powders of ~~unblanched-non-blanched~~ JAT were finer than those of JAT exposed to blanching ~~steppre-treatment~~. This result ~~indicated-indicates~~ that the blanching pre-treatment affected ~~on~~ the grinding and size-reduction abilities of dried JAT to be fine powder. Referring to Rubel *et al.* (2014), the compositions of JAT consisted of protein 9.78%w/w_{dry} mass, ash 6.14%w/w_{dry} mass, lipids 1.16%w/w_{dry} mass, cellulose 2.73%w/w_{dry} mass, hemicellulose 2.22%w/w_{dry} mass and lignin 0.52%w/w_{dry} mass while inulin was the greatest part with the content of 78.1%w/w_{dry} mass. During hot water blanching, the protein denaturation occurred in JAT slices leading to ~~the-a~~ tougher texture. Moreover, blanching pre-treatment might cause the cooking and subsequent structural changes of cellulose and hemicellulose resulting in bigger particle sizes of JATP after milling.

The effect of peeling on the particle sizes of JATP samples was not obvious because the particle size profile of JATP1 was similar to that of JATP3. Moreover, there were not

clear difference of particle size distributions between the JATP2 and JATP4. ~~It should~~This
~~may~~ be due to the fact that the main ~~compositions~~components of the JAT flesh and peel are
 alike (Yildiz, 2006; Milala *et al.*, 2009).

All ~~of~~ JATP samples were used as the raw materials for inulin powder production.
 The experimental data, which were needed for calculating solubility percentage values,
 obtained from extraction and basket centrifugation processes are shown in Table 3. The
 solubility percentage values were calculated in order to indicate the loss of dry solid
 contained in JATP during hot water extraction and basket centrifugation. ~~The~~A greater
 solubility percentage implied ~~that the~~ lower loss of dry ~~solid happened~~solids. Obviously,
~~more higher~~ amounts of sediments were separated by basket centrifuge in case of using
 blanched samples (JATP1 and JATP3) as raw materials leading to greater dry solid loss, less
 soluble solid in extract and subsequently lower solubility~~percentage values~~. This occurrence
 could be explained by the particle sizes of JATP samples. As previously discussed, the
 blanched samples (JATP1 and JATP3) contained higher amounts of powder with larger
 particle sizes than ~~unblanched non-blanched~~ specimens (JATP2 and JATP4); ~~thus~~Hence,
 after extraction, the size of remaining insoluble solid would be bigger than that ~~of in~~
~~unblanched non-blanched~~ specimens and then could not pass through the filtering bag of
 basket centrifuge. Furthermore, the specific surface areas of ~~unblanched non-blanched~~
 samples were considerably larger than those of blanched specimens resulting in the higher
 soluble solid extraction capability. Also, the blanched samples which had larger particle sizes
 would entrap more ~~amounts of~~ soluble solids especially inulin inside their structure causing
 lower soluble solids in extract. ~~If When~~ comparing ~~between~~ samples with peel (JATP1 and
 JATP2) and samples without peel (JATP3 and JATP4), it ~~appeared~~appears that the
~~solubilities~~solubility of samples without peel ~~were was~~ slightly higher than ~~those that~~
 counterparts. ~~It This~~ is because the JAT skin contains more insoluble solid ~~compositions~~
~~compounds~~ such as cellulose, hemicellulose and lignin than JAT flesh.

3.3 Microstructure of JATP and inulin ~~powders~~powder

The SEM photographs of all four JATP samples and inulin powders produced from
 JATP samples are ~~illustrated shown~~ in Figure 4 and 5 ~~correspondingly~~respectively. It was
 found that blanching step apparently influenced ~~to~~ the microstructure of powders. The
~~microstructures~~microstructure of blanched samples (JATP 1 and JATP 3) ~~appear were~~
 flattened and more porous than ~~that of unblanched non-blanched~~ specimens due to the

collapse of cells and pores during hot water blanching. The flattened and porous microstructures occurring during blanching process could help raising the drying rate of JAT slices in the further step. Furthermore, it was noticed that there were some spherical shapes found on the surface of the ~~unblanched-non-blanch~~ samples. These round granules were likely to be water-soluble compounds in JAT such as sugars, FOS, inulin and protein. These components would be dissolved ~~to in~~ hot water if the blanching pre-treatment was applied.

The SEM photographs of inulin powders in Figure 5 illustrated that the ~~partiele~~ ~~sizes~~ particles of samples with blanching pre-treatment (~~Inulin-inulin~~ 1 and 3) were smaller than ~~unblanched-in non-blanch~~ samples (~~Inulin-inulin~~ 2 and 4). The larger ~~sizes-size~~ of ~~Inulin-inulin~~ 2 and 4 ~~should may~~ be caused by their thermoplasticity and hygroscopicity due to the higher contents of low-molecular weight sugars ~~and FOS~~ which have low glass transition temperatures (Bhandari *et al.*, 1997). The high thermoplasticity and hygroscopicity resulted in the powder agglomeration and powder swelling as apparently shown in Figure 5 (b) and (d). The reason why the ~~unblanched-non-blanch~~ samples had higher ~~contents-of~~ low-molecular weight sugars ~~content~~ was that these ~~compositions-components~~ could be easily ~~lost-to-leached into~~ the hot water during blanching pre-treatment.

According to the particle size distribution of JATP1 and JATP3 as shown in Figure 3 and the particle size of inulin powder 1 and inulin powder 3 as presented in Figure 5, it appears that the average particle size of JATP1 is larger than that of JATP3 but the particle size of inulin powder 1 is smaller than that of inulin powder 3. The possible reason is that the inulin powder 3 contained much higher contents of low-molecular weight sugars and FOS than inulin powder 1. These low-molecular weight sugars and FOS have high thermoplasticity and hygroscopicity resulting in more agglomeration, swelling and subsequently particle size of inulin powder 3 larger than those of inulin powder 1. Dissimilarly, although the JATP 3 had higher contents of low-molecular weight sugars and FOS than JATP1, the other compounds such as proteins and insoluble fiber in JATP might help protecting these sugars and FOS from agglomeration and swelling by entrapping these sugars and FOS into their structures.

3.4 The contents of sugars, FOS and inulin-type fructans in JATP and inulin

~~powders~~ powder

487 The content of sugars, FOS and inulin-type fructans in JATP and inulin powders ~~are~~
 488 ~~is~~ presented in Table 4. The result ~~showed-shows~~ that the contents of fructose and glucose in
 489 all JATP samples were low with the values in the range of 0.01-0.08 g/100 g_{dry mass} and 0.02-
 490 0.05 g/100 g_{dry mass} respectively, excepting for the JATP3 that ~~showed-shows~~ higher levels of
 491 fructose and glucose. The sucrose contents in all JATP samples were much higher than the
 492 contents of fructose and glucose. This tendency ~~was-alongagrees~~ with the findings of
 493 Saengthongpinit and Sajjaanantakul (2005) who stated that the contents of glucose, fructose
 494 and sucrose of fresh 20-week maturity JAT were 0.26, 3.00 and 8.76 g/100 g_{dry mass}
 495 correspondingly. Moreover, they found that sucrose ~~contents-content~~ ~~increased~~ significantly
 496 ~~increased-along-the-with a~~ longer storage time at 5°C. The significantly higher level of inulin-
 497 type fructans (DP = 2 to 60) were found in JATP samples containing peel. This result implied
 498 that there is a higher content of inulin-type fructans in JAT peel than JAT flesh. It appears
 499 that the lower contents of sugars and inulin-type fructans were found in blanched JATP
 500 samples than non-blanched counterparts. It should be due to the leaching of sugars and
 501 inulin-type fructans from JAT to the water during blanching. Takeuchi and Nagashima
 502 (2011) reported that 20–30% of inulin was lost during blanching. Although blanching
 503 resulted in the lower contents of sugars, FOS and inulin-type fructans in blanched JATP
 504 samples, the different result was found in case of inulin powder. It appears that the inulin
 505 powder produced from the blanched JATP samples had higher contents of inulin-type
 506 fructans than the non-blanched counterparts. The collapse of cells and pores during hot water
 507 blanching caused the better inulin extraction from the blanched JATP samples. Furthermore,
 508 Figure 3 illustrated that the average particle size of blanched JATP was larger than non-
 509 blanched JATP samples. Consequently, in case of using non-blanched JATP samples for
 510 inulin powder production more impurities such as protein and insoluble fiber would be able
 511 to pass the multifil bag during the separation of sediment from inulin extract in basket
 512 centrifuge. More impurities in the inulin extract resulted in the lower proportion of inulin-
 513 type fructans in inulin powder. Among all JATP samples, JATP1 contained the lowest level
 514 of total sugars (fructose, glucose and sucrose) and lowest FOS content but almost the highest
 515 level of inulin-type fructans. This characteristic was preferable if it was consumed as the food
 516 supplement especially for diabetics. The inulin-type fructan contents in JATP samples were
 517 was lower than those-in samples investigated by Saengthongpinit and Sajjaanantakul (2005)
 518 who showed that it was around 88 g/100 g_{dry mass} in the fresh JAT at 20-week maturity-JAT.
 519 De Leenheer and Hoebregs (1994), Coussement (1999) and Saengthongpinit &

Formatted: Not Highlight

Formatted: Not Highlight

Formatted: Not Highlight

Formatted: Not Highlight

Formatted: Not Highlight

Sajjaanantakul (2005) pointed out that the sugars, FOS and inulin-type fructans in JAT depended upon various factors, such as JAT variety, climate and growing conditions, harvesting maturity, storage time and temperature after harvest. In this study, the fresh JAT samples were stored at 2°C for many weeks leading to the degradation of inulin-type fructans.

For the inulin powders, it was clear that all samples (inulin powder 1-4) contained more FOS and inulin-type fructans than JATP counterparts showing that extraction process applied in this study could ~~dispose-remove~~ some impurities. The amount of sugars and FOS also increased if comparing with those of JATP. ~~Non~~-peeling and blanching pre-treatment resulted in the highest level of inulin-type fructans but the lowest level of total sugars and lowest-FOS as shown in the result of inulin powder 1. Moreover, the inulin-type fructan content of inulin powder 1 was comparable to those reported by Bekers et al. (2008). According to Bekers et al. (2008), JAT chips were extracted in water at 50°C with stirring for 4 h. Then JA extract was concentrated by boiling at 100°C for 2 h. After evaporation, the inulin content of 55.87% dry mass was found in JA syrup. According to the result of this section, it can be stated that the pre-treatment applied for JATP1 preparation was the suitable pre-treatment because it provided low sugars, reasonable FOS and high inulin-type fructan products.

3.5 Production yield

The experimental data obtained from inulin production processes, powder recovery percentage in spray drying process and production yields of inulin powder are presented in Table 5. Total solids in the feeds (concentrated extract) prepared from blanched samples (JATP1 and JATP3) were visibly lower than those of ~~unblanched-non-blanched~~ samples (JATP2 and JATP4). These results agreed with the percentage of solubility as previously discussed. The values of powder recovery ranged between 80.96 – 91.35% indicating that the inulin extracts prepared from all JATP samples could be spray dried without difficulty. Therefore, it was unnecessary to add any drying adjuncts into the feed. When ~~deeming~~ considering the values of production yields of inulin powder, it ~~was-apparent~~ appears that producing the inulin powder from ~~unblanched-non-blanched~~ samples resulted in higher yields. The key reason was the higher ~~percentage-of~~ solubility of ~~unblanched-non-blanched~~ samples and subsequently higher total solids in the feeds. ~~Nonetheless~~ Furthermore, the inulin-type fructan weights in collected inulin powders produced from 300 g of JATP can be

~~estimated by if multiplying using~~ the values of (1) production yields of inulin powder calculated in this part ~~with (2) the amount of JATP used for each inulin powder production experiment (300 g), (3) dry solid content (% w.b.) in JATP [(100 - moisture content of JATP in Table 3)/100], and (4) the~~ and the inulin-type fructan contents in Table 4. ~~I for estimating the inulin-type fructan weights in collected inulin powders produced from 300 g of JATP using the equation 4,~~ it ~~appeared~~ appears that they were 71.74, 71.31, 57.12 and 57.59 g 76.94, 75.61, 60.83 and 61.52 g if using 300 g of JATP1, JATP2, JATP3 and JATP4 as raw materials respectively. Therefore, the pre-treatment applied for JATP1 sample preparation was deemed suitable because it provided the highest inulin-type fructan weight in collected inulin powders produced from the identical amount of JATP.

4. Conclusions

The JATP1 sample prepared using non-peeling and blanching pre-treatments had the darkest color due to non-enzymatic browning reaction occurring during blanching. However, blanching pre-treatment should be applied in order to ~~obstruct~~ prevent the browning reaction from occurring during storage of JATP and inulin powder production process. The blanched samples (JATP1 and JATP3) contained ~~more~~ higher proportions of larger particles than ~~unblanched~~ non-blanched specimens (JATP2 and JATP4). The pre-treatment applied for JATP1 preparation was the most suitable pre-treatment because it ~~provided~~ resulted in the lowest sugar content and the highest inulin-type fructan content ~~products~~ together with the maximum inulin-type fructan ~~weight~~ content in collected inulin ~~powders~~ powder produced from a specific amount of JATP.

Acknowledgments

This research was jointly funded by Kasetsart University and the Thailand Research Fund.

References

Angus, F., S. Smart and C. Shortt. 2005. Prebiotic ingredients with emphasis on galactooligosaccharides and fructo-oligosaccharides. In: Tamime AY, editor. *Probiotic dairy products*. Oxford: Blackwell Publishing. 120–137.

Formatted: Tab stops: 1.09", Left

584 AOAC, 2005. *Official Method of Analytical of AOAC International, 18th Edition*. Method:
585 990.19 and 997.08. AOAC International, Maryland, USA.

586 Bach, V., U. Kidmose, G. K. Bjorn, and M. Edelenbos. 2012. Effects of harvest time and
587 variety on sensory quality and chemical composition of Jerusalem artichoke (*Helianthus*
588 *tuberosus*) tubers. *Food Chem.* 133: 82–89.

589 Bach, V., S. Jensen, M. R. Clausen, H. C. Bertram, and M. Edelenbos. 2013. Enzymatic
590 browning and after-cooking darkening of Jerusalem artichoke tubers (*Helianthus*
591 *tuberosus* L.). *Food Chem.* 141: 1445–1450.

592 Baldini, M., F. Danuso, M. Turi, and G. P. Vannozzi. 2004. Evaluation of new clones of
593 Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) for inulin and sugar yield from stalks and
594 tubers. *Ind. Crop. Prod.* 19: 25–40.

595 Bekers, M., M. Grube, M., D. Upite, E. Kaminska, A. Danilevich and U. Viesturs. 2008.
596 Inulin syrup from dried Jerusalem Artichoke. *LLU Raksti*. 21(315): 116–121.

597 Bhandari, B. R., N. Dutta, and T. Howes. 1997. Problems associated with spray drying
598 of sugar-rich food. *Dry. Technol.* 15(2): 671–684.

599 Blecker, C., C. Fougnes, J. C. Van Herck, J. P. Chevalier, and M. Paquot. 2002. Kinetic
600 study of the acid hydrolysis of various oligofructose samples. *J. Agric. Food Chem.* 50(6):
601 1602–1607.

602 Chabbert, N., J. P. Guiraud, M. Arnoux, and P. Galzy. 1985. Productivity and fermentability
603 of different Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) cultivars. *Biomass.* 6: 271–284.

604 Chabbert, N., P. Braun, J. P. Guiraud, M. Arnoux, and P. Galzy. 1993. Productivity and
605 fermentability of Jerusalem artichoke according to harvest date. *Biomass.* 3: 209–224.

606 Coussement, P. 1999. Inulin and oligofructose as dietary fiber: analytical, nutrition and legal
607 aspects. In: Cho, S S., L. Prosky, and M. Greher (Eds.), *Complex carbohydrates in foods*.
608 Marcel Dekker, New York. 411–429.

609 De Leenheer, L., and H. Hoebregs. 1994. Progress in the elucidation of the composition of
610 chicory inulin. *Starch/Staerke*. 46: 193–196.

611 Franck, A. 2002. Technological functionality of inulin and oligofructose. *Br. J. Nutr.* 87:
612 S287–S291.

613 Hughes, J. C., J. E. Ayers, and T. Swain. 1962. After-cooking blackening in potatoes. 1–
614 Introduction and analytical methods. *J. Sci. Food Agric.* 13(4): 224–229.

615 Joye, D., and H. Hoebregs. 2000. Determination of oligofructose, a soluble dietary fiber, by
616 high-temperature capillary gas chromatography. *J. AOAC Intl.* 83: 1020–1025.

Formatted: Font: Italic

- 617 Judprasong, K., S. Tanjor, P. Puwastien, and P. Sungpuag. 2011. Investigation of Thai plants
618 | for potential sources of inulin-type fructans. *J. Food Compos. Anal.* 24: 642–649.
- 619 Kaack, K., L. P. Christensen, S. L. Hansen, and K. Grevsen. 2004. Non-structural
620 | carbohydrates in processed soft fried onion (*Allium cepa* L.). *Eur. Food Res. Technol.* 218:
621 | 372–379.
- 622 Kocsis, L., P. Liebhard, and W. Praznik. 2007. Effect of seasonal changes on content and
623 | profile of soluble carbohydrates in tubers of different varieties of Jerusalem artichoke
624 | (*Helianthus tuberosus* L.) tubers. *J. Agr. Food Chem.* 55: 9401–9408.
- 625 Lorenzo, K. S., J. L. Navia, and D. S. Neiditch. 1999. Preparation of inulin products. *US.*
626 | *Patent no.* 5,968,365.
- 627 Li, H., Zhu, J. Qiao, J. Du, and H. Zhang. 2012. Optimization of the main liming process for
628 | inulin crude extract from Jerusalem artichoke tubers. *Front. Chem. Sci. Eng.* 6(3): 348–
629 | 355.
- 630 Lingyun, W., W. Jianhua, Z. Xiaodong, T. Da, Y. Yalin, C. Chenggang, F. Tianhua, and Z.
631 | Fan. 2007. Studies on the extracting technical conditions of inulin from Jerusalem
632 | artichoke tubers. *J. Food Eng.* 79(3): 1087–1093.
- 633 Marx, S. P., J. Nosberger, and M. Frehner. 1997. Seasonal variation of fructan-bfructosidase
634 | (FEH) activity and characterization of a β -D-(2 $\rightarrow$ 1)-linkage specific FEH from tubers of
635 | Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*). *New Phytol.* 135: 267–277.
- 636 Meijer, W. J. M., and E. W. J. M. Mathijssen. 1993. Experimental and simulated production
637 | of inulin by chicory and Jerusalem artichoke. *Ind. Crop. Prod.* 1: 175–183.
- 638 Milala, J., K. Grzelak, B. Krol, J. Juskiewicz, and Z. Zdunczyk. 2009. Composition and
639 | properties of chicory extracts rich in fructans and polyphenols. *Pol. J. Food Nutri. Sci.*
640 | 59(1): 35–43.
- 641 Modler, H. W., J. D. Jones and G. Mazza. 1993. Observations on long-term storage and
642 | processing of Jerusalem artichoke tubers (*Helianthus tuberosus*). *Food Chem.* 48: 279–
643 | 284.
- 644 Niness, K. R. 1999. Inulin and oligofructose: What are they? *J. Nutr.* 129: 1402S–1406S.
- 645 Roberfroid, M. B. 2007. Inulin-typed fructans: functional food ingredients. *J. Nutr.* 137:
646 | 2493S–2502S.
- 647 Ronkart, S. N., C. Deroanne, M. Paquot, C. Fougnyes, J. C. Lambrechts, and C. S. Blecker.
648 | 2007. Characterization of the physical state of spray-dried inulin. *Food Biophys.* 2:83–92.
- 649 Rubel, I. A., E. E. Pérez, D. B. Genovese, and G. D. Manrique. 2014. *In vitro* prebiotic
650 | activity of inulin-rich carbohydrates extracted from Jerusalem artichoke (*Helianthus*

tuberosus L.) tubers at different storage times by *Lactobacillus paracasei*. *Food Res. Intl.* 62: 59–65.

Saengthongpinit, W., and T. Sajjaanantakul. 2005. Influence of harvest time and storage temperature on characteristics of inulin from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers. *Post. Biol. Technol.* 37: 93–100.

Seljåsen, R., and Slimestad, R. 2007. Fructooligosaccharides and phenolics in flesh and peel of spring harvested *Helianthus tuberosus*. In: Desjardins, Y. (Ed.), *Proceedings of the 1st International Symposium on Human Health Effects of Fruits and Vegetables*. Vol. 744: 447–450.

Simonovska, B. 2000. Determination of Inulin in Foods. *J. AOAC Intl.* 83: 675–678.

Sirisansaneeyakul, S., N. Worawuthiyanan, W. Vanichsriratanana, P. Srinophakun and Y. Chisti. 2007. Production of fructose from inulin using mixed inulinases from *Aspergillus niger* and *Candida guilliermondii*. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 23: 543–552.

Sootjarit, S., W. Jittanit, S. Phompan, and P. Rerkdamri. 2011a. Moisture sorption behavior and drying kinetics of pre-germinated rough rice and pre-germinated brown rice. *T. ASABE*. 54(1): 255–263.

Sootjarit, S., W. Jittanit, and V. Surojanametakul. 2011b. Effects of drying methods on the nutritional and physical qualities of pre-germinated rice. *T. ASABE*. 54(4): 1423–1430.

Stanley, J. K. and S. F. Nottingham. 2007. *Biology and Chemistry of Jerusalem Artichoke: Helianthus tuberosus L.* CRC Press, Boca Raton, Florida.

Takeuchi, J. and T. Nagashima. 2011. Preparation of dried chips from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers and analysis of their functional properties. *Food Chem.* 126: 922–926.

Tanjor, S., K. Judprasong, C. Chaito, and S. Jogloy. 2012. Inulin and fructooligosaccharides in different varieties of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). *KKU Res. J.* 17(1): 25–34.

Totosaus, A., and M. L. Perez-Chabela. 2009. Textural properties and microstructure of low-fat and sodium-reduced meat batters formulated with gellan gum and dicationic salts. *LWT Food Sci. Technol.* 42: 563–569.

Formatted: Font: Italic

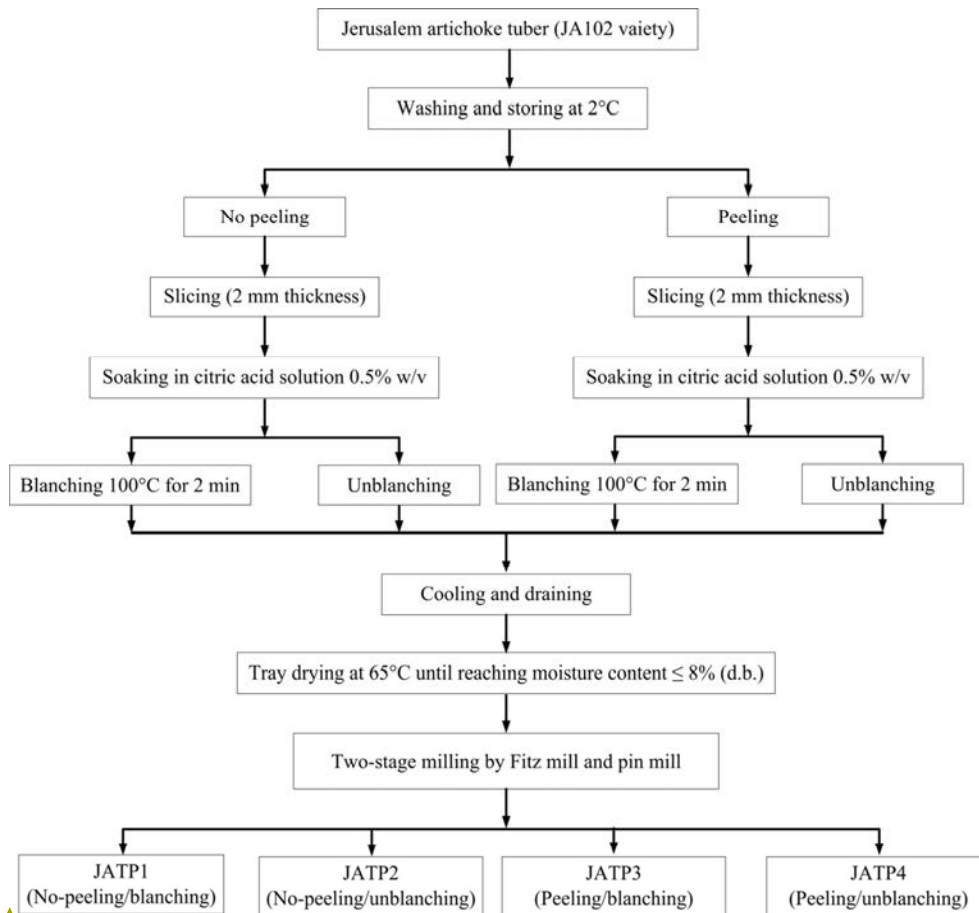
Formatted: Font: Italic

- 682 Van Loo, J., P. Coussement, L. D. Leenheer, H. Hoebregs, and G. Smits. 1995. On the
683 presence of inulin and oligofructose as natural ingredients in the western diet. *Crit. Rev.*
684 *Food Sci. Nutr.* 35: 525–552.
- 685 Vokov, K., M. Erdelyi, and E. Pichler-Magyar. 1993. Preparation of pure inulin and various
686 inulin-containing products from Jerusalem artichoke for human consumption and for
687 diagnostic use. In *Inulin and inulin-containing crops*, 341-345. A. Fuchs, ed. Amsterdam:
688 Elsevier.
- 689 [Vorasoot, N., and S. Jogloy. 2006. Inulin: Non-digestible carbohydrate as soluble fiber from](#)
690 [Kaentawan for human health. *Khon Kaen Agric.* 34\(2\): 85-91.](#)
- 691 Wei, W._Q., Z. Jin, Z. Xia, and L._W. Yi. 2002. Using the microwave to extract the inulin
692 from Jerusalem artichoke. *Journal of Ningxia University (Natural Science edition)*. 4.
- 693 Yildiz, S. Y. 2006. *Production of sweetening syrups with functional properties*. The graduate
694 school of natural and applied science, Middle East Technical University.
- 695 Ziyen, E., and S. Perkyardimci. 2003. Characterization of polyphenol oxidase from Jerusalem
696 artichoke (*Helianthus tuberosus*). *Turk J. Chem.* 27: 217–225.

Formatted: Font: Italic

|

For Review Only



Formatted: Font: Times New Roman, 12 pt

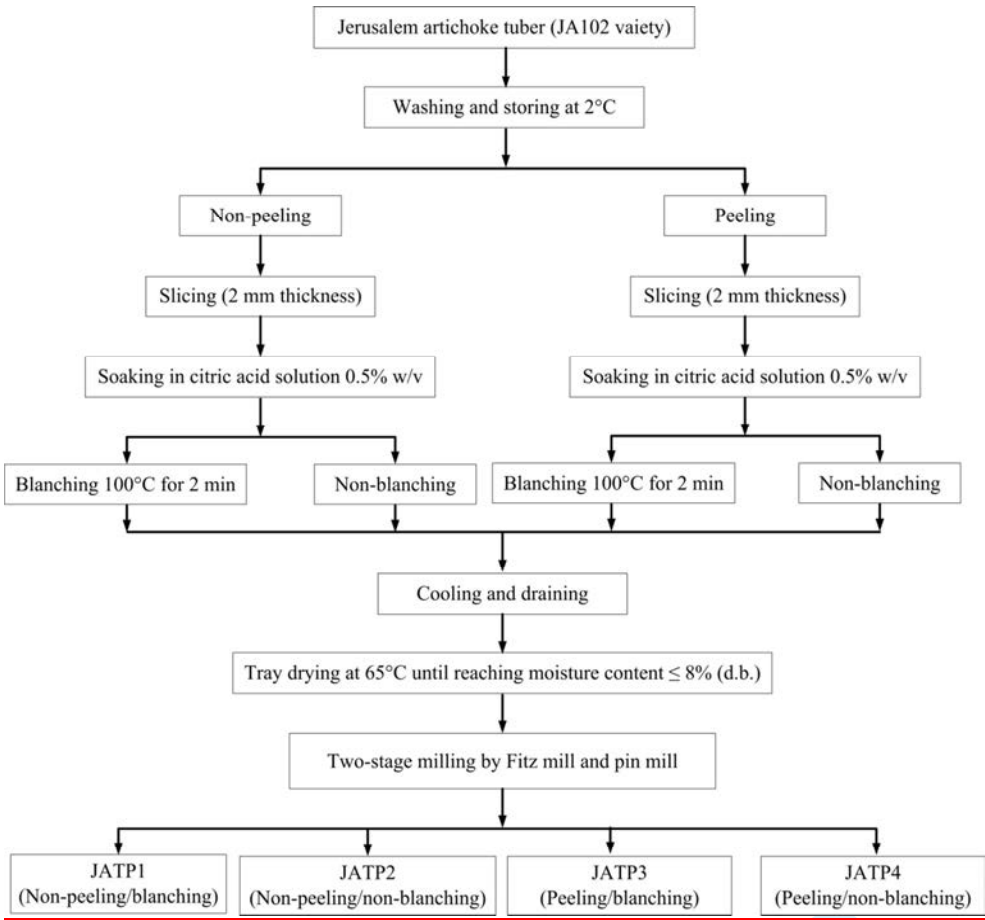


Figure 1. The procedure of JATP production.

Formatted: Font: Bold

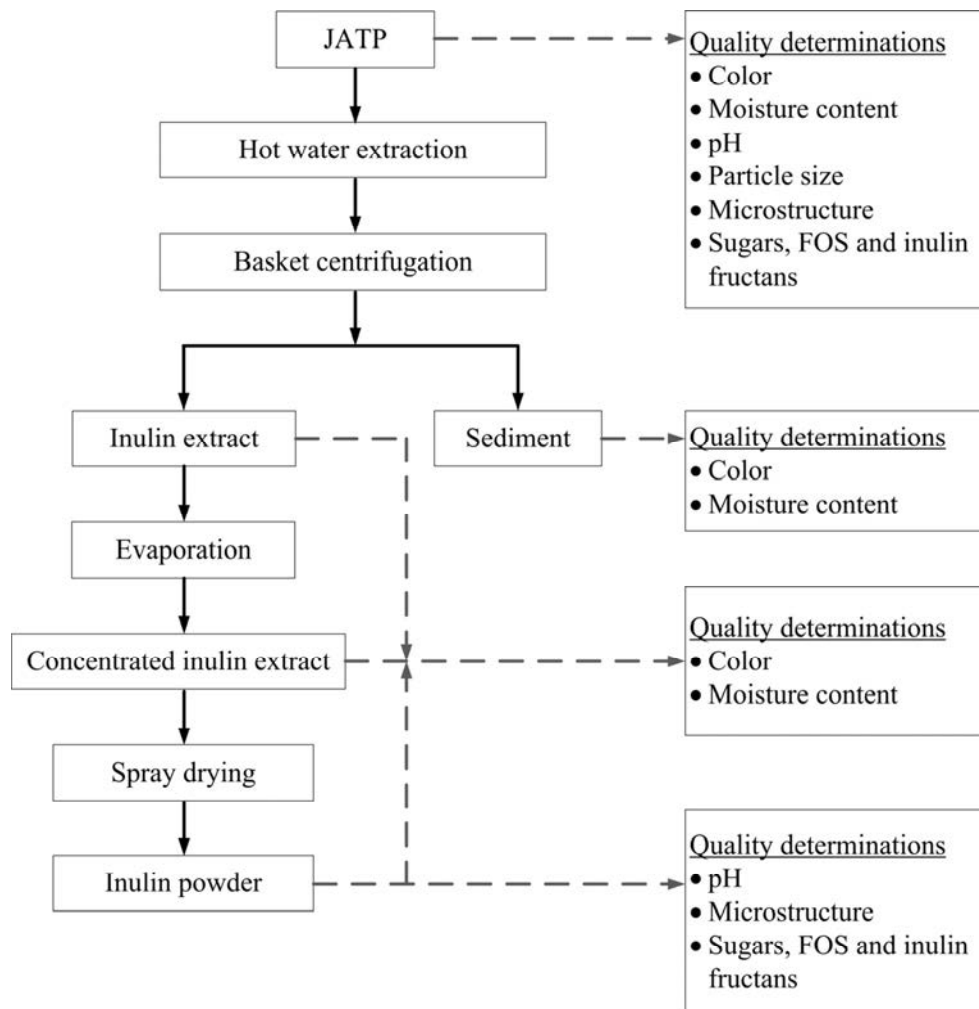


Figure 2. Inulin powder production process and quality determinations for each step.

Formatted: Font: (Default) Times New Roman, 12 pt

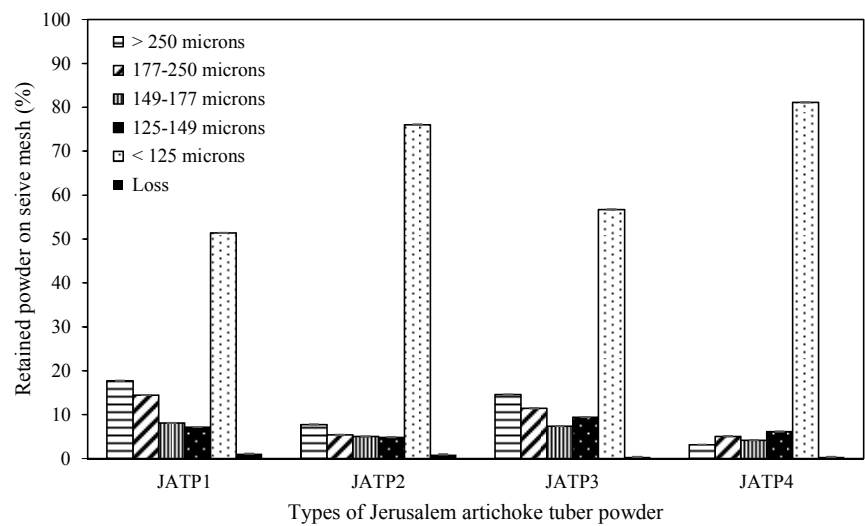


Figure 3. The particle size distributions of JATP samples.

Formatted: Font: Bold

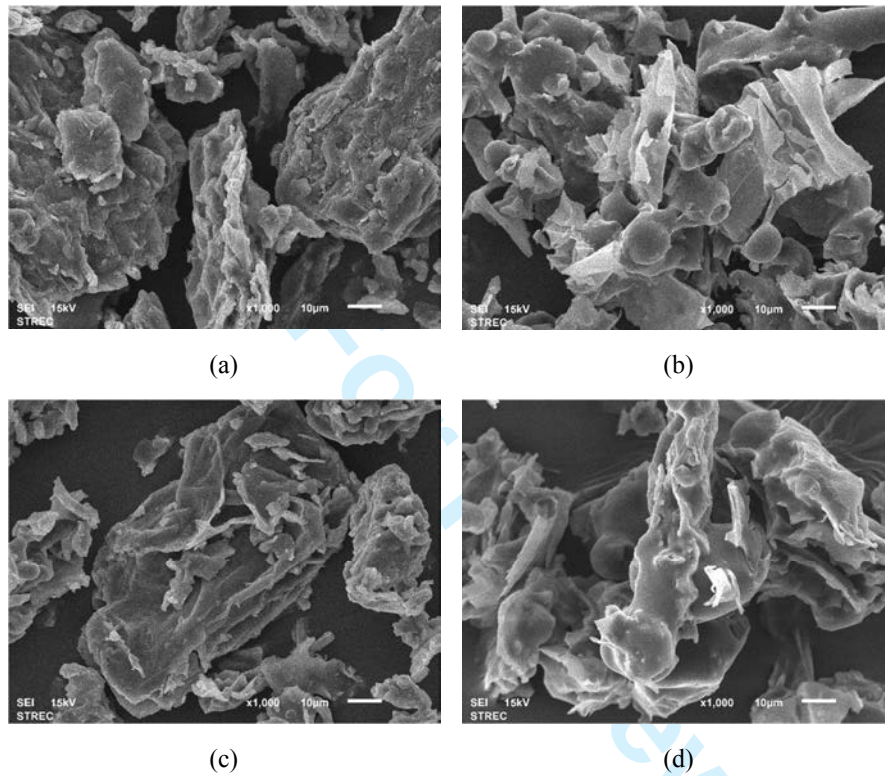


Figure 4. Scanning electron microscope photographs of JATP samples: (a) JATP1 (no peeling/blanching); (b) JATP2 (no peeling/non-blanching); (c) JATP3 (peeling/blanching); (d) JATP4 (peeling/non-blanching) (1,000x).

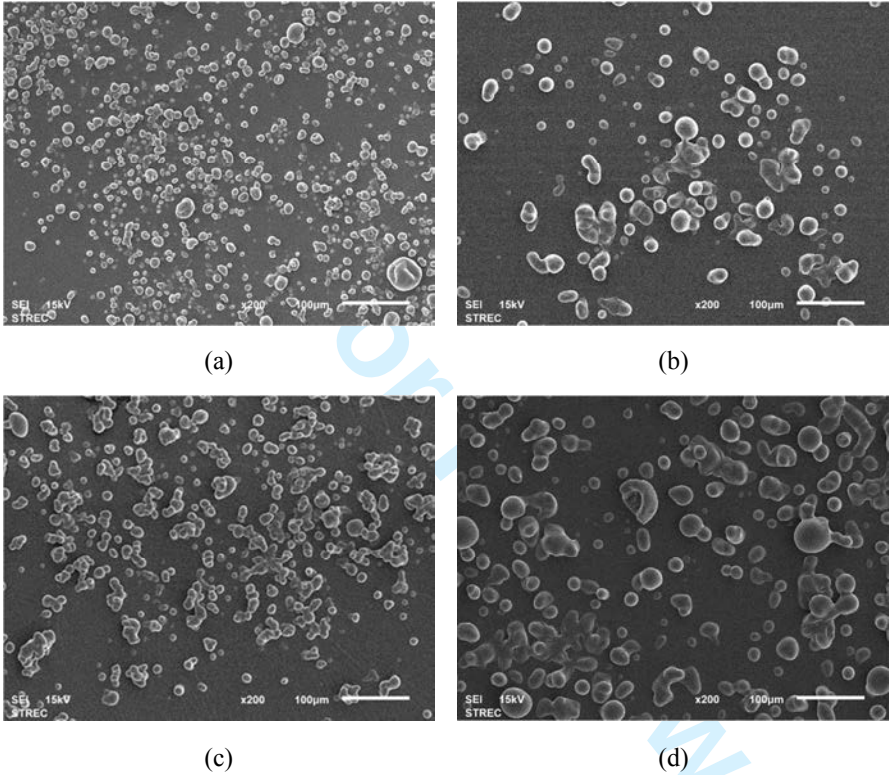


Figure 5. Scanning electron microscope photographs of inulin powder produced from different JATP samples: (a) Inulin 1 (JATP1); (b) Inulin 2 (JATP 2); (c) Inulin 3 (JATP 3); (d) Inulin 4 (JATP4) (200x).

Table 1. Color values of samples collected from each production step.

Sample	Color		
	Lightness (L*)	Redness (a*)	Yellowness (b*)
Jerusalem artichoke tuber powder (JATP)			
JATP1 (non-peeling/blanching)	72.38 ^d ± 0.24	0.27 ^a ± 0.05	13.56 ^a ± 0.17
JATP2 (non-peeling/ non-un blanching)	84.07 ^b ± 0.06	-0.14 ^b ± 0.03	11.44 ^c ± 0.03
JATP3 (peeling/blanching)	83.70 ^c ± 0.08	-0.82 ^c ± 0.01	12.22 ^b ± 0.04
JATP4 (peeling/ non-un blanching)	86.89 ^a ± 0.18	-0.93 ^d ± 0.02	10.84 ^d ± 0.05
Sediment			
Sediment 1	49.86 ^c ± 0.56	1.99 ^b ± 0.02	18.46 ^a ± 0.17
Sediment 2	39.15 ^d ± 0.05	3.30 ^a ± 0.19	18.39 ^a ± 0.17
Sediment 3	61.01 ^a ± 0.05	-0.44 ^d ± 0.04	16.68 ^c ± 0.05
Sediment 4	54.69 ^b ± 0.12	0.70 ^c ± 0.06	17.22 ^b ± 0.09
Inulin extract			
Extract 1	53.01 ^c ± 0.90	-1.79 ^c ± 0.16	12.68 ^b ± 0.18
Extract 2	50.63 ^d ± 0.31	-0.08 ^a ± 0.06	20.81 ^a ± 0.13
Extract 3	57.31 ^b ± 0.73	-1.29 ^b ± 0.01	4.32 ^d ± 0.09
Extract 4	61.63 ^a ± 0.66	-1.72 ^c ± 0.01	5.19 ^c ± 0.08
Concentrated inulin extract			
Concentrate 1	13.83 ^b ± 0.24	2.04 ^b ± 0.17	10.90 ^b ± 0.40
Concentrate 2	7.85 ^d ± 0.11	2.31 ^b ± 0.09	7.70 ^c ± 0.19
Concentrate 3	20.94 ^a ± 0.28	2.17 ^b ± 0.24	11.76 ^a ± 0.08
Concentrate 4	9.73 ^c ± 0.39	5.98 ^a ± 0.01	11.79 ^a ± 0.48
Spray dried powder			
Inulin powder 1	77.43 ^b ± 0.09	0.45 ^b ± 0.03	14.39 ^c ± 0.06
Inulin powder 2	71.59 ^d ± 0.03	1.64 ^a ± 0.02	17.02 ^b ± 0.06
Inulin powder 3	84.08 ^a ± 0.14	-0.44 ^c ± 0.02	11.08 ^d ± 0.10
Inulin powder 4	75.07 ^c ± 0.17	1.70 ^a ± 0.06	19.88 ^a ± 0.01

Remark: Different letters in the same column within the same sample group indicate that values are significantly different ($p < 0.05$).

Table 2. The moisture content and pH of JATP and inulin powder samples.

Sample	Moisture content (% w.b.)	pH
Jerusalem artichoke tuber powder (JATP)		
JATP1 (non-peeling/blanching)	6.75 ^a ± 0.07	5.88 ^b ± 0.00
JATP2 (non-peeling/ non -blanching)	5.68 ^d ± 0.02	5.54 ^c ± 0.00
JATP3 (peeling/blanching)	6.09 ^c ± 0.01	5.91 ^a ± 0.01
JATP4 (peeling/ non -blanching)	6.39 ^b ± 0.03	5.52 ^d ± 0.02
Inulin powder produced from JATP		
Inulin powder 1 (from JATP1)	5.77^{bc} ± 0.08 4.82 ^e ± 0.05	5.75 ^c ± 0.00
Inulin powder 2 (from JATP2)	7.56^a ± 0.04 6.41 ^a ± 0.22	5.67 ^d ± 0.03
Inulin powder 3 (from JATP3)	5.72^c ± 0.16 5.21 ^b ± 0.06	5.90 ^b ± 0.02
Inulin powder 4 (from JATP4)	5.95^b ± 0.08 5.18 ^b ± 0.14	6.65 ^a ± 0.01

Remark: Different letters in the same column within same sample group indicate that values are significantly different (p < 0.05).

Formatted: Not Highlight

Formatted: Not Highlight

Formatted: Not Highlight

Formatted: Not Highlight

Table 3. Experimental data obtained from extraction and basket centrifugation processes.

	JATP-1	JATP2	JATP3	JATP4
JATP (g)	300	300	300	300
Moisture content of JATP (% w.b.)	6.75^a ± 0.076 75	5.68^d ± 0.025 68	6.09^c ± 0.016 09	6.39^b ± 0.036 39
Dry solid in JATP (g)	279.75	282.96	281.73	280.83
Weight of sediment separated by basket centrifuge after extraction (g)	967	661	1017	442
Moisture content of sediment (% w.b.)	88.15^b ± 0.218 15	88.09^b ± 0.148 09	89.69^a ± 0.108 69	87.44^c ± 0.078 44
Dry solid in sediments (g)	114.56	78.74	104.88	55.50
Soluble solid in extract (g)	165.19	204.22	176.85	225.33
Solubility (%)	59.05	72.17	62.77	80.24

Formatted: Font: 12 pt

Formatted: Font: 12 pt

Formatted: Font: 12 pt

Formatted: Font: 12 pt

Formatted: Font: 12 pt

Formatted: Font: 12 pt

Formatted: Font: 12 pt

Formatted: Font: 12 pt

Table 4. Sugar_s, FOS and inulin-type fructans in JATP and inulin powder_s

Sample	Sugars (g/100 g _{dry mass})			Fructo-oligosaccharide (FOS) (g/100 g _{dry mass})			Inulin-type fructans (g/100g _{dry mass})
	Fructose	Glucose	Sucrose	GF ₂	GF ₃	GF ₄	
Jerusalem artichoke tuber powder (JATP)							
JATP-1 (non-peeling/blanching)	0.01 ^c ± 0.00	0.02 ^d ± 0.00	9.97 ^c ± 1.59	6.71 ^f ± 0.06	4.97 ^g ± 0.05	4.12 ^c ± 0.06	39.09 ^c ± 0.87
JATP-2 (non-peeling/ non -blanching)	0.08 ^c ± 0.02	0.03 ^d ± 0.01	24.46 ^c ± 0.33	10.28 ^{de} ± 0.09	6.37 ^f ± 0.08	4.36 ^c ± 0.11	39.98 ^c ± 0.19
JATP-3 (peeling/blanching)	1.29 ^c ± 0.02	0.33 ^c ± 0.11	23.64 ^c ± 0.32	9.81 ^c ± 0.19	6.97 ^c ± 0.09	5.03 ^{cd} ± 0.11	26.14 ^c ± 0.18
JATP-4 (peeling/ non - un -blanching)	0.01 ^e ± 0.00	0.05 ^b ± 0.01	28.00 ^b ± 2.64	11.55 ^c ± 0.17	7.35 ^d ± 0.07	4.78 ^d ± 0.04	33.81 ^d ± 1.44
Spray dried inulin powder							
Inulin powder 1	2.27 ^b ± 0.47	0.40 ^c ± 0.12	20.95 ^d ± 0.39	9.83 ^c ± 0.11	7.48 ^{cd} ± 0.14	5.88 ^a ± 0.13	56.29 ^a ± 0.58
Inulin powder 2	3.49 ^a ± 0.12	0.89 ^a ± 0.10	28.88 ^b ± 0.52	10.74 ^d ± 0.23	7.65 ^c ± 0.05	5.39 ^b ± 0.08	42.11 ^b ± 0.39
Inulin powder 3	0.70 ^d ± 0.28	0.22 ^{cd} ± 0.06	36.88 ^a ± 2.89	14.42 ^a ± 0.64	9.05 ^a ± 0.37	6.09 ^a ± 0.36	40.27 ^c ± 1.37
Inulin powder 4	3.45 ^a ± 0.42	0.64 ^b ± 0.30	37.72 ^a ± 0.74	12.45 ^b ± 0.24	8.05 ^b ± 0.15	5.20 ^{bc} ± 0.07	34.68 ^d ± 0.34

Remark: Different letters in the same column indicate that values are significantly different (p < 0.05).

Formatted: Font: Not Bold

Formatted: Font: Not Bold

Formatted: Subscript

Formatted: Subscript

Formatted: Subscript

Table 5. Experimental data obtained from inulin production processes and calculated production yields

	JATP 1	JATP2	JATP3	JATP4
JATP (g)	300	300	300	300
Moisture content of JATP (% w.b.)	6.75^a ± 0.076 75	5.68^d ± 0.025 68	6.09^c ± 0.016 09	6.39^b ± 0.036 39
Dry solid in JATP (g)	279.75	282.96	281.73	280.83
°Brix of concentrated extract	29.3	30.3	30.5	30.5
Weight of concentrated extract (g)	520	680	540	715
Total solid in the feed (g)	152.36	206.04	164.70	218.07
Powder collected from spray drying (g)	135.25	183.21	150.45	176.56
Moisture content of spray dried powder (% w.b.)	5.77^{bc} ± 0.085 77	7.56^a ± 0.047 56	5.72^c ± 0.165 72	5.95^b ± 0.085 95
Total solid in collected spray dried powder (g)	127.45	169.36	141.84	166.05
Powder recovery in spray drying (%)	88.77	88.92	91.35	80.96
Production yield of inulin powder (%)	45.56	59.85	50.35	59.13

Formatted: Font: 12 pt

Formatted: Font: 12 pt

Formatted: Font: 12 pt

Formatted: Font: 12 pt

Formatted: Font: 12 pt

Formatted: Font: 12 pt

Formatted: Font: 12 pt

Formatted: Font: 12 pt

Reply of the authors to the reviewers’ comments

PRS-11036-2014: Effect of pretreatments on qualities of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tuber powder and the inulin extraction

The 1st Reviewer

Line #/item	Is	Should be/comment	
1	Qualities	quality	The authors replaced “qualities” by “quality” as the reviewer’s comment.
16-20	In this study, the Jerusalem artichoke tuber (JAT) samples were pretreated by 4 different conditions including no-peeling/blanching, no-peeling/unblanching, peeling/blanching and peeling/unblanching prior to hot air drying and milling to be fine powder. The Jerusalem artichoke tuber powder (JATP) specimens were determined their physical characteristics in aspects of color, moisture content	In this study, the Jerusalem artichoke tuber (JAT) samples were pretreated in four different ways including no-peeling/blanching, no- peeling/non-blanching, peeling/blanching and peeling/non-blanching prior to hot air drying and milling into fine powder. The physical characteristics of Jerusalem artichoke tuber powder (JATP) specimens were determined in terms of color, moisture content	The authors changed the statement as the reviewer’s comment. However, the authors decided to reword “no-peeling” to be “non-peeling” in order to be along with the reviewer’s comment of line 179-180.
21	sizes and solubility. Furthermore, they were processed to be inulin powder	size and solubility. Furthermore, they were processed into inulin powder	The authors changed the statement as the reviewer’s comment.
23	from 4 pretreatment conditions were analyzed their sugar, fructo-oligosaccharide	from four pretreatments were analyzed for sugar, fructo- oligosaccharide	The authors changed the statement as the reviewer’s comment.
32	sugar,	sugars,	The authors changed the word “sugar” to be “sugars” as the reviewer’s comment.
52	Northeastern region.	northeastern region.	The authors changed “Northeastern region” to be “northeastern region” as the reviewer’s comment.
68	comprising with hot water extraction	comprising hot water extraction	The authors deleted “with” as the reviewer’s comment.

Line #/item	Is	Should be/comment	
70	inulin production was estimated to be approximately 100,000 ton a year	inulin production is estimated at approximately 100,000 tonnes a year	The authors corrected the statement as the reviewer's comment.
81	important factors influencing the effectiveness of inulin extraction from JAT comprising pH	important factors influencing the effectiveness of inulin extraction from JAT include pH	The authors changed the statement as the reviewer's comment.
84	min at 76.65 °C	min at 76.7 °C	The authors changed "76.65" to be "76.7" as the reviewer's comment.
85	was extracted	was to be extracted	The authors added "to be" as the reviewer's comment.
91	were	was	The authors changed "were" to be "was" as the reviewer's comment.
94	17g and 13g	17 g and 13 g	The authors corrected the statement as the reviewer's comment.
101	the higher	a higher	The authors changed "the" to be "a" as the reviewer's comment.
102, 123	qualities	quality	The authors replaced "qualities" by "quality" as the reviewer's comment.
110	unwanted aromatic flavor	off-flavors	The authors changed "unwanted aromatic flavor" to be "off-flavors" as the reviewer's comment.
111	flavor	flavors	The authors changed "flavor" to be "flavors" as the reviewer's comment.
179-180	pretreatment conditions including no-peeling/blanching, no-peeling/unblanching, peeling/blanching and peeling/unblanching.	pretreatments including non-peeling/blanching, non-peeling/non-blanching, peeling/blanching and peeling/non-blanching. <i>[It would be better to use the terms 'non-peeling' and 'non-blanching' throughout the manuscript, including figures and tables.]</i>	The authors changed the statement as the reviewer's comment.
186	The JAT powder was sreened by 60	The JAT powder was screened through 60	The authors changed the statement as the

Line #/item	Is	Should be/comment	
	and 80	and 80	reviewer's comment.
188, 217	correspondingly.	respectively.	The authors changed "correspondingly" to be "respectively" as the reviewer's comment.
189	presented	shown	The authors changed "presented" to be "shown" as the reviewer's comment.
190	processed to be inulin powder	processed into inulin powder	The authors changed the statement as the reviewer's comment.
193	determinations	determination	The authors changed "determinations" to be "determination" as the reviewer's comment.
197	separated its sediment using	the sediment separated using	The authors changed the statement as the reviewer's comment.
199	to be 30	to a 30	The authors changed "to be 30" to be "to a 30" as the reviewer's comment.
200-201	hot plate stirrer. The concentrated solution was processed to be powder	hot plate with stirring. The concentrated solution was processed into powder	The authors changed the statement as the reviewer's comment.
204	in various facets as presented in Figure 2.	in various stages as shown in Figure 2.	The authors decided to change the phrase to be "in various characteristics as shown in Figure 2." in order to keep the meaning that authors wanted to communicate.
206	In this study, the samples were determined their qualities in various aspects including color, moisture content	In this study, the quality of the samples was determined in terms of color, moisture content	The authors changed the statement as the reviewer's comment.
211	replications	replicates	The authors changed "replications" to be "replicates" as the reviewer's comment.
214	were	was	The authors changed "were" to be "was" as the reviewer's comment.

Line #/item	Is	Should be/comment	
215	VA) in the L*, a*, b* scale. L* represents lightness	using the L*, a*, b* scale. L* represents lightness	The authors changed the statement as the reviewer's comment.
223, 330	75 ml	75 mL	The authors changed "ml" to be "mL" as the reviewer's comment.
227	were	was	The authors changed "were" to be "was" as the reviewer's comment.
228	utilized	used	The authors changed "utilized" to be "used" as the reviewer's comment.
230	was	were	The authors changed "was" to be "were" as the reviewer's comment.
232	to calculate the powder percentage retained on each sieve	to calculate the percentage of powder retained on each sieve	The authors changed the statement as the reviewer's comment.
254	was	were	The authors changed "was" to be "were" as the reviewer's comment.
265	solid	solids	The authors changed "solid" to be "solids" as the reviewer's comment.
279-282	The samples were determined their qualities in various aspects including color, moisture content, pH, particle size, microstructure and the contents of sugars, FOS and inulin-type fructans depending on the production steps that the samples were collected from.	The quality of the samples was determined in terms of color, moisture content, pH, particle size, microstructure and the contents of sugars, FOS and inulin-type fructans at various production steps.	The authors changed the statement as the reviewer's comment.
284-287	The color is one of the main attributes that influence to the consumer preference in JATP and inulin powder. Usually, the less intense color of powder is more preferred. The results of color measurement are presented in Table 1.	The color is one of the main attributes that influence the consumer preference in JATP and inulin powder. Usually, a less intense color of powder is preferred. The results of color measurement are presented in Table 1. It appears that the blanched samples	The authors changed the statement as the reviewer's comment.

Line #/item	Is	Should be/comment	
	It appeared that the blanched samples (JATP1 and JATP3) were significantly darker than those of unblanched counterparts	(JATP1 and JATP3) were significantly darker than the non-blanched counterparts	
290	a* and b*. It should be caused	a* and b* values. This may be caused	The authors changed the statement as the reviewer's comment.
302	unblanched	non-blanched	The authors changed "unblanched" to be "non-blanched" as the reviewer's comment.
312-313	those of unblanched counterparts.	those in non-blanched counterparts.	The authors changed the statement as the reviewer's comment.
314-315	appeared that the tendency was similar to those of sediments and inulin extracts. The reasons for this occurrence would be identical to those of sediments and inulin extracts as priorly explained.	appears that the tendency was similar to that of sediments and inulin extracts. The reasons for this phenomenon would be identical to those in sediments and inulin extracts as previously explained.	The authors changed the statement as the reviewer's comment.
317	obstruct	Prevent	The authors changed "obstruct" to be "prevent" as the reviewer's comment.
321	intense of non-enzymatic darkening reaction	intense non-enzymatic darkening reaction	The authors deleted "of" as the reviewer's comment.
324	due to the high	due to a high	The authors changed "the" to be "a" as the reviewer's comment.
335	sizes	size	The authors changed "sizes" to be "size" as the reviewer's comment.
336-337	The distributions of particle sizes of JATP samples were determined using a mechanical sieve shaker as previously described. The results were shown in Figure 3.	The particle size distribution of JATP samples was determined using a mechanical sieve shaker as previously described. The results are shown in Figure 3.	The authors changed the statement as the reviewer's comment.
338	particle size less than	particle size of less than	The authors changed the statement as the reviewer's comment.

Line #/item	Is	Should be/comment	
339-340	It should be due	This is likely to be due	The authors changed the statement as the reviewer's comment.
341-344	it appeared that the blanched samples (JATP1 and JATP3) contained more proportions of powder with larger particle sizes than unblanched specimens (JATP2 and JATP4). In the other word, the powders of unblanched JAT were finer than those of JAT exposed to blanching step. This result indicated that the blanching pretreatment affected on the grinding	it appears that the blanched samples (JATP1 and JATP3) contained a higher proportion of powder with larger particle sizes than non-blanching specimens (JATP2 and JATP4). In the other words, the powders of non-blanching JAT were finer than those of JAT exposed to blanching pre-treatment. This result indicates that the blanching pre-treatment affected the grinding	The authors changed the statement as the reviewer's comment.
350	the tougher texture	a tougher texture	The authors changed "the" to be "a" as the reviewer's comment.
355-356	It should be due to the fact that the main compositions of the JAT flesh	This may be due to the fact that the main components of the JAT flesh	The authors changed the statement as the reviewer's comment.
358	All of JATP samples	All JATP samples	The authors deleted "of" as the reviewer's comment.
362-364	The greater solubility percentage implied that the lower loss of dry solid happened. Obviously, more amounts	A greater solubility percentage implied a lower loss of dry solids. Obviously, higher amounts	The authors changed the statement as the reviewer's comment.
366	subsequently lower solubility percentage values.	subsequently lower solubility.	The authors changed the statement as the reviewer's comment.
369-370	than unblanched specimens (JATP2 and JATP4); thus, after extraction the size of remaining insoluble solid would be bigger than that of unblanched specimens and then could not pass	than non-blanching specimens (JATP2 and JATP4). Hence, after extraction, the size of remaining insoluble solid would be bigger than that in non-blanching specimens and then could not pass	The authors changed the statement as the reviewer's comment.
372	unblanched	non-blanching	The authors changed "unblanching" to be "non-blanching" as the reviewer's comment.

Line #/item	Is	Should be/comment	
374-378	particle sizes would entrap more amounts of soluble solids especially inulin inside their structure causing lower soluble solids in extract. If comparing between samples with peel (JATP1 and JATP2) and samples without peel (JATP3 and JATP4), it appeared that the solubilities of samples without peel were slightly higher than those of their counterparts. It is because the JAT skin contains more insoluble solid compositions such as cellulose,	particle sizes would entrap more soluble solids especially inulin inside their structure causing lower soluble solids in extract. When comparing samples with peel (JATP1 and JATP2) and samples without peel (JATP3 and JATP4), it appears that the solubility of samples without peel was slightly higher than that of their counterparts. This is because the JAT skin contains more insoluble solid compounds such as cellulose,	The authors changed the statement as the reviewer's comment.
380	powders	powder	The authors changed "powders" to be "powder" as the reviewer's comment.
382-384	JATP samples are illustrated in Figure 4 and 5 correspondingly. It was found that blanching step apparently influenced to the microstructure of powders. The microstructures of blanched samples (JATP 1 and JATP 3) were flattened and more porous than unblanched specimens	JATP samples are shown in Figures 4 and 5 respectively. It was found that blanching step apparently influenced the microstructure of powders. The microstructure of blanched samples (JATP 1 and JATP 3) appear flattened and more porous than that of non-blanched specimens	The authors changed the statement as the reviewer's comment.
390	to hot water	in hot water	The authors changed "to" to be "in" as the reviewer's comment.
391-393	the particle sizes of samples with blanching pretreatment (Inulin 1 and 3) were smaller than unblanched samples (Inulin 2 and 4). The larger sizes of Inulin 2 and 4 should be caused	the particles of samples with blanching pre-treatment (inulin 1 and 3) were smaller than in non-blanched samples (inulin 2 and 4). The larger size of inulin 2 and 4 may be caused	The authors changed the statement as the reviewer's comment.
397-399	The reason why the unblanched	The reason why the non-blanched samples	The authors decided to change the

Line #/item	Is	Should be/comment	
	samples had higher contents of low-molecular weight sugars and FOS was that these compositions could be easily lost to the hot water during blanching pretreatment.	had higher low-molecular weight sugars content and FOS was that these components could be easily leached into the hot water during blanching pre-treatment.	statement to be “The reason why the non-blanching samples had higher low-molecular weight sugars content was that these components could be easily leached into the hot water during blanching pre-treatment.” In order to be along with the experimental result and reviewer’s comment.
401	are	is	The authors changed “are” to be “is” as the reviewer’s comment.
402, 404	showed	shows	The authors changed “showed” to be “shows” as the reviewer’s comment.
406	was along	agrees	The authors changed “was along” to be “agrees” as the reviewer’s comment.
409	that sucrose contents significantly increased along the longer storage time	that sucrose content increased significantly with a longer storage time	The authors changed the statement as the reviewer’s comment.
412	almost highest	almost the highest	The authors added “the” as the reviewer’s comment.
414-416	samples were lower than those investigated by Saengthongpinit and Sajjaanantakul (2005) who showed that it was around 88 g/100 g dry mass in the fresh 20- week maturity JAT.	samples was lower than in samples investigated by Saengthongpinit and Sajjaanantakul (2005) who showed that it was around 88 g/100 g dry mass in the fresh JAT at 20-week maturity.	The authors changed the statement as the reviewer’s comment.
424	dispose	remove	The authors changed “dispose” to be “remove” as the reviewer’s comment.
434	unblanched	non-blanching	The authors changed “unblanched” to be “non-blanching” as the reviewer’s comment.
438-439	When deeming the values of production yields of inulin powder, it was apparent that	When considering the values of production yields of inulin powder, it appears that producing the inulin	The authors changed the statement as the reviewer’s comment.

Line #/item	Is	Should be/comment	
	producing the inulin		
440-441	The key reason was the higher percentage of solubility of unblanched samples and subsequently higher	The key reason was the higher solubility of non-blanched samples and subsequently higher	The authors changed the statement as the reviewer's comment.
453	in order to obstruct the browning reaction occurring	in order to prevent the browning reaction from occurring	The authors changed the statement as the reviewer's comment.
455	more	higher	The authors changed "more" to be "higher" as the reviewer's comment.
457-458	pretreatment because it provided lowest sugar content and highest inulin-type fructan content products together with the maximum inulin-type fructan weight in collected inulin powders	pre-treatment because it resulted in the lowest sugar content and the highest inulin-type fructan content together with the maximum inulin-type fructan content in collected inulin powder	The authors changed the statement as the reviewer's comment.
Figure 1	No-peeling; unblanching	<i>[Please change to 'non- peeling' and 'non-blanching' wherever they occur in this figure.]</i>	The authors corrected the figure as the reviewer's comment.
Figure 3	Caption: 'distributions'. Legend: 250 microns.	<i>[Please change to 'distribution' and '250 microns'.]</i>	The authors corrected the figure as the reviewer's comment.
Figure 4	Caption: 'no-peeling'; 'unblanching'	<i>[Please change to 'non- peeling' and 'non-blanching' wherever they occur in the caption of this figure.]</i>	The authors changed the statement as the reviewer's comment.
Table 1, Table 2; Table 4	No-peeling; unblanching	<i>[Please change to 'non- peeling' and 'non-blanching' wherever they occur in these tables.]</i>	The authors changed the statement as the reviewer's comment.
Table 4	'sugar'	<i>[Please change to 'sugars' wherever they occur in this table.]</i>	The authors changed the statement as the reviewer's comment.

The 2nd reviewer

General comment: This manuscript describes various treatments influence the quality of Jerusalem artichoke tuber powder and the inulin extraction. On scientific point view, there was no new finding in this study. However, the paper was well written, and results may contribute useful information for industrial application. There are some issue should address that prevent the acceptance of this work in its original form, and some of the hypotheses/explanations should be made clearer.

Authors' reply: The authors corrected the manuscript following all of the reviewer's comments to clarify all the issues and subsequently improve the paper quality.

Reviewer's comment: There are only general results in abstract, however, more results and new finding should be also included in abstract.

Authors' reply: The authors added more specific results and new finding into the abstract as following:

"The results indicated that non-peeling/blanching were the pre-treatment that should be applied for the JATP and inulin powder production because it provided JATP with the lowest sugars (10.00 ± 1.59 g/100 g_{dry mass}) and high inulin-type fructans (39.09 ± 0.87 g/100 g_{dry mass}) together with spray-dried inulin powder that has the lowest sugars (23.62 ± 0.98 g/100 g_{dry mass}) and the maximum inulin-type fructans (56.29 ± 0.58 g/100 g_{dry mass}). Also, the benefit of blanching is to help preventing the browning reaction during inulin powder production process."

Reviewer's comment: In present study, the high yields of inulin powder ranged from 45.56% to 59.85% of the JATP dry weight (line 33-34), but Lingyun et al. (2007) obtained maximizing inulin extraction yield of 83.6% in conventional process (line 80-84) that much higher than the present study.

Authors' reply: The authors would like to clarify the reviewer in this point that the production yields of inulin powder (45.56% to 59.85%) shown in both line 33-34 and Table 5 are not the same meaning as the inulin extraction yield (83.6%) in the Lingyun et al. (2007)'s study. The equation (3) in section 2.5.2 was used for calculating the production yield of inulin powder. It is obvious that this yield used the weight of total solid in collected spray-dried powder that passes the extraction, concentration and spray drying processes. On the other hand, the inulin extraction yield used the weight of total solid in the extract that did not pass the concentration and spray drying processes. If the reviewer want to compare the inulin extraction yield of this study with that of Lingyun et al. (2007), the reviewer must use the solubility values in Table 3 that was calculated by applying the equation (1). The meaning of solubility values in this study is comparable with the inulin extraction yield of Lingyun et al. (2007). It was found that the maximum solubility value in this work is 80.24% that is not much different from the maximum inulin extraction yield of 83.6% in the Lingyun et al. (2007)'s study.

Reviewer's comment: Detail blanching process and chemical composition should be included in revised version.

Authors' reply: The detail of blanching process was added into the section 2.1 as the reviewer's comment. The added statement is "For blanching step, the sliced samples were immersed in boiling water for 2 min (Takeuchi and Nagashima, 2011) and then".

Also, the detail of chemical composition determination was added into the section 2.3.6 as the reviewer's comment. The paragraph in the section 2.3.6 was corrected to be

"The sugars, FOS and inulin-type fructans contents in JAT powder and inulin powder were analyzed following the method of AOAC (2005, 997.08). Firstly, total sugars, FOS and inulin-type fructans were extracted from powder samples (2–3 g), containing about 1 g of inulin-type fructans, by applying hot water at 85 ± 2 °C for 15 min in shaking water bath. FOS and inulin-type fructans in a portion of extract were hydrolysed by inulinase. Both hot water extract samples and enzyme hydrolysed fractions were derivatised by oxymation and silylation reactions. Individual sugars which contained native fructose, glucose, sucrose and FOS (1-kestose (GF₂), nystose (GF₃) and 1^F- β -fructofuranosyl nystose (GF₄)) were then defined by high-temperature gas chromatography. For sugars in the solution of inulinase hydrolysed extract which contain native sugars, sugars fractions from inulin and FOS (fructose and glucose) were determined using another gas chromatography (Joye and Hoebregs, 2000; Judprasong *et al.*, 2011). Amount of inulin-type fructans was calculated from the difference of the amounts of each sugar – fructose, glucose and sucrose – before and after enzyme hydrolysis as given in AOAC (2005, 997.08). (Judprasong *et al.*, 2011).".

Reviewer's comment: Add detail explanation on effects of pre-treatment influence the pH and moisture of JATP and inulin powder samples, and how they are related.

Authors' reply: The authors added the following statements in the last paragraph of section 3.1 to provide the detail about the effect of pretreatment on the pH of JATP and inulin powder.

"It is noticeable that the pH values of blanched JATP samples were significantly higher than non-blanched samples. The soaking of sliced JAT samples in citric acid solution should be a cause of the rather low pH values of JATP and inulin powder. The blanching of sliced JAT samples in hot water for 2 min resulted in a slight increase of pH due to the leaching of acidic substances from the sample to water. However, the blanching step is not the key factor that influences the pH values of inulin powder because for the inulin production process, the samples exposed to the hot water extraction for a long time."

For the effect of pretreatment on the moisture content of JATP and inulin powder, the authors added the following statements to the manuscript.

"The effect of pretreatment on the moisture content of JATP is not obvious. Moreover, the pretreatment should not directly influence the moisture content of inulin powder because for the inulin production process, the samples exposed to more heat and moisture during hot water extraction than those during blanching pretreatment."

Reviewer's comment: Add mechanism explanation on how blanching affect content of sugars, FOS, and inulin- type fructans of JATP and inulin powders.

Authors' reply: The authors added the explanation in the 1st paragraph of section 3.4 as the reviewer's comment. The added statements are as follows;

“This result implied that there is a higher content of inulin-type fructans in JAT peel than JAT flesh. It appears that the lower contents of sugars and inulin-type fructans were found in blanched JATP samples than non-blanched counterparts. It should be due to the leaching of sugars and inulin-type fructans from JAT to the water during blanching. Takeuchi and Nagashima (2011) reported that 20–30% of inulin was lost during blanching. Although blanching resulted in the lower contents of sugars, FOS and inulin-type fructans in blanched JATP samples, the different result was found in case of inulin powder. It appears that the inulin powder produced from the blanched JATP samples had higher contents of inulin-type fructans than the non-blanched counterparts. The collapse of cells and pores during hot water blanching caused the better inulin extraction from the blanched JATP samples. Furthermore, Figure 3 illustrated that the average particle size of blanched JATP was larger than non-blanched JATP samples. Consequently, in case of using non-blanched JATP samples for inulin powder production more impurities such as protein and insoluble fiber would be able to pass the multifil bag during the separation of sediment from inulin extract in basket centrifuge. More impurities in the inulin extract resulted in the lower proportion of inulin-type fructans in inulin powder.”

The 3rd reviewer

General comment: This paper studies the effect of pretreatments and qualities for Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tuber powder; and the analysis of the inulin extract. Basically the work of this paper is not of an innovative topic, but it is a fine format to demonstrate detailed investigation and processing for obtaining higher amount of active compound like inulin fructans and with lower sugar content, based on the analysis on combination of no-peeling, peeling, blanching and unblanching of JATP. A procedure and experimental analysis are clear and reasonable. Logically, the result of the JATP production in this work can be a reference for industrial scale-up production. However, some questions need to be cleared in this paper and modifications are necessary.

Authors' reply: The authors clarified all questions of the reviewer. The modifications were carried out following all of the reviewer's comments.

Reviewer's comment: No statistical significant difference analysis is done for Table 3 and 5.

Authors' reply: For Table 3 and 5, the authors added the mean $\pm$ SD values of the experimental results that were determined in replicate. Moreover, the result of statistical

significant difference analysis was indicated. However, for some results in Table 3 and 5, the statistical significant difference analysis cannot be done because 1) some of those results such as dry solid in JATP, dry solid in sediments, soluble solid in extract, solubility, total solid in the feed, total solid in collected spray dried powder and production yield of inulin powder were not directly experimental results but they were calculated using the mean value of experimental data and 2) some results such as weight of sediment separated by basket centrifuge, weight of concentrated extract and powder collected from spray drying were collected from the experiments that were not replicated.

Reviewer's comment: For Table 5, a production yield of inulin powder (%) is shown. Yet, on line 444, it is not clear to show how to calculate and get 76.94g, 75.61g, 60.83g and 61.52g from 300g of JATP1, JATP2, JATP3 and JATP4.

Authors' reply: The authors added the statement "Furthermore, the inulin-type fructan weights in collected inulin powders produced from 300 g of JATP can be estimated by multiplying the values of (1) production yields of inulin powder calculated in this part with (2) the amount of JATP used for each inulin powder production experiment (300 g), (3) dry solid content (% w.b.) in JATP $[(100 - \text{moisture content of JATP in Table 3})/100]$, and (4) the inulin-type fructan contents in Table 4. It appears that they were 71.74, 71.31, 57.12 and 57.59 g if using JATP1, JATP2, JATP3 and JATP4 as raw materials respectively." to the section 3.5 to clarify how to calculate the estimated inulin-type fructan as the reviewer comment.

Moreover, here is calculation;

JATP1

$$\begin{aligned}
 \text{Production yield of inulin powder (\%)} &= 45.56\% \\
 \text{The amount of JATP used for experiment} &= 300 \text{ g} \\
 \text{Dry solid content (\% w.b.) in JATP} &= [(100 - 6.75)/100] = 93.25\% \\
 \text{Inulin type fructan contents (\%)} &= 56.29\% \\
 \text{Estimated inulin content from JATP1 300 g} &= (45.56/100) \times 300 \text{ g} \times (93.25/100) \times (56.29/100) \\
 &= 71.74 \text{ g}
 \end{aligned}$$

JATP2

$$\begin{aligned}
 \text{Production yield of inulin powder (\%)} &= 59.85\% \\
 \text{The amount of JATP used for experiment} &= 300 \text{ g} \\
 \text{Dry solid content (\% w.b.) in JATP} &= [(100 - 5.68)/100] = 94.32\% \\
 \text{Inulin type fructan contents (\%)} &= 42.11\% \\
 \text{Estimated inulin content from JATP2 300 g} &= (59.85/100) \times 300 \text{ g} \times (94.32/100) \times (42.11/100) \\
 &= 71.31 \text{ g}
 \end{aligned}$$

JATP3

$$\begin{aligned}
 \text{Production yield of inulin powder (\%)} &= 50.35\% \\
 \text{The amount of JATP used for experiment} &= 300 \text{ g} \\
 \text{Dry solid content (\% w.b.) in JATP} &= [(100 - 6.09)/100] = 93.91\% \\
 \text{Inulin type fructan contents (\%)} &= 40.27\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Estimated inulin content from JATP1 300 g} &= (50.35/100) \times 300 \text{ g} \times (93.91/100) \times \\ &= (40.27/100) \\ &= \mathbf{57.12 \text{ g}}\end{aligned}$$

JATP4

$$\begin{aligned}\text{Production yield of inulin powder (\%)} &= 59.13\% \\ \text{The amount of JATP used for experiment} &= 300 \text{ g} \\ \text{Dry solid content (\% w.b.) in JATP} &= [(100 - 6.39)/100] = 93.61\% \\ \text{Inulin type fructan contents (\%)} &= 34.68\% \\ \text{Estimated inulin content from JATP1 300 g} &= (59.13/100) \times 300 \text{ g} \times (93.61/100) \times \\ &= (34.68/100) \\ &= \mathbf{57.59 \text{ g}}\end{aligned}$$

Reviewer's comment: Final product, inulin powder, can be obtained through processes like hot water extraction, extraction by evaporation and spray drying. Also some relevant works have done by hot extraction only as shown in literature review. Such works include Laurenzo *et al.* (1999), Frank (2002) and Li *et al.* (2012). Yet, no quantity comparison on sugars, FOS and inulin fructans is made for inulin powder between hot water extraction by previous work and current procedure introduced in this work.

Authors' reply: The author added some quantity comparison in the 2nd paragraph of section 3.4 as the reviewer's comment. The added statements are "Moreover, the inulin-type fructan content of inulin powder 1 was comparable to those reported by Bekers *et al.* (2008). According to Bekers *et al.* (2008), JAT chips were extracted in water at 50°C with stirring for 4 h. Then JA extract was concentrated by boiling at 100°C for 2 h. After evaporation, the inulin content of 55.87% dry mass was found in JA syrup."

Also, some comparison and discussions were already written in the section 3.4 such as the following statements;

"The inulin-type fructan contents in JATP samples was lower than in samples investigated by Saengthongpinit and Sajjaanantakul (2005) who showed that it was around 88 g/100 g dry mass in the fresh JAT at 20-week maturity. De Leenheer and Hoebregs (1994), Coussemment (1999) and Saengthongpinit & Sajjaanantakul (2005) pointed out that the sugars, FOS and inulin-type fructans in JAT depended upon various factors, such as JAT variety, climate and growing conditions, harvesting maturity, storage time and temperature after harvest. In this study, the fresh JAT samples were stored at 2°C for many weeks leading to the degradation of inulin-type fructans."

Reviewer's comment: Two parts of drying processes are introduced; tray drying at 65°C for JATP slices at the first phase; spray drying at average 120°C at the second phase. Are the temperatures setting optimal for these two phases? As heat treatment can benefit the active compound transformation in this work, it needs explanation why choosing such temperature values.

Authors' reply: The tray drying temperature of 65°C was selected from the result of previous study of the authors. The paper related to the determination of suitable hot air drying temperature was also submitted to the Transactions of the ASABE. Its manuscript number is FPE-11020-2014. Now, it has been resubmitted. In short, the result in that paper shows that drying at 65°C was appropriate for blanched JAT samples due to its much shorter drying time than that of 55°C but not much longer than 75°C leading to the energy saving. Moreover, Marx *et al.* (1997) and Takeuchi and Nagashima (2011) reported that heat treatment at or above 60°C could inactivate inulinase which caused the inulin degradation in JAT during storage. Therefore, the drying temperature at 65 °C was chosen for the drying of JAT in this study. For the spray drying temperature, the authors applied the inlet and outlet drying temperature at 150°C and 90°C respectively in this study because according to the preliminary spray drying test, it appeared that the inulin extract at concentration of around 30 °Brix can be dried in the spray dryer by applying the inlet and outlet drying at 150°C and 90°C respectively with the good result in terms of high powder recovery, powder appearance and sufficiently low moisture content of powder product. Moreover, the research for determining optimum temperature condition for spray drying of inulin powder is also conducted by the authors' research group but the research is still in progress.

The authors added the statement "Each pretreated sample was drained, laid on the filter fabric before tray drying at 65°C. This drying temperature was chosen because in the previous study it provided the short drying time and acceptable product quality." into the section 2.1 as the reviewer's comment.

Also, the authors added the statement "This spray drying condition was applied because in the preliminary test it provided high powder recovery, acceptable powder appearance and sufficiently low moisture content of powder product." into the section 2.2 as the reviewer's comment.

Reviewer's comment: The conclusion indicated that JATP1 got lowest sugar content and highest inulin-type fructan content. But in Table 5, in the line of production yield of inulin powder (%), it shows JATP2 is highest one. Same, how to get 76.94g, 75.61g, 60.83g and 61.52g from 300g of JATP1, JATP2, JATP3 and JATP4 is not clear?

Authors' reply: After rechecking, the authors confirmed that JATP1 got lowest sugar content as shown in Table 4. However, for the inulin-type fructan content the JATP2 got the highest value of 39.98 g/g dry mass whereas the JATP1 got the second. So, the authors corrected the statement in the Conclusion to be

"The pre-treatment applied for JATP1 preparation was the most suitable pre-treatment because it resulted in the lowest sugar content and the high inulin-type fructan content together with the maximum inulin-type fructan content in collected inulin powder produced from a specific amount of JATP."

For the method to calculate inulin-type fructan content in collected inulin powder produced from a specific amount of JATP, the authors already added into the manuscript as replied in the previous comment of the 3rd reviewer.

Reviewer's comment: In fig 4 and 5, no explanation is given that relationship of particle sizes of JATP1 and JATP3 between the first phase and the second phase. What mechanism makes the particle sizes are smaller at the second phase?

Authors' reply: The authors added the explanation about this phenomenon into the last paragraph of section 3.3. The added statements are as follow:

“According to the particle size distribution of JATP1 and JATP3 as shown in Figure 3 and the particle size of inulin powder 1 and inulin powder 3 as presented in Figure 5, it appears that the average particle size of JATP1 is larger than that of JATP3 but the particle size of inulin powder 1 is smaller than that of inulin powder 3. The possible reason is that the inulin powder 3 contained much higher contents of low-molecular weight sugars and FOS than inulin powder 1. These low-molecular weight sugars and FOS have high thermoplasticity and hygroscopicity resulting in more agglomeration, swelling and subsequently particle size of inulin powder 3 larger than those of inulin powder 1. Dissimilarly, although the JATP 3 had higher contents of low-molecular weight sugars and FOS than JATP1, the other compounds such as proteins and insoluble fiber in JATP might help protecting these sugars and FOS from agglomeration and swelling by entrapping these sugars and FOS into their structures.”

3. บทความตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับชาติ:

Jirayucharoensak, R., W. Jittanit and S. Sirisansaneeyakul. 2015. Spray-drying for inulin powder production from Jerusalem artichoke tuber extract and product qualities. *Journal of Science & Technology, Ubon Ratchathani University*. 7(3): 13-18. ซึ่งอยู่ในฐานข้อมูล Thai-Journal Citation Index (TCI) และมีค่า Thai Journal Impact Factors = 0.125

ที่ ศธ ๐๕๒๙/ ๖๓๓๖๖



มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
๘๕ ถนนสถลมารค ตำบลเมืองศรีโค
อำเภวารินชำราบ
จังหวัดอุบลราชธานี ๓๔๑๙๐

๒๓ พฤษภาคม ๒๕๕๘

เรื่อง ขอส่งแบบแจ้งผลการพิจารณาผลงานทางวิชาการเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

เรียน นางสาววิภรณ์ จิรายุเจริญศักดิ์

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบแจ้งผลการพิจารณาผลงานทางวิชาการเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ตามที่ ท่านได้แสดงความจำนง ในการเสนอต้นฉบับเพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี โดยท่านได้เสนอต้นฉบับบทความทางวิชาการ เรื่อง “Spray-drying for Inulin Powder Production from Jerusalem Artichoke Tuber Extract and Product Qualities” ความละเอียดครบถ้วนแล้วนั้น

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ได้นำผลงานทางวิชาการดังกล่าวเข้าสู่กระบวนการพิจารณาลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิและกองบรรณาธิการโดยได้แจ้งท่านแก้ไขปรับปรุงเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ดังนั้น จึงขอส่งแบบแจ้งผลการพิจารณาผลงานทางวิชาการเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ดังรายการสิ่งที่ส่งมาด้วย มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีขอขอบคุณท่านที่ให้ความสนใจ ส่งบทความเพื่อรับการพิจารณาตีพิมพ์และหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ท่านจะให้ความสนใจส่งผลงานทางวิชาการ เพื่อรับการพิจารณาตีพิมพ์ในโอกาสต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อินทิรา ชาสีร์)

รักษาราชการแทนรองอธิการบดีฝ่ายวิจัยและพันธกิจสังคม

ปฏิบัติราชการแทน

อธิการบดีมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

สำนักงานอธิการบดี สำนักงานส่งเสริมบริหารงานวิจัยฯ

โทรศัพท์ ๐ ๔๕๓๕ ๓๐๔๒

โทรสาร ๐ ๔๕๒๘ ๘๕๐๘



แบบแจ้งผลการพิจารณาผลงานทางวิชาการ
เพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

วันที่ ๒๙ พ.ค. ๒๕๕๘

ตามที่ นางสาววิภรณ์ จิรายุเจริญศักดิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์วีระเชษฐ จิตตานิษฐ์ และรองศาสตราจารย์
สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล ได้ส่งผลงานวิชาการ เรื่อง “Spray-drying for Inulin Powder Production from
Jerusalem Artichoke Tuber Extract and Product Qualities” เพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสาร
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี นั้น

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ได้พิจารณานำผลงานดังกล่าวเผยแพร่ในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ปีที่ ๑๗ ฉบับที่ ๓ กันยายน – ธันวาคม ๒๕๕๘

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อินทิรา ชาสีร์)

รักษาราชการแทนรองอธิการบดีฝ่ายวิจัยและพันธกิจสังคม

ปฏิบัติราชการแทน

อธิการบดีมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

รายละเอียดการคำนวณค่า Thai Journal Impact Factors ของวารสาร
วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี / Journal of Science and
Technology, Ubon Ratchathani University

รายละเอียดการคำนวณ							
		จำนวนบทความ			ถูกอ้างอิงปี 2556		
issn	ชื่อวารสาร	ปี 2556	ปี 2555	ปี 2554	บทความ ปี 2556	บทความ ปี 2555	บทความ ปี 2554
1685-7941	วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี / Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University	24	33	39	1	6	3

การคำนวณค่า Thai Journal Impact Factors ของปี 2556

จำนวนครั้งที่บทความปี 2554 และ 2555 ถูกอ้างอิงในปี 2556 = 3 + 6 = 9

จำนวนบทความที่ตีพิมพ์ในปี 2554 และ 2555 = 39 + 33 = 72

Thai Journal Impact Factors = 9 / 72 = 0.125

รายละเอียดข้อมูลการอ้างอิง

พบวารสารที่อ้างอิงวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ทั้งหมด 18 ฉบับ รวมรายการอ้างอิง 25 รายการ

รายชื่อวารสารทั้งหมดที่นำวารสารวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ไปอ้างอิงในปี พ.ศ. 2556													
ลำดับ	ชื่อวารสาร	ทั้งหมด	2556	2555	2554	2553	2552	2551	2550	2549	2548	2547	The Rest
	All Journal	25	1	6	3	4	2	1	1	3	0	1	3
1	วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ / Princess of Naradhiwas University Journal	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	Journal of Applied Animal Science	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
3	วารสารวิจัยเพื่อการพัฒนาเชิงพื้นที่ / Area Based Development Research Journal	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
4	วารสารเกษตรพระวรุณ / Prawarun Agricultural Journal	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
5	วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี / Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University	6	1	3	1	0	0	0	0	1	0	0	0
6	วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชภัฏธนบุรี / Journal of Engineering, RMUTT	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0



สำนักงานส่งเสริมบริหารงานวิจัย บริการวิชาการและทำนุบำรุงศิลปวัฒนธรรม
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

เมนูหลัก	งานส่งเสริมและประสานงานวิจัย	งานบริการวิชาการแก่สังคม	งานทำนุบำรุงศิลปวัฒนธรรม	งานวารสาร ม.อุบลฯ	หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง
งานบริหารทั่วไป	คลังเอกสาร				

ปีที่ 17 ฉบับที่ 3 กันยายน ธันวาคม 2558



วารสารวิทยาศาสตร์ปีที่.17 ฉบับที่ 3 กันยายน – ธันวาคม 2558

สารบัญ

Study of Formulation and Production of Okara Chili Paste

Patcharaporn Praphunthatewa Praphan Pinsirodom and Yuporn Puechkamut

Learning Preferences of Nursing and Midwifery Students

Ivan Elisabeth Purba, Janno Sinaga, Rinco Siregar, Amila and Rinawati Sembiring

Spray-drying for Inulin Powder Production from Jerusalem Artichoke Tuber Extract and Product Qualities

Raveeporn Jirayucharoensak, Weerachet Jittanit and Sarote Sirisansaneeyakul

Impact of Selected Cultures of Probiotics on Quality of Vanilla Low Fat Ice Cream during Storage

Suriyapong Prasertsiriphan and Sirinda Kusump

Screening of Thai plants for Inhibition of CYP2D6 Enzyme Activity

Benjabhorn Sethabouppha, Suparat Chanluang, Le Hoang Lam, and Suttasinee Suwannakul

Photo-stabilization of Sappanwood Ethanolic Extract with Ammonium Alum Chelation

Saranyou Oontawee, Chanan Phonprapai, and Arunporn Itharat

Production of Coconut Milk Mixed Whipped Cream for Food Services and Catering

Udomporn Saesue and Yuporn Puechkamut

Antibacterial, Antioxidation, Antiproteolytic, and Cytotoxicity Activity of Stevia rebaudiana Bertoni Leaves

Sirikorn Kor-arnan, Sakaowrat Paoblake, and Torphan Aswachaisuvikom

Influences of Different Soup Stocks on Chemical and Organoleptic Properties of Tom Yum

Chutipapha Suwankanit, Sawanya Pandolsook, Varaporn Vittayaporn, Kriserm Tohtubtiang, and Naruemon Nantaragsa

การประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบร่วมในการพัฒนาแนวคิดผลิตภัณฑ์อาหารชนิดใหม่

อภิัญญา เอกพงษ์

สำนักงานส่งเสริมบริหารงานวิจัย บริการวิชาการและทำนุบำรุงศิลปวัฒนธรรม
สำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190
โทรศัพท์ : 0-4535-3042, 0-4535-3035 โทรสาร: 0-4528-8508

จำนวนผู้เข้าชม 2,769 ครั้ง

Spray-drying for Inulin Powder Production from Jerusalem Artichoke Tuber Extract and Product Qualities

Raveeporn Jirayucharoensak¹, Weerachet Jittanit^{1*} and Sarote Sirisansaneeyakul²

¹Department of Food Science and Technology, Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University,
50 Ngam Wong Wan Road, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

²Department of Biotechnology, Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University,
50 Ngam Wong Wan Road, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

*E-mail: fagiwcj@ku.ac.th

บทคัดย่อ

อินูลินเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ซึ่งมีคุณสมบัติเชิงหน้าที่เป็นพรีไบโอติกในการศึกษานี้ อินูลินถูกสกัดจากหัวแก่่นตะวันแล้วถูกทำแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ผง วัตถุประสงค์หลักของการศึกษานี้คือ เพื่อหาสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่เหมาะสมและคุณภาพของอินูลินผง สารสกัดอินูลินที่มีความเข้มข้น 10, 20 และ 30° บ릭ซ์ถูกนำมาทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและขาออกที่ 150 และ 90 องศาเซลเซียสตามลำดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การใช้สารสกัดที่มีความเข้มข้น 30° บ릭ซ์ ให้ผลิตภัณฑ์อินูลินผงที่มีลักษณะดี ได้ปริมาณผลผลิตสูงและผงที่ได้มีความชื้นต่ำ หลังจากนั้นได้ทดลองทำแห้งโดยใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ 150, 170 และ 190 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิลมร้อนขาออกและความเข้มข้นของสารสกัดจากแก่่นตะวันถูกกำหนดที่ 90 องศาเซลเซียสและ 30° บ릭ซ์ตามลำดับ ผลปรากฏว่า อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ระดับ 190 องศาเซลเซียส มีความเหมาะสมมากกว่า 150 และ 170 องศาเซลเซียส เพราะให้ปริมาณผลผลิตสูงกว่า ผลิตภัณฑ์ผงมีความชื้นต่ำกว่า มีความสามารถในการละลายและค่าการดูดซับดีกว่า และมีความคงตัวมากกว่า ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงให้เห็นว่าผงอินูลินที่ผลิตโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิลมขาเข้า 150 และ 170 องศาเซลเซียส มีรูปร่างที่กลมมากกว่า และมีการเกาะติดกันของอนุภาคมากกว่ากรณีที่ใช้อุณหภูมิลมขาเข้าที่ 190 องศาเซลเซียส

คำสำคัญ: อินูลิน แก่นตะวัน พรีไบโอติก การทำแห้งแบบพ่นฝอย

Abstract

Inulin is a polysaccharide that has functional properties as a prebiotic. In this study, inulin was extracted from Jerusalem artichoke (JA) tubers and then spray-dried to become a powder form. The key aims of this study were to determine the suitable spray-drying conditions and the inulin powder qualities. The inulin extracts at concentrations of 10, 20, and 30 °Brix were spray-dried using the inlet/outlet drying temperatures at 150/90°C. As a result, the feed material at 30 °Brix provided good characteristics of inulin powder with high powder recovery and low moisture content. Then the drying experiments were conducted at inlet air temperatures of 150, 170, and 190°C whereas the outlet air temperature and the JA extract concentration were fixed at 90°C and 30 °Brix. It appeared that the drying temperature of 190°C was more appropriate than 150°C and 170°C because it provided higher powder recovery, lower moisture

content, better solubility and absorptivity, and more stability of powder. The SEM micrographs showed that the inulin powders produced by the spray-drying temperatures at 150 and 170°C had more sphere-shaped and had attached particles than those at 190°C.

Keywords: Inulin: Jerusalem artichoke: Prebiotic: Spray-drying

Introduction

Jerusalem artichoke tuber (JAT) is an agricultural product rich in inulin [1]. Inulin is a polysaccharide consisting of a chain of fructose molecules with a terminal glucose molecule. It has many functional properties such as a fat substitute, prebiotics, and dietary fibers depending on its degree of polymerization (DP). It was observed that inulin could increase viscosity, give 'body', optimize the texture of low calorie beverages, and provide spread-ability to low fat and no fat products, yogurts, salad dressings, mousses, and chocolates [2]. Some studies revealed that soluble non-starch polysaccharide such as inulin had a positive effect on cholesterol metabolism in rats [3].

During the last few decades, it appears that Jerusalem artichoke (JA) can be successfully grown in Thailand, especially in the Northeastern region. At present, JAT is deemed as a popular herbal food among Thai people due to its nutraceutical properties especially for diabetics. However, the knowledge and technique about the production of inulin powder from JAT is still limited. This study extracted inulin from JAT and it was then spray-dried into a powder form. The key aims of this study were to determine the suitable spray-drying conditions and the inulin powder qualities.

Materials and Methods

JAT powder preparation

The fresh JAT variety JA 102 was supplied by the Agro-Ecological System Research and Development Institute, Kasetsart University (Petchaboon Research Station), Thailand. Raw JAT samples were washed to eliminate soil and other impurities, sliced to a 2 mm thickness, blanched in hot water for 2 min, and then dried at 65°C until reaching the moisture content below 8% db. Dried JAT was ground to be JAT powder using a Fitz mill model M5 (The Fitzpatrick Company, USA) and then an Alpine Augsburg pin mill type 160Z (Alpine American Corporation, Natick, MA). The JAT powder was screened by 60 and 80 mesh sieves after the 1st stage milling by a Fitz mill and the 2nd stage milling by a pin mill. The JAT powder was used as a raw material for inulin powder production by applying extraction, evaporation, and spray-drying procedures.

Preparation of inulin extract

Inulin was extracted from the JAT powder using hot water at 85°C for 30 minutes with the ratio of powder to water of 1:35 (w/w). After that, the sediment was separated from the extract using a basket centrifuge at 1,500 rpm with a filtering bag. The inulin extract was used as the raw material for the inulin powder production.

Determination of suitable concentration of inulin extract for spray-drying

Inulin extract was evaporated to the concentrations of 10, 20, and 30 °Brix by boiling it on a "FISHER" hot plate stirrer model 210T (Fisher Scientific (M) SdnBhd, Selangor Darul Ehsan, Malaysia) using a magnetic bar for stirring at speed level 3. The concentrated solution was processed to be powder by a "NIRO" small-scale spray dryer model "Mobile Minor 2000" (GEA

Process Engineering Inc., USA) using the inlet and outlet drying at 150°C and 90°C respectively. The powder recovery percentage of each spray-drying experiment was calculated applying the equation (1) whereas the qualities of inulin powder collected from each spray-drying run were determined in aspects of color and moisture content. The results were used for determining the suitable concentration of inulin extract for spray drying.

$$\% \text{ product recovery} = \frac{\text{Solid weight of powder after spray drying}}{\text{Total solid weight in feed material before spray drying}} \times 100$$

Determination of suitable spray-drying temperature for inulin powder production

The inulin extract samples at the suitable concentration determined from the previous step were spray-dried applying the inlet drying air temperatures at 150, 170, and 190°C whereas the outlet air temperature was maintained at 90°C by controlling the feed flow rate. The powder recovery percentage was calculated while the qualities of inulin powder were determined in aspects of moisture content, water absorption index (WAI), water solubility index (WSI), bulk density, and microstructure.

Color measurement

The colors of samples were measured in triplicate by a Hunter Laboratory Mini Scan XE colorimeter (Hunter Associates, Reston, VA) in the L*, a*, b* scale. L* represents lightness ($0 \leq L^* \leq 100$), while a*(+), a*(-), b*(+) and b*(-) represent redness, greenness, yellowness, and blueness respectively. The colorimeter was calibrated with a standard white tile using illuminant D65 and the 10° standard observer.

Moisture content determination

The moisture contents were determined in triplicate by the oven method using 2 g of sample and 105°C drying air temperature until constant weight was obtained [4].

Determinations of WAI and WSI

The WAI and WSI were determined in triplicate by application of a modified method [5]. The 2.5 g of powder sample was suspended in 30 ml of water at 30°C in a 50-ml centrifuge tube, left for 30 min, and then centrifuged at 5,000 g for 10 min. The supernatant was separated out whereas the remaining sediment was weighed. The WAI was calculated by dividing the sediment weight by the dry weight of the initial powder sample. The WSI was calculated by dividing the amount of dry solid in the separated supernatant by the dry weight of the initial powder sample and expressed as a percent.

Bulk density

Bulk density was determined in triplicate by adding 20 g of inulin powder to a 50 ml graduated cylinder and holding the cylinder on a vibrator for 1 min. The bulk density was

calculated by dividing the mass of the powders by the volume occupied in the cylinder.

Microstructure

The microstructures of inulin powders were observed by scanning electron microscopy (SEM). Powder samples were sprinkled onto double-sided tape on an SEM stubs and then sputtered with gold (SCD 040, Balzer Union,

Switzerland) prior to the microstructure observation by the "JEOL" scanning electron microscope model JSM-6610LV (Seal Laboratories, USA). Magnification of 1,000 times and accelerating voltage of 15 kV were applied using the signals of secondary and backscattered electrons.

Table 1 Powder recovery percentages, moisture contents, and color values of powder samples produced from inulin extracts at various concentrations by spray-drying at inlet/outlet temperatures of 150/90°C

Attribute	Concentration of inulin extract (°Brix)		
	10	20	30
Powder recovery (%)	67.78 ^a ±0.80	82.24 ^b ±1.11	88.13 ^c ±0.41
Moisture content (%wb)	7.48 ^c ±0.12	6.78 ^b ±0.05	6.56 ^a ±0.14
L*	89.61 ^c ±0.51	80.91 ^b ±1.12	77.29 ^a ±0.32
a*	-0.60 ^a ±0.12	-1.10 ^b ±0.29	-1.32 ^c ±0.22
b*	9.10 ^a ±0.17	11.14 ^b ±0.20	12.46 ^c ±0.15
Whiteness index	76.03	72.41	68.93

Note: Means with different letters in the same row are significantly different at *P<0.05

Statistical analysis

The software package of SPSS version 16.0 was used for the analysis of variance in the statistical analysis.

Results and Discussion

The results of the spray-drying experiments using various concentrations of inulin extract are illustrated in Table 1. It appeared that the concentration of inulin extract at 30 °Brix provided a significantly higher powder recovery percentage than those of 10 and 20 °Brix. Furthermore, the moisture content of the powder sample produced from 30 °Brix inulin extract was significantly lower than those of 10 and 20 °Brix. This may be due to the fact that the increase in

solid contents of feed material led to the reduction of water proportion in the feed. As a consequence, when applying the same drying temperature, the moisture content of inulin powder was less than those of 10 and 20 °Brix counterparts. Although the concentration of inulin extract at 30 °Brix provided the higher product recovery with preferred moisture content level, the color of its powder was more intense than those of 10 and 20 °Brix. This intense color was caused by more heat exposure of the sample during spray-drying. This heat exposure together with the reducing sugars and amino acids in the specimens resulted in a browning reaction, namely Maillard reaction. According to the experimental results, it can be stated that the

suitable inulin extract concentration for spray-drying was 30 °Brix due to its high powder recovery percentage and low moisture content of the powder, whereas the more intense color of the powder was not a serious problem because, in general, only a small amount of inulin powder is applied when adding to food.

The results of the spray-drying experiments using various drying air temperatures for 30 °Brix inulin extracts are presented in Table 2. It appeared that the drying temperature of 190°C provided the higher product recovery than those of 150°C and 170°C. This may be due to the lower moisture content of the spray-dried inulin powder under this drying condition resulting in higher glass transition temperature and subsequently less hygroscopicity and stickiness of

product. The less hygroscopicity and stickiness of the product causes a less amount of solid attachment on the surface of the spray-drying chamber and other compartments of the spray-drying system [6]. In regard to the WAI and WSI values, it was found that the higher drying temperature at 190°C resulted in a better solubility and absorptivity of the powder. This was because the higher drying temperature caused a higher drying rate leading to a more porous structure of the inulin powder [7]. The result of the bulk density determination indicated that the higher drying temperature at 190°C provided the higher bulk density of powder. This may be due to the increased shrinkage of the inulin powder as a result of the application of a higher temperature.

Table 2 Powder recovery percentages, moisture contents, WAI, WSI, and bulk densities of powder samples produced from 30 °Brix inulin extracts using various drying air temperatures

Inlet/outlet temperature(°C)	Powder recovery (%)	Moisture content (%wb)	WAI (g/g)	WSI (%)	Bulk density (g/ml)
150/90	88.13 ^a ±0.41	6.43 ^{ab} ±0.13	1.21 ^b ±0.06	45.38 ^a ±4.80	0.58 ^a ±0.24
170/90	87.23 ^a ±0.47	6.77 ^b ±0.63	0.80 ^a ±0.16	71.64 ^b ±4.97	0.62 ^a ±0.37
190/90	90.59 ^b ±0.94	6.07 ^a ±0.14	1.09 ^b ±0.18	77.35 ^b ±5.20	0.74 ^b ±0.18

Note: Means with different letters in a column are significantly different at * $P < 0.05$

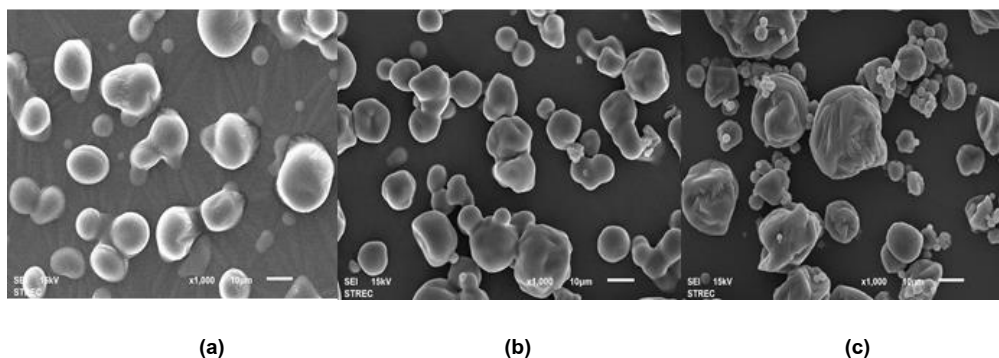


Figure1 Scanning Electron Microscopy (SEM) micrographs of spray dried inulin powder using various drying air temperatures: (a) 150°C; (b) 170°C; (c) 190°C

The powder microstructures in the cases of the application of the drying temperatures at 150, 170 and 190°C were investigated using SEM, as shown in Figure 1. It appeared that the inulin powders produced by the spray-drying temperatures at 150 and 170°C had more sphere-shaped and attached particles than those at 190°C. This should be the consequence of the lower glass transition temperature and subsequently higher hygroscopicity and stickiness of the product dried at lower temperatures which had higher moisture content levels. In general, the powder that had the higher moisture content level had lower glass transition temperature [8].

Conclusion

The most appropriate inulin extract concentration for spray-drying was 30 °Brix, while the drying temperature of 190°C was more appropriate for inulin production than 150°C and 170°C because it provided a higher powder recovery, lower moisture content, better solubility and absorptivity, and more stability of powder.

References

- [1] Simonovska, B. (2000). "Determination of Inulin in Foods". **J. of AOAC International**. 83: 675–678.
- [2] Roberfroid, M. B. (2007). "Inulin-typed fructans: functional food ingredients". **J. of Nutrition**. 137: 2493-2502
- [3] Coussement, P. 1999. "Inulin and oligofructose as dietary fiber: Analytical, nutrition and legal aspects". **Complex Carbohydrates in Foods**. 203–212.
- [4] AOAC. 2005. Official Method of Analytical of AOAC International, 18th ed., Maryland, AOAC International: USA.
- [5] Al-Kahtani, H. and Bakri, H. 1990. "Spray drying of Hibiscus sabdariffa L. extract". **J. Food Science**. 55: 1073–1076.
- [6] Cai, Y.Z. and Corke, H. 2000. "Production and properties of spray-dried *Amaranthus betacyanin* pigments". **J. of Food Science**. 65(6): 1248–1252.
- [7] Macierzanka, A. and Szelag, H. 2006. "Microstructural behavior of water-in-oil emulsions stabilized by fatty acid esters of propylene glycol and zinc fatty acid salts". **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**. 281: 125–137.
- [8] Cano-Chauca, M., Stringheta, P.C., Ramos, A.M. and Cal-Vidal, J. 2005. "Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization". **Innovative Food Science and Emerging Technology**. 6: 420-428.

4. หลักฐานการนำเสนอผลงานในที่ประชุมวิชาการระดับนานาชาติ:

นำเสนอผลงานแบบปากเปล่าในที่ประชุมวิชาการระดับนานาชาติ The 18th World Congress on Clinical Nutrition (WCCN) ระหว่างวันที่ 1-3 ธันวาคม 2557 ในหัวข้อเรื่อง “The study of spray drying for inulin powder production from Jerusalem artichoke tubers extract and the product qualities” โดยบทความที่เสนอในงานประชุมวิชาการนี้ได้ถูกพิจารณาโดยคณะกรรมการจัดงานประชุมวิชาการนี้ให้ตีพิมพ์ในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี (Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University)



18th World Congress on Clinical Nutrition (WCCN)
“Agriculture, Food and Nutrition for Health and Wellness”

LETTER OF ACCEPTANCE

Technical Program Committee
Faculty of Agriculture,
Ubon Ratchathani University,
Warinchamrap, Ubon Ratchathani, 34190 THAILAND
Tel : +66-45-353-500, Fax : +66-45-288373
conference_food@ubu.ac.th

9 October, 2014

Dear Miss Raveeporn Jirayucharoensak,

We are pleased to inform you that the Technical Program committee of 18th WCCN has decided to **ACCEPT** your article to be presented in the 18th WCCN.

The 18th WCCN will be held at Sunee Grand Hotel & Convention Center, Ubon Ratchathani, Thailand, December 1-3, 2014.

Article Title: The study of spray drying for inulin powder production from Jerusalem artichoke tubers extract and the product qualities

Presentation Type: Oral Presentation

Please visit our website at <http://18thwccn.ubu.ac.th/index.php> to prepare the abstract and manuscript separately regarding to the instructions and the template. The submission of manuscripts proceeds fully online by connecting to <http://www.ubu.ac.th/wccn/>, in the same way you have already submitted your abstract. Please note that if you wish to publish your abstract and full paper in our proceedings, you have to submit your paper by the deadline indicated in the Announcement.

Thank you in advance for your contribution toward the success of WCCN. We are looking forward to welcoming you in 18th WCCN 2014.

Yours sincerely,

(Asst. Prof. Dr. Wiriya Phomkong)
Chairman, 18th WCCN Technical Program



The study of spray drying for inulin powder production from Jerusalem artichoke tubers extract and the product qualities

Raveeporn Jirayucharoensak and Weerachet Jittanit*

Department of Food Science and Technology, Faculty of Agro-Industry,
Kasetsart University, 50 Ngam Wong Wan Road, Chatuchak, Bangkok, Thailand 10900

*Corresponding Author's E-mail: fagiwcj@ku.ac.th

Abstract

Inulin is a polysaccharide that has functional properties as a prebiotic. In this study, inulin was extracted from Jerusalem artichoke (JA) tubers and then sprayed dried to be powder form. The key aims of this study were to determine the suitable spray drying condition and the inulin powder qualities. In the preliminary study, the inulin solutions at the concentrations of 10, 20 and 30 °Brix were spray-dried using the inlet/outlet drying temperatures at 150/90 °C; as a result, the feed material at 30 °Brix provided the good characteristics of inulin powder with high powder recovery and short drying process time. Then, the drying experiments were conducted at the inlet air temperatures of 150, 170 and 190 °C whereas the outlet air temperature and the JA extract concentration were fixed at 90 °C and 30 °Brix. The powder recovery of spray drying process and the inulin powder qualities in aspects of whiteness index, hygroscopicity, water activity, moisture content, water solubility index (WSI), water adsorption index (WAI), water holding capacity (WHC), bulk density and microstructure were investigated. The results indicated that the higher inlet drying air temperature was overallly appropriate for inulin production.

Keywords: Inulin; Jerusalem artichoke; Prebiotic; Spray drying

Selected References:

- Mishra, P., Mishra, S. and Charu, L.M. (2014), "Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature during spray drying on physicochemical and antioxidant properties of amla (*Emblica officinalis*) juice powder", *Food and Bioproducts Processing*, Vol. 92, pp. 252-258.
- Ronkart, S.N., Deroanne, C., Paquot, M., Fougnyes, C., Lambrechts, J.C. and Blecker, C.S. (2007), "Characterization of the physical state of spray-dried inulin", *Food Biophysics*, Vol. 2, pp. 83-92.

5. หลักฐานการนำเสนอผลงานในที่ประชุมวิชาการระดับนานาชาติ:

นำเสนอผลงานแบบปากเปล่าในที่ประชุมวิชาการระดับนานาชาติ The SCEJ 80th Annual Meeting; International Symposium (Japan-Thai Symposium in Food Engineering -Forefront Research on Food Process Engineering-). 19-21 March 2015, Tokyo, Japan ระหว่างวันที่ 19-21 มีนาคม 2558 ในหัวข้อเรื่อง “Development of inulin powder production process from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers and quality determination”.

F218

Development of inulin powder production process from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers and quality determination

(KU)*Khuenpet K., (KU)Jittanit W.^(*), (KU)Sirisansaneeyakul S., (TUMSAT)Fukuoka M.

Abstract

The objective of this research is to develop the appropriate inulin production method from Jerusalem artichoke tubers. The carbonation process is deemed as a possible purification step for inulin production because it is commonly used in the refinement of raw sugar and the purification of beet juice. For the lab-scale experiment, inulin was extracted from Jerusalem artichoke tubers powder (JATP) by hot water and purified with carbonation and activated carbon. The results indicated that reducing sugars decreased after carbonation and the color of extract was noticeable brighter. Moreover, the purified inulin contained less reducing sugar and higher degree of polymerization (DP) than commercial inulin (Orafti® HSI). However, its ash content appeared to be higher than its commercial counterpart. Therefore, ion exchange resin was applied when conducting the pilot scale experiment; as a result, the calcium ion in the extract was reduced but it cannot lessen total ash content. The appropriate inulin powder production process comprised with hot water extraction with the ratio of JATP : water at 1:7 (w/w), carbonation by adding calcium oxide to extract until reaching pH of 11 and then introducing CO₂ until pH lowering to a specified level, decolourization and deionization by activated carbon and ion exchange resin and then spray drying. In aspect of production yield, the yield of inulin after extraction and purification process for the pilot scale experiment was approximately 50%. Further study will be carried out to improve the yield and practicability of this production process for industry.

Table 1. Total carbohydrate (%) of inulin solution extracted from JATP and spray-dried powder.

Total carbohydrate (%)	Samples			
	Carbonation		Purified JATP inulin powder	Orafti® HSI
	Before	After		
Glucose	0.00	0.00	0.00	0.88
Fructose	17.47	0.00	0.49	6.22
Sucrose	0.00	9.07	7.79	10.81
DP3	13.14	13.30	10.05	5.17
DP4	8.46	9.68	9.04	22.21
DP5	7.68	8.88	8.45	12.04
DP6-10	27.64	31.59	29.01	27.04
DP11-20	19.48	21.24	25.62	12.18
DP21-30	5.38	5.80	9.55	3.44
DP>30	0.75	0.45	0.00	0.00

Note: DP = Degree of polymerization

References

- 1) Moodley et al., Optimising the carbonation process. *International Sugar Journal*. **105**: 24–28 (2003).
- 2) Saengthongpinit et al., Influence of harvest time and storage temperature on characteristics of inulin from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers. *Postharvest Biology and Technology*. **37**(1): 93–100 (2005).
- 3) Zhi-fu et al., Impurity removal from inulin extract of Jerusalem artichoke tubers by carbonation. *Food Science*. **30**(14): 67–71 (2009).

*fagiwcj@ku.ac.th

6. หลักฐานการยื่นขอจดอนุสิทธิบัตร:

มีการยื่นขอจดอนุสิทธิบัตร เรื่อง “กรรมวิธีการสกัดอินูลินจากแป้ง
เยรูซาเล็มอาร์ทิโชค การทำให้บริสุทธิ์และแปรรูปเป็นอินูลินผง”



บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร
ที่ ศธ. ๐๕๑๓.๑๑๔๐๖/ 0072
เรื่อง ขอเร่งรัดการขอรับอนุสิทธิบัตร

โทร. ๕๐๒๐

วันที่ 21 มกราคม ๒๕๕๘

สำนักงานบริการวิชาการ

เลขที่ 0140

วันที่ ๒๖ ม.ค. ๒๕๕๘

เวลา 11.30 ผู้รับ ๕

① เรียน หัวหน้าภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

ตามที่กระผม ผศ.ดร.วีระเชษฐ์ จิตตานิชย์ สังกัด ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร ได้ทำการวิจัยและพัฒนาผลงานเรื่อง “กรรมวิธีการสกัดอินูลินจากแป้งเยรูซาเล็มมาร์ทิโซค การทำให้บริสุทธิ์และแปรรูปเป็นอินูลินผง” และได้ยื่นเรื่องขอรับอนุสิทธิบัตรไปยังงานทรัพย์สินทางปัญญา สำนักงานบริการวิชาการ ตามหนังสือเลขที่ ศธ ๐๕๑๓.๑๑๔๐๖/๐๐๓๑ ลงวันที่ ๑๔ มกราคม ๒๕๕๘ แล้วนั้น

เนื่องด้วยผลงานวิจัยดังกล่าว ยังคงมีการดำเนินการวิจัยอย่างต่อเนื่องและมีการจัดทำโครงการพัฒนาวิชาการร่วมกับภาคเอกชน ดังนั้นจึงใคร่ขอความอนุเคราะห์ภาควิชา ประสานไปยังงานทรัพย์สินทางปัญญา สำนักงานบริการวิชาการ เพื่อเร่งรัดดำเนินการขอความคุ้มครองการขอรับอนุสิทธิบัตร ดังกล่าว

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาดำเนินการต่อไป

ลงนาม

(ผศ.ดร.วีระเชษฐ์ จิตตานิชย์)

วันที่ ๒๐ มกราคม ๒๕๕๘

② เรียน คณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อโปรดพิจารณาดำเนินการตาม ①

ลงนาม

(ผศ.ดร.วรรณิ จิราภัยกุล)

หัวหน้าภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

วันที่ 21 มค 58

③ เรียน ผู้อำนวยการสำนักงานบริการวิชาการ เพื่อโปรดดำเนินการต่อไป

ลงนาม

(ผศ.ดร.ธนະบุลย์ สัจจาอนันตกุล)

คณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่ 21 ม.ค. 2558

เรียน
เพื่อโปรดพิจารณาและดำเนินการต่อไป

๒๖ ม.ค. ๒๕๕๘



บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร
ที่ ศธ. ๐๕๑๓.๑๑๔๐๖/
เรื่อง การขอรับอนุสิทธิบัตร

0031

โทร. ๕๐๒๐

วันที่ 14 มกราคม ๒๕๕๘

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

รับที่ 0156

วันที่ ๕ ม.ค. ๒๕๕๘

เวลา ๑๖.๑๕ น. *ค.ค.ค.*

สำนักงานบริการวิชาการ

เลขที่ 0079

วันที่ ๑๖ ม.ค. ๒๕๕๘

เวลา ๑๑.๐๐ น. ผู้รับ *ส.*

① เรียน หัวหน้าภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

สิ่งที่ส่งมาด้วย ๑. แบบ ทป ๐๑

๒. คำขออนุสิทธิบัตร “กรรมวิธีการสกัดอินูลินจากแป้งเยรูชาเล็มอาร์ทีโช๊ค การทำให้บริสุทธิ์และแปรรูปเป็นอินูลินผง”

ด้วยกระผม ผศ.ดร.วีรเชษฐ์ จิตตานิชย์ และ นางสาวกฤติยา เชื้อนเพชร สังกัด ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร และ รศ.ดร.สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล สังกัด ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร และได้ทำการวิจัยและพัฒนาผลงานเรื่อง “กรรมวิธีการสกัดอินูลินจากแป้งเยรูชาเล็มอาร์ทีโช๊ค การทำให้บริสุทธิ์และแปรรูปเป็นอินูลินผง” มีความประสงค์ที่จะนำผลงานดังกล่าวยื่นขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ในนามมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาดำเนินการต่อไป

ลงนาม

(ผศ.ดร.วีรเชษฐ์ จิตตานิชย์)

วันที่ ๑๓ มกราคม ๒๕๕๘

② เรียน คณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร
เพื่อโปรดพิจารณาดำเนินการตาม ①

ลงนาม

(ผศ.ดร.ศศิธร ตรงจิตภักดี)

รองหัวหน้าภาคฝ่ายงานบริหาร

รักษาราชการแทนหัวหน้าภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

วันที่

③ เรียน ผู้อำนวยการสำนักงานบริการวิชาการ
เพื่อโปรดดำเนินการต่อไป

ลงนาม

(ผศ.ดร.ธนะบุญย์ สัจจอนันตกุล)

คณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่ ๕ ม.ค. 2558

เรียน

เพื่อโปรดฯ และดำเนินการต่อไป

๑๙ ม.ค. ๒๕๕๘