การผลิตสารยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดสจากหอมแดงและการขยายผลสู่เชิงพาณิชย์
Production of α-glucosidase inhibitors from shallots using encapsulation techniques and extension of the technology toward commercialization.

ปาริชาติ อยู่แพทย์[1] วิมลวรรณ วัฒนวิจิตร[1] และ สุรีย์รัตน์ รักเหลือ[1]
Parichart Yoopaet[1] Wimonwan Wattanawichit[1] and Sureerat Rukluarh[1]

บทคัดย่อ

สารยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดสถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายเพื่อทำหน้าที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดสซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวในลำไส้เล็กและช่วยชะลอการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำตาลในเลือดจากการรับประทานอาหารจำพวกแป้ง งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการหาสารยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดสจากพืชของประเทศไทยที่มีสารฟลาโวนอยด์สูง นั่นคือ หอมแดง เพื่อใช้ทดแทนยาโรคเบาหวานสังเคราะห์ในอนาคต ทำการสกัดสารยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดสจากหอมแดง ด้วยตัวทำละลายเอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 60% อัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อตัวทำละลายเท่ากับ 1:40 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ผลจากการวิเคราะห์%inhibition เอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดส ในระดับหลอดทดลอง พบว่า สารสกัดจากหอมแดงมี %inhibition เท่ากับ 43.02% นำสารสกัดไปเอนแคปซูเลชันด้วยเวย์โปรตีนไอโซเลท (11% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) และใช้การทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นวิธีการเอนแคปซูเลทที่เหมาะสมที่สุด โดยเอนแคปซูเลทที่ได้จะมี %inhibition เท่ากับ 41.32% และมีความเสถียรที่สภาวะการให้ความร้อนระบบพาสเจอไรซ์แบบให้ความร้อนต่ำเวลานาน ระบบพาสเจอไรซ์แบบให้ความร้อนสูงเวลาสั้น และระบบยูเอชที ศึกษาสภาวะการเก็บรักษาที่เหมาะสมเป็นเวลา 10 เดือน พบว่า การเก็บเอนแคปซูเลทสารสกัดหอมแดงที่อุณหภูมิ 4°C ในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์เป็นสภาวะที่เหมาะสมโดยทำให้ %inhibition ลดจากเดือนที่ 0 เพียง 1.38% นอกจากนี้เอนแคปซูเลทสารยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดสจากหอมแดงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตในรูปแบบแคปซูลเพื่อเป็นอาหารเสริมและถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตสู่กลุ่มวิสาหกิจการเกษตร ศรีสะเกษแฟร์เทรดเพื่อจำหน่ายในระดับเชิงพาณิชย์ ผลจากการทดลองผลิตผลิตภัณฑ์ในระดับโรงงาน พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ต้นแบบในระดับห้องปฏิบัติการ โดย 1 แคปซูลมีสารยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูซิเดส 500 มิลลิกรัม มีฤทธิ์ในการยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดสเฉลี่ย 39.2% ต้นทุนการผลิตเม็ดละ 0.375 บาท

คำสำคัญ: สารยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดส, เอนแคปซูเลชั่น, หอมแดง, การทำแห้งแบบพ่นฝอย

---

1 กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร

1 Postharvest and Processing Research and Development Division

Abstract

α-glucosidase inhibitors are most widely used to inhibit intestinal α-glucosidase activity which convert carbohydrates to monosaccharide and slow down the elevation of blood glucose level after starchy food uptake. This study aimed to discover potential sources of natural α-glucosidase inhibitors from flavonoid rich-plants in Thailand which was shallot for replacing synthetic medicines. The shallot was extracted by ethanol 60% with the ratio of dried shallot and ethanol solution was 1:40. The results indicated that shallot extract had the in-vitro α-glucosidase inhibitory activity of 43.02%. After that, shallot extract was encapsulated using whey protein isolate (11%w/v) as coating material and the study revealed that spray-drying was the most effective encapsulation technique. The encapsulated α-glucosidase inhibitor produced by spray-drying showed 41.32% of inhibition. Additionally, it was stable at various thermal processing conditions, pasteurization (low temperature long time and high temperature short time) and UHT. After ten months of storage, it was determined that the encapsulated α-glucosidase inhibitor was suited stored in aluminum foil bags and the optimal temperature of storage was 4°C with only 1.38% reduction of inhibitory activity. Finally, the encapsulated α-glucosidase inhibitor could be applied as the food supplement and the production technology was transferred to the community enterprises, Sisaket fair trade, in Sisaket province for creating the agribusiness. The product from OEM had almost the same qualities compared to producing in the laboratory. Encapsulated α-glucosidase inhibitors 1 capsule had 500 mg. and there was 39.2% inhibition. The cost of production was 0.375 Baht.
Keywords: α-glucosidase inhibitors, encapsulation, shallots, spray-drying.

คำนำ

เอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดสเป็นเอนไซม์ที่อยู่บริเวณผนังเซลล์ของลำไส้เล็ก ทำหน้าที่ย่อยน้ำตาลโพลีแซคคาไรด์เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเพื่อไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย เมื่อน้ำตาลเข้าสู่กระแสเลือดตับอ่อนจะหลั่งฮอร์โมนอินซูลินเพื่อควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด หากมีการรับประทานอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตมากจะส่งผลให้ร่างกายมีระดับน้ำตาลในเลือดสูง ร่างกายไม่สามารถผลิตฮอร์โมนอินซูลินเพื่อควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้อย่างเพียงพอ น้ำตาลก็ไม่ถูกนำไปใช้ ทำให้เกิดการคั่งของน้ำตาลในเลือดและอวัยวะต่าง ๆ จึงทำให้เกิดโรคเบาหวาน (ไตรวุฒิ และอุทัยวรรณ, 2556) ปัจจุบันจำนวนผู้ป่วยโรคเบาหวานมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วโดยคาดว่าจะเพิ่มขึ้นถึง 529 ล้านคนในปีค.ศ.2035 (Guariguata et al., 2014) สาเหตุสำคัญของการ

เกิดโรคเบาหวาน คือ การบริโภคน้ำตาลในปริมาณที่ไม่เหมาะสมทำให้เกิดการเสียสมดุลของการใช้น้ำตาลในเลือด สำหรับแนวทางการรักษาโรคเบาหวาน คือ การใช้ยารับประทานและการฉีดอินซูลิน ซึ่งจะทำหน้าที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดส แม้ว่าปัจจุบันจะมีการสังเคราะห์สารชนิดนี้ได้ แต่ก็มีผลในเชิงลบต่อตับและระบบทางเดินอาหาร จึงมีงานวิจัยที่สกัดสารที่มีคุณสมบัติยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดสจากแหล่งอาหารธรรมชาติหลายชนิดที่สามารถลดระดับน้ำตาลในเลือดได้อย่างมีประสิทธิภาพและไม่มีผลกระทบข้างเคียงต่อร่างกายมนุษย์ โดยสารสกัดจากธรรมชาติที่สำคัญ คือ สารกลุ่มฟลาโวนอยด์ (Coman, 2012) ซึ่งมีคุณสมบัติควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดและการรับประทานสารกลุ่มนี้เป็นประจำสามารถลดความเสี่ยงของการเกิดโรคเบาหวานได้ ปัจจุบันมีงานวิจัยที่ใช้สารกลุ่มฟลาโวนอยด์ต่อการลดระดับน้ำตาลในเลือดทั้งในมนุษย์และสัตว์ทดลองได้อย่างมีประสิทธิภาพและไม่มีผลข้างเคียง (Ahmed et al., 2010) สารกลุ่มฟลาโวนอยด์สามารถพบได้เฉพาะในพืชเท่านั้น ซึ่งการสกัดฟลาโวนอยด์จากพืชจึงเป็นทางเลือกเพื่อใช้รักษาและป้องกันโรคเบาหวานได้ แต่ปัญหาของการนำสารกลุ่มนี้มาใช้ คือ ความไม่คงตัวของสารและเสื่อมสลายได้ง่ายเมื่อสัมผัสกับอากาศ แสงแดดหรือความร้อน ทำให้ประสบกับปัญหาในการนำมาใช้งาน แต่สามารถแก้ไขได้โดยใช้เทคโนโลยีไมโครเอนแคปซูเลชัน ซึ่งเป็นการห่อหุ้มสารสกัดด้วยโพลิเมอร์ชั้นบาง ๆ ลักษณะเป็นแคปซูลขนาดเล็กระดับไมครอน ช่วยให้สารสกัดมีความเสถียรในการนำไปใช้ และยังช่วยลดความสิ้นเปลืองในการใช้สารสกัด โดยทั่วไปการเอนแคปซูเลทประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ขั้นแรกคือการทำให้เกิดอิมัลชันของสารแกนกลางและสารเคลือบ ขั้นที่สอง เป็นการอบแห้งหรือทำให้อิมัลชันเย็นตัวลง ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงเล็งเห็นคุณประโยชน์ของการสกัดสารยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดสจากพืชของประเทศไทยที่มีสารฟลาโวนอยด์สูง นิยมนำมาบริโภค ราคาไม่แพงและสามารถเพาะปลูกในประเทศได้ตลอดทั้งปี โดยคัดเลือกสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่สำคัญ นั่นคือ เควอซิทินจากหอมแดง ซึ่ง Poblocka-Olech et al. (2016) รายงานว่าหอมแดงจะพบสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ในความเข้มข้นสูง ทั้งนี้การใช้เทคโนโลยีเอนแคปซูเลชันเพื่อรักษาประสิทธิภาพของสารสกัดและศึกษาการผลิตในรูปแบบแคปซูล เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตผลเกษตรของไทย ยกระดับมาตรฐานการผลิตวัตถุดิบเพื่อเป็นอาหารสุขภาพและจัดทำโครงการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการเพื่อขยายผลเทคโนโลยีการผลิตสู่ผู้ประกอบการ ทำให้เกิดธุรกิจจากผลิตผลทางการเกษตรของไทย สร้างรายได้ให้แก่ชุมชนและประเทศต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. หอมแดง
2. เอทิลแอลกอฮอล์ เกรดงานวิเคราะห์ ยี่ห้อ แล็บสแกน
3. เอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดส บริษัท ซิกมา-อัลดริช คอร์ปอเรชั่น
4. ไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (DMSO) ยี่ห้อง บี.ดี.เอช.-โปรลาโบร ประเทศอังกฤษ

5. พารา-ไนโตรฟีนิล-แอลฟ่า-ดี-กลูโคไพราโนไซด์ บริษัท ซิกมา-อัลดริช คอร์ปอเรชั่น

6. ยา Acarbose ยี่ห้อ Carbosynth ประเทศสหรัฐอเมริกา

7. โซเดียมคาร์บอเนต ยี่ห้อ เมอร์ค ประเทศเยอรมนี

8. เวย์โปรตีนไอโซเลท 90 บริษัท Milkspecialty

9. เครื่องยูวีวิซิเบิลแอบซอบแบนซ์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ไมโครเพลท รีดเดอร์

10. เครื่องระเหยแบบลดความดันภายใต้สุญญากาศ ยี่ห้อ Buchi รุ่น R-100 บริษัทบูชิ จำกัด

11. เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ยี่ห้อ Labplant รุ่น SD-06AG

12. เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ยี่ห้อ Genesis

วิธีการ

1. ศึกษาปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดสในหอมแดง

1.1 สกัดเควอซิทินจากหอมแดงผง ดัดแปลงวิธีของ Nistor Baldea *et al*. (2010)

1) เตรียมหอมแดงผงอบแห้งดังนี้ ล้างหอมแดงสดด้วยน้ำสะอาด หั่นเป็นชิ้นความหนา 1.0±0.5 มิลลิเมตร อบด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 60°C 18 ชั่วโมง นำมาบดและร่อนผ่านตะแกรงความละเอียด 80 เมช

2) สกัดสารจากหอมแดงผง ด้วยเอทิลแอลกอฮอล์60% อัตราส่วนวัตถุดิบต่อตัวทำละลาย เท่ากับ 1:40 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ควบคุมอุณหภูมิที่ 60°C แช่ไว้ 8 ชั่วโมง กรองสารละลาย นำสารละลายที่ได้ไประเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยแบบลดความดันภายใต้สุญญากาศ นำส่วนสกัดหยาบที่ได้ไปวัดค่าคุณภาพ ได้แก่ ร้อยละผลผลิต ค่าสี ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณเควอซิทิน

1.2 ทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดสในระดับหลอดทดลองของสารสกัดจากหอมแดง ตามวิธีของ Lebowitz *et al*. (1998) ดังนี้

1) ชั่งสารสกัด 500 มิลลิกรัม ละลายในไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (DMSO) 10 มิลลิลิตร ได้สารละลายเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จากนั้นดูดสารละลายด้วยไมโครปิเปตปริมาตร 1.25, 2.5 และ 5 มิลลิลิตร ตามลำดับ ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยไดเมทิลซัลฟอกไซด์จนครบ 10 มิลลิลิตร ได้สารละลายความเข้มข้น 6.25, 12.5 และ25 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

2) ปิเปตสารตัวอย่าง 10 ไมโครลิตรลงในไมโครเพลท ใส่เอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดส 1 หน่วยต่อมิลลิลิตร ปริมาณ 40 ไมโครลิตร ทิ้งให้เกิดปฏิกิริยา 10 นาทีที่ 37°C เติมสารละลายพารา-ไนโตรฟีนิล-แอลฟ่า-ดี-กลูโคไพราโนไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ 50 ไมโครลิตร ทิ้งให้เกิดปฏิกิริยา 20 นาที ที่อุณหภูมิ 37°C หยุดปฏิกิริยาด้วยโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 100 ไมโครลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 405 นาโนเมตร โดยใช้เครื่องยูวีวิซิเบิลแอบซอบแบนซ์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ไมโครเพลทรีดเดอร์โดยใช้ DMSO เป็นแบลงค์ จากนั้นเติมสารละลายชนิดเดียวกันลงไปเหมือนกับการทดลองข้างต้นเพื่อคำนวณหา %inhibition ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง %inhibition สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\%\text{inhibition} = \left(\frac{A_{blank} - A_{Sample}}{A_{blank}}\right) \times 100$$

A_{blank} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ไม่มีสารตัวอย่าง

A_{sample} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่าง

เปรียบเทียบ %inhibition เอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดสจากสารสกัดหอมแดงกับ Acarbose ด้วยวิธีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Independent two sample t-test และนำไปศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอนแคปซูเลทสารยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดสต่อไป

2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอนแคปซูเลทสารยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดส

2.1 ผลิตเอนแคปซูเลทสารยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดส

นำสารสกัดหอมแดงมาเคลือบด้วยเวย์โปรตีนไอโซเลท (11% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) อัตราส่วนระหว่างสารสกัดและสารเคลือบเท่ากับ 1:5 ศึกษาวิธีเอนแคปซูเลทชัน 2 วิธี คือ การเอนแคปซูเลชั่นด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -40°C เป็นเวลา 20 ชั่วโมง และวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยกำหนดสภาวะการทำงานของเครื่องให้มีอัตราการป้อนอยู่ในช่วง 485-695 มิลลิลิตร/ชั่วโมง อุณหภูมิลมขาออก 80-85°C ขนาดหัวเข็ม 1.0 มิลลิเมตร นำเอนแคปซูเลทที่ได้ไปศึกษารูปร่างและขนาดของอนุภาคด้วยเทคนิค SEM

2.2 เปรียบเทียบความเสถียรของเอนแคปซูเลทสารยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดสที่สภาวะการให้ความร้อนต่าง ๆ กับสารยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดสที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน โดยวัด %inhibition ดังนี้

1) ไม่ผ่านการให้ความร้อน

2) ฆ่าเชื้อด้วยระบบพาสเจอไรซ์แบบให้ความร้อนต่ำเวลานาน อุณหภูมิ63±2°C เวลา 30 นาที

3) ฆ่าเชื้อด้วยระบบพาสเจอไรซ์แบบให้ความร้อนสูงเวลาสั้น อุณหภูมิ85±2°C เวลา 15 วินาที

4) ฆ่าเชื้อด้วยระบบยูเอชที อุณหภูมิ138±1°C เวลา 3 วินาที

5) อบผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ อุณหภูมิ250±1°C เวลา 30 นาที

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ จำนวน 5 ซ้ำการทดลองและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan’s new multiple’s range test คัดเลือกเอนแคปซูเลทที่มีประสิทธิภาพยับยั้งสูงสุด

3. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเอนแคปซูเลทสารยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดส

เก็บรักษาเอนแคปซูเลทในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ที่อุณหภูมิห้อง (30±3°C) และอุณหภูมิ 4°C นำมาศึกษา %inhibition โดยไม่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนและผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่สภาวะต่าง ๆ เช่นเดียวกับข้อ 2.2 สุ่มตัวอย่างทุก 1 เดือน เป็นเวลา 10 เดือน วางแผนการทดลองแบบ CRD ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan’s new multiple’s range test

4. ศึกษาการผลิตสารยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดสในรูปแบบแคปซูล

นำเอนแคปซูเลทสารยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดสไปผลิตในรูปแบบแคปซูลและศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ คุณภาพทาง กายภาพ เคมี อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ และคำนวณต้นทุนในการผลิตจากราคาของวัตถุดิบ ค่าภาชนะบรรจุ และค่าดำเนินการผลิต

5. การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการให้แก่ผู้ที่รับการถ่ายทอดเทคโนโลยี

5.1 จัดอบรมภาคปฏิบัติให้แก่กลุ่มวิสาหกิจการเกษตร ศรีสะเกษแฟร์เทรด จังหวัดศรีสะเกษ โดยใช้กระบวนการปฏิบัติแบบมีส่วนร่วม ผู้เข้าร่วมอบรมได้ลงมือปฏิบัติจริงกับเครื่องมือที่ใช้ในการผลิตตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบก่อนการสกัด การสกัดสารออกฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดส การเอนแคปซูเลชัน การตรวจสอบค่าคุณภาพผลิตภัณฑ์ การบรรจุแคปซูล การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

5.2 จัดหาสถานที่ผลิตเอนแคปซูเลทสารยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดสเพื่อผลิตในเชิงพาณิชย์ให้แก่ผู้เข้าร่วมอบรม

ระยะเวลาดำเนินการปี 2561 – 2564

สถานที่ดำเนินการ กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร
กลุ่มวิสาหกิจศรีสะเกษแฟร์เทรด ตำบลละทาย อำเภอกันทรารมย์ จังหวัดศรีสะเกษ

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ศึกษาปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดสในหอมแดง

ผลการศึกษาค่าคุณภาพของสารสกัดหอมแดงแสดงดัง Table 1 มีรายละเอียดดังนี้

1.1 สกัดสารเควอซิทิน (Quercetin) จากหอมแดงผง ค่าคุณภาพ พบว่า มีร้อยละผลผลิตเท่ากับ 64.50 สารสกัดมีสีน้ำตาล ($L^*=25.77\pm0.22$, $a^*=6.54\pm0.43$, $b^*= -6.57\pm0.32$) มีสภาพเป็นกรดอ่อน (pH=5.09) และมีปริมาณฟลาโวนอยด์รวมเท่ากับ 215.8±0.015 มิลลิกรัมสมมูลของเควอซิตินต่อกรัมของส่วนสกัด

1.2 ทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดสของสารสกัดที่ได้จากหอมแดง

ผลการทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดสของสารสกัดหอมแดงเปรียบเทียบกับ Acarbose (Figure 1) พบว่า สกัดหอมแดงมี %inhibition เท่ากับ 43.02% ที่ระดับความเข้มข้นสูงสุด (50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) เมื่อเปรียบเทียบกับ Acarbose พบว่า สารสกัดหอมแดงมี %inhibition น้อยกว่าที่ความเข้มข้นเท่ากัน โดย Acarbose มี %inhibition เท่ากับ 100 เนื่องจากสารสกัดที่ใช้เป็นสารสกัดหยาบ ซึ่งมีส่วนผสมของสารหลายชนิดทำให้ประสิทธิภาพหรือฤทธิ์ที่แสดงต่อน้ำหนักค่อนข้างต่ำ หากมีการศึกษาต่อเนื่องโดยแยกส่วนสกัดต่าง ๆ ให้บริสุทธิ์มากขึ้นก็จะทำให้ได้สารที่มีฤทธิ์ต่อน้ำหนักสูงขึ้นได้ ผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่า สารสกัดจากหอมแดงมีศักยภาพในการนำมาพัฒนาต่อเพื่อใช้ในการยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดสต่อไป

Table 1 Physical and chemical properties of shallot crude extract.

Parameters	Shallot crude extract
%Yield	64.50
Color	
L*	25.77±0.22
a*	6.54±0.43
b*	-6.57±0.32
Moisture content (g/100g weight of dry matter)	-
pH	5.09
Total flavonoid content (mg quercetin equivalents/g)	215.8±0.015

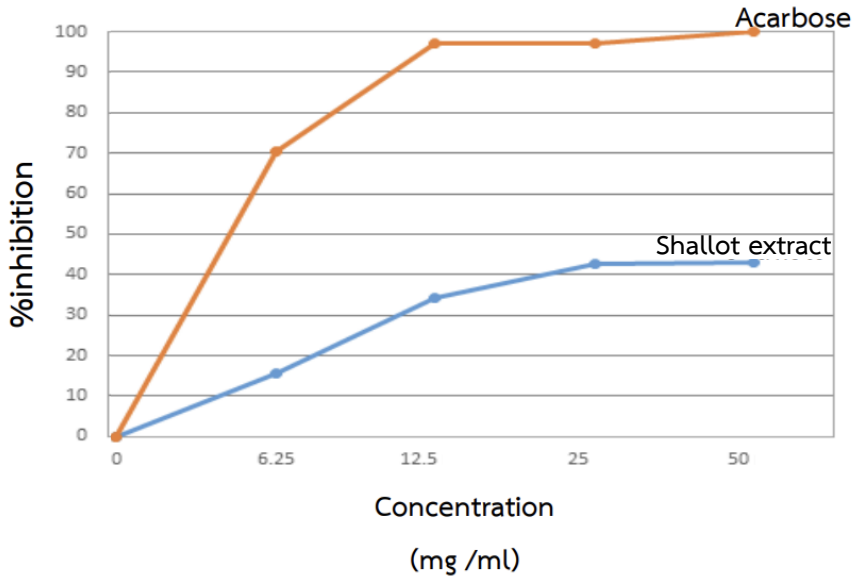

Figure 1 Inhibitory activity of α-glucosidase inhibitors from shallot extract compared to Acarbose

2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอนแคปซูเลทสารยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดส

2.1 ผลิตเอนแคปซูเลทสารยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดส

ผลการศึกษาการผลิตเอนแคปซูเลทโดยใช้วิธีทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและแบบพ่นฝอย พบว่า อิมัลชันของผสมระหว่างสารสกัดหอมแดงและเวย์โปรตีนไอโซเลทมีการกระจายตัวเข้ากันดี (Figure 2)

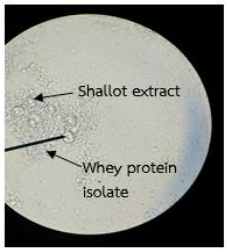

Figure 2 Light microscope image illustrates the shallot extract and whey protein isolate emulsion (Liquid state).

ผลการศึกษารูปร่างและขนาดของเอนแคปซูเลทโดยใช้วิธีทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Figure 3) เมื่อพิจารณาลักษณะภายนอก เป็นเกล็ดแผ่นบาง สีขาวอมเหลือง เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 500x พบว่า อนุภาคมีหลายรูปทรง (irregular shape) มีรูปทรงเหลี่ยมและลักษณะเป็นผลึก (crystallization) บางผลึกมีสารมาเกาะและมีรูพรุน (porosity) ขณะที่บางผลึกเป็นแผ่นเรียบไม่มีสารมาเกาะ พิจารณาขนาดอนุภาค พบว่า มีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย 50 ไมครอน

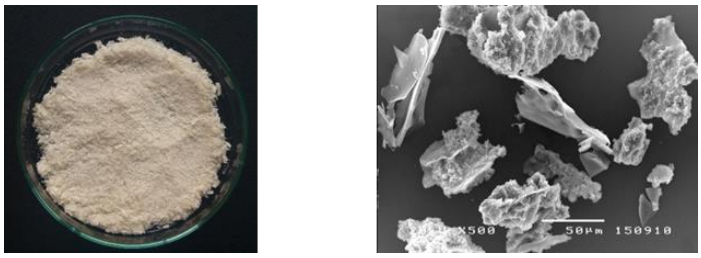

Figure 3 Scanning Electron Microscope image (500x) of encapsulated shallot extract produced by freeze drying technique.

ผลการศึกษารูปร่าง และขนาดของเอนแคปซูเลทโดยใช้วิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย (Figure 4) พบว่า เมื่อพิจารณาลักษณะภายนอก มีสีขาว รูปร่างเป็นผงละเอียด นำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย2000x พบว่า อนุภาคเป็นรูปทรงกลม (spherical shape) ผิวเรียบและหดตัวเหี่ยวย่น (smooth and shrinkage surface) มีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย 10 ไมครอน

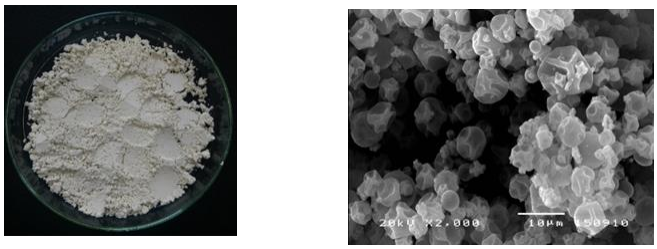

Figure 4 Scanning Electron Microscope image (2000x) of encapsulated shallot extract produced by spray-drying technique.

ความหลากหลายของโครงสร้าง เช่น ขนาดของอนุภาคและลักษณะรูปทรงของเอนแคปซูเลทมีผลต่อความเสถียรของเอนแคปซูเลทและการปกป้องสารแกนภายในเอนแคปซูเลท โดยเอนแคปซูเลทที่มีรูพรุนจะสามารถปกป้องสารแกนภายในได้น้อยกว่าเอนแคปซูเลทที่มีผิวเรียบ (Baldwin et al., 2012) พื้นผิวและโครงสร้างของสารเคลือบที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการทำแห้งเป็นผลจากอัตราการทำแห้ง การให้ความร้อนไม่สม่ำเสมอทำให้พื้นผิวการไหลของของเหลว การขยายตัวของอากาศ และการระเหยของน้ำภายในอนุภาคไม่สม่ำเสมอ เกิดการหดตัวหรือรูพรุนของอนุภาค นอกจากนี้พื้นผิวด้านนอกของเอนแคปซูเลทที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีการยุบตัวนั้น เกิดจากการหดตัวของอนุภาคระหว่างการทำแห้งและทำให้เย็น (Gouin, 2004)

2.2 เปรียบเทียบความเสถียรของเอนแคปซูเลทสารยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดสที่การให้ความร้อนสภาวะต่าง ๆ

ผลการศึกษา (Table 2) พบว่า เอนแคปซูเลทสารสกัดหอมแดงด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอยมี %inhibition สูงกว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและการไม่เอนแคปซูเลชันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในทุกสภาวะการให้ความร้อน เนื่องจากผลการศึกษารูปทรงของเอนแคปซูเลท พบว่า เอนแคปซูเลทด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอยมีรูปร่างทรงกลม รูพรุนน้อย ผิวเรียบจึงส่งผลต่อความเสถียรของเอนแคปซูเลทและสามารถปกป้องสารแกนภายในได้มากกว่า ขณะที่เอนแคปซูเลทด้วยวิธีทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีรูพรุนมากส่งผลให้มีความสามารถในการปกป้องสารแกนภายในได้น้อยกว่าเอนแคปซูเลทที่มีผิวเรียบและสารสกัดที่ไม่มีสารเคลือบปกป้องทำให้ประสิทธิภาพของสารสกัดลดลงมากที่สุด สำหรับสภาวะการให้ความร้อนที่ 250°C เวลา 30 วินาทีเป็นสภาวะที่เอนแคปซูเลทมีประสิทธิภาพน้อยที่สุด โดยผลิตภัณฑ์อาหารที่ใช้สภาวะการให้ความร้อนดังกล่าว เช่น ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ที่ต้องอบด้วยอุณหภูมิสูง ดังนั้น การเอนแคปซูเลทสารสกัดหอมแดงโดยใช้เวย์โปรตีนไอโซเลทอัตราส่วน 1:5 เป็นสารเคลือบและใช้กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นวิธีการเอนแคปซูเลทที่เหมาะสมที่สุดซึ่งจะมีความเสถียรของประสิทธิภาพการยับยั้งที่อุณหภูมิต่ำกว่า 250°C

Table 2 Inhibitory activity of **α**-glucosidase by non-encapsulated shallot extract, encapsulated shallot extract using spray-drying and freeze-drying techniques.

Encapsulation techniques	Non-thermal processing	Thermal processing				Product costs (Baht/1g)
		63±2°C 30 sec.	85±2°C 15 sec.	138±1°C 3 sec.	250±1°C 30 sec.	
Non-encapsulation	43.14%a	13.41%c	27.62%c	25.78%c	ND	17.27
Spray-drying	41.32%a	32.11%a	36.49%a	35.91%a	8.02%	28.98
Freeze drying	41.65%a	22.37%b	34.58%b	32.53%b	4.23%	34.17

a-c: within each column, means not followed by the same letters are significantly different at $p \leq 0.05$ by Duncan's test. ND: No inhibition was detected.

3. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเอนแคปซูเลทสารยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดส

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเอนแคปซูเลทระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30±3°C เป็นเวลา 10 เดือน (Table 3) พบว่า สภาวะไม่ผ่านการให้ความร้อน เอนแคปซูเลทเริ่มมี %inhibition ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$) ที่เวลาการเก็บรักษา 4 เดือนและลดลงทุก 1เดือน ขณะที่สภาวะการให้ความร้อน พบว่า ที่อุณหภูมิ 63±2°C เวลา 30นาที, 85±2°C เวลา 15วินาที และ138±1°C เวลา 3วินาที เริ่มมีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$) เมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 1 เดือน โดยลดลงประมาณ 2.5-5.9% แต่การให้ความร้อนที่ 63±2°C เวลา 30 นาทีจะมี %inhibition ลดลงช้ากว่าการให้ความร้อนสูงเวลาต่ำ (85±2°C เวลา 15 วินาที และ138±1°C เวลา 3 วินาที) ขณะที่การให้ความร้อนที่ 250±1°C เวลา 30 นาที เริ่มมีการลดลงของ %inhibition อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$) เมื่อเก็บไว้ 3 เดือน โดยลดลงประมาณ 3.9% เมื่อเก็บรักษา 10 เดือน พบว่า เอนแคปซูเลทที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนมี %inhibition สูงกว่าที่ผ่านการให้ความร้อน โดยมีค่าเท่ากับ 35.14% ลดลง 6.97% จากเดือนเริ่มต้นในการเก็บรักษา (เดือนที่ 0) ขณะที่เอนแคปซูเลทที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 63±2°C เวลา 30 นาที, 85±2°C เวลา 15 วินาที 138±1°C เวลา 3 วินาที และ 250±1°C เวลา 30 นาที มี %inhibitionเท่ากับ 24.35% 30.87% 29.67% และ4.11% ตามลำดับ

Table 3 Changes in inhibitory activity of **α**-glucosidase inhibitor before and after thermal processing during 10 months storage at 30±3°C.

Storage time (months)	Non-thermal processing	Thermal processing			
		63±2°C 30 sec.	85±2°C 15 sec.	138±1°C 3 sec.	250±1°C 30 sec.
0	42.11%a	32.10%a	35.42%a	35.17%a	8.06%ab
1	42.18%a	30.19%b	35.12%bc	34.27%b	8.15%a
2	41.53%a	29.06%c	35.17%b	33.68%c	8.03%ab
3	41.50%a	29.17%c	34.96%c	33.55%c	7.83%b
4	40.67%bc	29.04%c	34.72%d	33.05%d	7.79%b
5	40.18%cd	28.54%d	33.97%e	32.42%e	7.37%c
6	39.86%cd	28.51%d	33.73%f	32.13%e	7.22%c
7	39.43%d	28.11%e	33.54%g	31.80%f	6.33%d
8	38.22%e	27.04%f	32.29%g	31.45%g	5.21%e
9	37.90%e	26.87%f	31.68%h	30.79%h	5.07%e
10	35.14%f	24.35%g	30.87%h	29.67%i	4.11%f

a-i: within each column, means not followed by the same letters are significantly different at $p \leq 0.05$ by Duncan's test.

เก็บรักษาเอนแคปซูเลทที่อุณหภูมิ 4°C (Table 4) พบว่า เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 10 เดือน ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดสแตกต่างจากตัวอย่างเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$) โดยที่สภาวะไม่ผ่านการให้ความร้อน เอนแคปซูเลทเริ่มมีฤทธิ์ยับยั้งลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$) ที่เวลาการเก็บรักษา 3 เดือน หลังจากเก็บไว้เป็นเวลา 10 เดือน พบว่า มี %inhibition เท่ากับ 40.70% ลดลงจากเดือนที่ 0 เท่ากับ 1.38% เมื่อพิจารณาที่สภาวะการให้ความร้อนต่าง ๆ พบว่า ที่อุณหภูมิ 63±2°C เวลา 30 นาที, 85±2°C เวลา 15 วินาทีและ138±1°C เวลา 3 วินาที เริ่มมีการลดลงของ%inhibitionอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ที่การรักษา 1 เดือนและหลังเก็บรักษาไว้ 10 เดือน %inhibition มีค่าเท่ากับ 31.05%, 34.21% และ34.09% ตามลำดับ โดยลดลงจากเดือนที่ 0 เท่ากับ 0.92-1.13% ขณะที่อุณหภูมิ 250±1°C เวลา 30 นาที %inhibition เริ่มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p \leq 0.05$) ที่เวลาการเก็บรักษาไว้ 3 เดือน และเมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 10 เดือน พบว่ามี %inhibition เท่ากับ 7.53% ลดลงจากเดือนที่ 0 เท่ากับ 0.51% จากการศึกษาการเก็บรักษาทั้งสองสภาวะ พบว่า ประสิทธิภาพยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดสที่เก็บรักษาไว้ที่ 4°C สูงกว่าการเก็บรักษาที่ 30±3°C ดังนั้น วิธีการเก็บรักษาเอนแคปซูเลทสารยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดสที่เหมาะสม คือ การเก็บรักษาในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ที่อุณหภูมิ 4°C

Table 4 Changes in inhibitory activity of **α**-glucosidase inhibitor before and after thermal processing during 10 months storage at 4°C.

Storage time (months)	Non-thermal processing	Thermal processing			
		63±2°C 30 sec.	85±2°C 15 sec.	138±1°C 3 sec.	250±1°C 30 sec.
0	42.08%a	32.18%a	35.22%a	35.01%a	8.04%a
1	42.13%a	32.11%ab	35.06%ab	34.93%ab	8.01%a
2	42.10%a	32.03%ab	35.10%ab	34.87%ab	7.97%a
3	41.98%ab	31.95%ab	35.02%ab	34.70%ab	7.93%ab
4	41.76%b	31.87%b	34.91%bc	34.67%bc	7.83%bc
5	41.61%c	31.72%c	34.82%cd	34.59%c	7.72%cd
6	41.53%c	31.66%c	34.74%cd	34.51%c	7.72%cd
7	41.50%c	31.62%c	34.70%cd	34.48%c	7.70%cd
8	41.27%d	31.58%c	34.65%d	34.40%cd	7.62%de
9	40.74%e	31.11%d	34.33%e	34.12%d	7.58%de
10	40.60%f	31.05%d	3 4.21%e	34.09%d	7.53%e

a-f: within each column, means not followed by the same letters are significantly different at $p \leq 0.05$ by Duncan's test.

4. ศึกษาการผลิตสารยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดสในรูปแบบแคปซูล

ผลิตสารยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดสในรูปแบบแคปซูล พบว่า 1 แคปซูลบรรจุสารยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูซิเดสได้ 500 มิลลิกรัม มีฤทธิ์การยับยั้งเฉลี่ย 42% ศึกษาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C ในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ โดยติดตาม %inhibition ทุก 1 เดือน พบว่า เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 3 เดือน %inhibition ไม่แตกต่างแตกจากตัวอย่างเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 42.09% ปริมาณการรับประทานที่เหมาะสมเพื่อให้มีความสามารถในการยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดสใกล้เคียงกับ Acarbose คือ 1-2 เม็ดก่อนอาหาร คำนวณต้นทุนการผลิต (Table 5) พบว่า ต้นทุนการผลิตก่อนบรรจุแคปซูลประกอบด้วย หอมแดง เอทานอล เวย์โปรตีนไอโซเลท ค่าบริการเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย มีต้นทุนต่อสารสกัด 1 กรัม เท่ากับ 28.98 บาท เมื่อนำมาผลิตในรูปแบบแคปซูลได้ 12,000 เม็ด มีต้นทุนการผลิตในระดับห้องปฏิบัติการเม็ดละ 0.46 บาท หากบรรจุ100 เม็ดต่อขวดจะมีต้นทุนการผลิตขวดละ 46 บาท เทียบกับยา Acarbose ซึ่งเป็นยารักษาโรคเบาหวานปริมาณ 5 กรัม มีราคาสูงถึง 10,100 บาท

Table 5 Costs of **α**-glucosidase inhibitors capsules.

Items	Amounts	Price per unit (Baht)	Total costs (Baht)
Encapsulated shallot extract using spray-drying.			
1. Shallots	10 kilograms	16.00	160.00
2. Ethyl alcohol 60%	2.0 liters	120.00	240.00
3. Whey protein isolate	115 grams	0.62	71.30
4. Spray-dryer costs	0.5 hours.	400.00	200.00
Total cost (Aqueous extract 23.16 g.)			671.30
Total cost (Aqueous extract 1 g.)			28.98
Capsule of encapsulated α-glucosidase inhibitors			
1. Shallots	10 kilograms	16.00	160.00
2. Ethyl alcohol 60%	2 liters	120.00	240.00
3. Whey protein isolate	5 kilograms	0.62	3,100.00
4. Spray-dryer costs	0.5 hours.	400.00	200.00
5. Capsules	12,000 capsules	0.16	1,920.00
Total cost (Aqueous extract 1,000 g.)			5,620.00
Total cost (0.5 g. per capsule)			0.46
Total cost (0.5 g. per 100 capsules)			46.00

1.016 kilograms of dried shallots are produced by 10 kilograms of fresh shallots.

Fresh shallots price from Srisaket province in 2018.

5. การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการให้แก่ผู้ที่รับการถ่ายทอดเทคโนโลยี

ถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตสารยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดสโดสวิธีเอนแคปซูเลชันสู่เชิงพาณิชย์ ดำเนินการวันที่ 17 มีนาคม 2564 ณ ไร่สุขสมาน ตำบลละทาย อำเภอกันทรารมย์ จังหวัดศรีสะเกษ กลุ่มเป้าหมาย คือ วิสาหกิจการเกษตรศรีสะเกษแฟร์เทรด จำนวน 40 คน ผลการดำเนินงาน ดังนี้

5.1 ผู้เข้าอบรมได้เรียนรู้เทคโนโลยีการผลิตสารยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่ากลูโคซิเดสโดยวิธีเอนแคปซูเลชัน ทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ (Figure 5) ได้แก่ การเตรียมวัตถุดิบก่อนการสกัด การเตรียมตัวทำละลายเพื่อสกัดสาร การสกัดสารยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดสจากหอมแดง การวัดค่าคุณภาพสารสกัด การห่อหุ้มสารสกัด (เทคนิคการเอนแคปซูเลชัน) การบรรจุแคปซูล และบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม

Figure 5 Training course of how to produce supplements from shallots.

5.2 กลุ่มผู้เข้าอบรมเยี่ยมชมสถานที่ผลิตเอนแคปซูเลทสารยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดสเพื่อผลิตในเชิงพาณิชย์ (Figure 6) หลังจากผู้เข้าอบรมได้เรียนรู้กระบวนการผลิตทั้งภาคทฤษฎีและปฏิบัติ ผู้จัดการอบรมได้นำผู้เข้าอบรมไปเยี่ยมชมสถานที่ผลิตในระดับโรงงานอุตสาหกรรม คือ บริษัทปัจจัยชีวี จำกัด จังหวัดศรีสะเกษ ซึ่งเป็นโรงงานรับจ้างผลิตและจำหน่ายผลิตภัณฑ์อาหารเสริมและสมุนไพรบรรจุแคปซูล โดยโรงงานดังกล่าวได้รับมาตรฐานการผลิต GMP HACCP และ HALAL สามารถขึ้นทะเบียนผลิตภัณฑ์กับองค์การอาหารและยาให้กับสินค้าของผู้จ้างผลิตได้ โดยกลุ่มวิสาหกิจชุมชนศรีสะเกษแฟร์เทรดได้ว่าจ้างบริษัทปัจจัยชีวี จำกัด เพื่อผลิตเอนแคปซูเลทสารยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดสจากหอมแดง จำนวนครั้งละ 100 กิโลกรัม โดยผลการทดลองผลิตในระดับโรงงาน พบว่า ตัวอย่างที่ผลิตได้แคปซูล 1 เม็ดมีสารยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่ากลูซิเดส 500 มิลลิกรัมกรัม มีฤทธิ์ในการยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดสในหลอดทดลองได้เฉลี่ย 39.2% มีต้นทุนการผลิตเม็ดละ 0.375 บาท

Figure 6 The participants visited Pad Chai Chee Vee Manufacturer for producing the products on a commercial scale.

สรุปผลการทดลอง

1. การผลิตแคปซูลสารยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดสจากหอมแดง จำนวน 100 เม็ด ประกอบด้วย หอมแดงอบแห้ง 1 กิโลกรัม เอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 60% จำนวน 4 ลิตร เวย์โปรตีนไอโซเลท (11%w/v) เป็นสารเคลือบในอัตราส่วนสารสกัดต่อเวย์โปรตีน 1:5 นำไปผ่านกระบวนการเอนแคปซูเลชันด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอยและบรรจุแคปซูล โดยแคปซูล 1 เม็ด มีสารยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดส 500 มิลลิกรัม มีฤทธิ์ยับยั้งเฉลี่ย 42% ต้นทุนเม็ดละ 0.46 บาท เมื่อเก็บรักษาแคปซูลเป็นเวลา 3 เดือน พบว่า มีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดสไม่แตกต่างแตกจากตัวอย่างเริ่มต้น (42.09%)

2. แคปซูลสารยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดสเหมาะสำหรับรับประทานในรูปแบบอาหารเสริม ซึ่งจะช่วยควบคุมประมาณระดับน้ำตาลในเลือดหลังรับประทานอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต โดยปริมาณการรับประทานที่เหมาะสมต่อวัน คือ 1-2 เม็ดก่อนอาหาร

3. การถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตแคปซูลสารยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดสจากหอมแดง ผู้เข้าอบรมมีความรู้ ความเข้าใจทฤษฎีและขั้นตอนการปฏิบัติเพื่อผลิตสารยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดส โดยวิธีเอนแคปซูเลชันและมีสถานที่ผลิตเพื่อจำหน่ายในระดับเชิงพาณิชย์ สามารถสร้างธุรกิจและเพิ่มมูลค่าให้กับหอมแดงซึ่งเป็นผลผลิตหลักของจังหวัดศรีสะเกษ โดยผลการทดลองผลิตในระดับโรงงาน พบว่าแคปซูล 1 เม็ดมีสารยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดส 500 มิลลิกรัม มีฤทธิ์ในการยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดสได้เฉลี่ย 39.2% ต้นทุนการผลิตเม็ดละ 0.375 บาท

การนำไปใช้ประโยชน์

1. การผลิตสารยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดสโดยวิธีเอนแคปซูเลชันได้เผยแพร่องค์ความรู้ในรูปแบบโปสเตอร์และตัวอย่างผลิตภัณฑ์ นำเสนอในงานแสดงผลงานวิจัย ณ จังหวัดศรีสะเกษ หัวข้อนวัตกรรมอาหารเสริมสุขภาพ เครื่องสำอาง และสิ่งเหลือใช้จากหอมแดง ต้อนรับการเยี่ยมชมของนางสาวมนัญญา ไทยเศรษฐ์ รัฐมนตรีช่วยว่าการกระทรวงเกษตรและสหกรณ์พร้อมด้วยผู้ว่าราชการจังหวัดศรีสะเกษ
2. ถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตสารยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-กลูโคซิเดสโดยวิธีเอนแคปซูเลชันให้แก่วิสาหกิจการเกษตรศรีสะเกษแฟร์เทรดเพื่อผลิตและจัดจำหน่ายในเชิงพาณิชย์

เอกสารอ้างอิง

ไตรวุฒิ พันธุ์โยธา และอุทัยวรรณ สุทธิศันสนีย์. 2556. การป้องกันโรคเบาหวานด้วยใบจินเจียเหมาเยี่ยและแป๊ะตำปึง. (ออนไลน์). แหล่งข้อมูล : https://www.inmu.mahidol.ac.th. (11 เมษายน 2559)

Ahmed, O.M., Moneim, A.A., Mahmoud, A.M. 2010. Antihyperglicemic antihyperlipidemic and antioxidant effects and the probable mechanisms of action of Ruta graveolens infusion and rutin in nicotinamide-streptozotocininduced diabetic rats. *Diabetologia Croatica* 39: 15-35.

Baldwin, E.A., Hagenmaier, R.D., Bai, J. 2012. Edible coatings and films to improve food quality. [Online]. Available: http://www.crcpress.com [Accessed 10 April 2016].

Coman, C. 2012. Plants and Natural Compounds with Antidiabetic Action. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoc* 40(1): 314-325.

Gouin, S. 2004. “Microencapsulation: industrial appraisal of existing technologies and trends.” *Trends in Food Science and Technology* 15(7-8): 330-347.

Guariguata, L., and Whiting, D.R. 2014. Global estimates of diabetes prevalence for 2013 and projections for 2035. *Diabetes Research Clinical Practic*e 103(2): 137-49.

Lebowitz, J., Teale, M., and Schuck, P. 1998. Analytical band centrifugation of proteins And protein complexes. *Biochemical. Society. Transac*tion. 26: 745– 749.

Nistor Baldea, L.A., Levy, E. and Haddad, P.S. 2010. Inhibition of intestinal glucose absorption by anti-diabetic medicinal plants derived from the James Bay Cree traditional pharmacopeia. *Journal of Ethnopharmacology* 132: 473-482.

Poblocka-Olech, L., Glod, D. and Sznitowska, M. 2016. TLC determination of flavonoids from different cultivars of Allium cepa and Allium ascalonicum. *Acta Pharmaceutica* 66(4): 543-554.