รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองที่สิ้นสุด

---

1. **แผนงานวิจัย** : แผนบูรณาการวิจัยและพัฒนา วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์เพื่อสุขภาพ (Integrated Program on Research and Development on Healthy Products and Packaging)

2. **โครงการวิจัย** : วิจัยและพัฒนาการผลิต Startup ingredients สำหรับอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์สุขภาพ

   กิจกรรม :

   กิจกรรมย่อย (ถ้ามี) :

3. **ชื่อการทดลอง (ภาษาไทย)** : การผลิตสารให้กลิ่นรสจากน้ำผลไม้เข้มข้นพรีไบโอติกสูง

   ชื่อการทดลอง (ภาษาอังกฤษ) : Production of Flavoring Agent from High Pre-Biotics Concentrated Fruit Juice

4. **คณะผู้ดำเนินงาน**

   หัวหน้าการทดลอง : นางสาววิมลวรรณ วัฒนวิจิตร
   กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร

   ผู้ร่วมงาน : นายโกเมศ สัตยาวุธ
   นางสาวอกนิษฐ์ พิศาลวัชรินทร์
   นายประยูร เอ็นมาก
   กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร

5. **บทคัดย่อ**

การผลิตสารให้กลิ่นรสจากน้ำผลไม้เข้มข้นพรีไบโอติกสูง ดำเนินการทดลองที่กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร ระหว่างปี 2560 – 2562 มีวัตถุประสงค์เพื่อการผลิต

สารให้กลิ่นรสจากน้ำผลไม้ในการเป็นส่วนผสมในอาหารเพื่อสุขภาพ โดยได้ศึกษาวิธีการทำน้ำสับปะรดเข้มข้นโดยวิธีระเหยแห้งภายใต้สุญญากาศเทียบกับวิธี freeze concentration แล้วนำน้ำสับปะรดที่ได้ศึกษาการเปลี่ยนน้ำตาลซูโครสเป็นฟรุกแตนซึ่งเป็นสารพรีไบโอติกส์ด้วยเอนไซม์ และศึกษาการทำเอนแคปซูเลทน้ำสับปะรดเข้มข้นพรีไบโอติกสูงที่ได้ ผลจากการศึกษาพบว่ากรรมวิธีการผลิตน้ำผลไม้เข้มข้นที่โดยระเหยแห้งภายใต้สุญญากาศ สามารถทำให้น้ำสับปะรดมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้สูงกว่าวิธี freeze concentration โดยที่คุณสมบัติของน้ำผลไม้ที่ได้ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้น้ำสับปะรดเข้มข้นและปริมาณน้ำตาลซูโครสเริ่มต้นสูงจะสามารถเปลี่ยนเป็น FOS ได้ดีกว่า โดยสภาวะที่เหมาะสมในการใช้เอนไซม์เพื่อผลิต FOS ด้วย pectinex ultra SP-L 4 U/g sucrose และ เอนไซม์ glucose oxidase 1022 U/g sucrose ใช้สารละลายบัฟเฟอร์ Sodium acetate 0.5 M pH 5.6 ปริมาตร 40 µL ต่อตัวอย่างน้ำผลไม้เข้มข้น 1 mL บ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 ชั่วโมง จะได้น้ำสับปะรดเข้มข้นพรีไบโอติกส์สูงมีปริมาณฟรุกแตนทั้งหมดเฉลี่ยร้อยละ 31.61 เมื่อศึกษาการเอนแคปซูเลทน้ำสับปะรดเข้มข้นพรีไบโอติกส์สูง โดยใช้อัลจิเนตสารเคลือบ พบว่า ปริมาณสารเคลือบที่เหมาะสม คือ ร้อยละ 2.0 และขนาดหัวฉีด 0.45 mm ซึ่งทำให้เอนแคปซูเลทน้ำสับปะรดเข้มข้นมีปริมาณฟรุกแตนทั้งหมดที่ถูกเอนแคปซูเลทสูงสุด และได้เอนแคปซูเลทน้ำผลไม้เข้มข้นเป็นเม็ดทรงกลม นอกจากนี้การศึกษาการให้ความร้อนกับเอนแคปซูเลทที่ผลิตได้ที่อุณหภูมิ 80 85 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 -15 นาที พบว่าปริมาณฟรุกแตนทั้งหมดในเอนแคปซูเลทน้ำสับปะรดเข้มข้นพรีไบโอติกสูง มีปริมาณใกล้เคียงกันทุกอุณหภูมิและเวลาในการต้ม เอนแคปซูเลทน้ำสับปะรดเข้มข้นพรีไบโอติกส์สูงที่เก็บรักษา เป็นเวลา 12 เดือน มีปริมาณฟรุกแตนทั้งหมดเฉลี่ยร้อยละ 64.53

Abstract

Production of flavoring agent from high pre-biotics concentrated fruit juice was performed during 2017 - 2019 at Postharvest and Processing Research and Development Division. The objective of this study was to development of flavoring agents from fruit juices as ingredients in healthy foods. The comparison of concentrated pineapple juice method by evaporation under vacuum and freeze concentration, optimal condition of FOS produce from Pectinex ultra SP-L and encapsulation of high pre-biotics concentrated pineapple juice were studied. The results showed that concentrated pineapple juice by evaporation under vacuum was higher total soluble solid than it by freeze concentration and other properties were similar. However, the higher initial sucrose was convert to FOS better. The optimal condition of FOS production were Pectinex ultra SP-L was 4 U/g sucrose, glucose oxidase 1022 U/g sucrose, 0.5 M sodium acetate buffer pH 5.6 40 4 0 µL/mL sample, incubation

temperature was 55 degree Celsius and 15 hours incubation time. The resulting concentrated pineapple juice has fructan content about 31.61 percent. Afterward, the optimal conditions to encapsulate high pre-biotics pineapple juice were 0.2 percent of alginate as spherical former and 0.45 mm nozzle resulting highest encapsulated fructan content and sphere bead of encapsulate high pre-biotics concentrated pineapple juice. Moreover, the fructans content in encapsulate high pre-biotics concentrated pineapple juice were similar when heated at 80 85 and 90 degree Celsius and stored for 12 month.

6. คำนำ

ในปัจจุบันนิยมใช้น้ำผลไม้เข้มข้นเป็นวัตถุดิบหรือสารให้กลิ่นในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่มต่างๆ เนื่องจากช่วยลดพื้นที่และพลังงานในการขนส่ง อีกทั้งสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานกว่าน้ำผลไม้พร้อมดื่ม เนื่องจากการทำให้เข้มข้นทำให้ค่า water activity ของน้ำผลไม้ลดลง ป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้น้ำผลไม้เสื่อมคุณภาพ รวมทั้งจุลินทรีย์ก่อโรค การทำให้น้ำผลไม้เข้มข้นสามารถทำโดยใช้กระบวนการระเหยหรือวิธีแยกน้ำออกแบบด้วยวิธีการต่างๆ (พิมพ์เพ็ญ และ นิธิยา, 2557) เช่น

Vacuum evaporator เป็นการระเหยแห้งภายใต้สุญญากาศหรือที่ความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ ซึ่งน้ำระเหยที่อุณหภูมิต่ำลง ทำให้คุณภาพอาหารดีขึ้นกว่าการระเหยที่ความดันบรรยากาศปกติ

Freeze concentration คือการให้เข้มข้นโดยการลดอุณหภูมิของอาหารให้ต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง เพื่อให้น้ำบางส่วนเกิดเป็นผลึกน้ำแข็ง แล้วแยกผลึกน้ำแข็งออก อาหารที่ทำให้เข้มข้นโดยวิธีการนี้ไม่สัมผัสความร้อนจึงสามารถคงกลิ่นรสของอาหารสดได้ดีและคุณค่าทางโภชนาการไว้ได้ดีกว่า

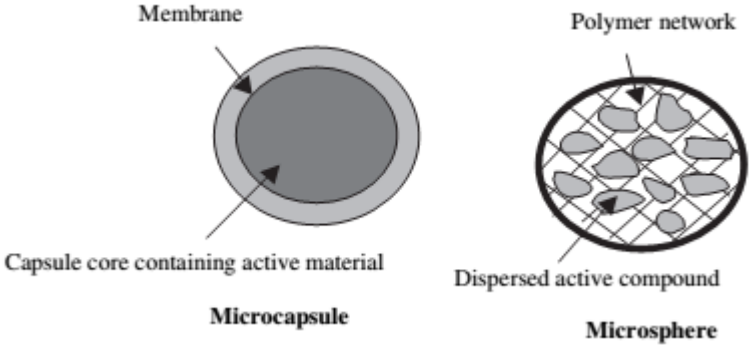
สับปะรดเป็นผลไม้เขตร้อนที่ได้รับความนิยมอย่างมากในการค้าโลกกระจายตัวอยู่ภูมิภาคในเขตร้อน เช่น ฟิลิปปินส์ ไทย มาเลเซีย และอินโดนีเซีย ปริมาณการผลิตสับปะรดทั่วโลกในปี 2559 ประมาณ 24.78 ล้านตัน โดยประเทศไทยจัดว่าเป็นแหล่งผลิตสับปะรดสูงสูด 5 อันดับแรกของโลก โดยมีปริมาณผลผลิตสับปะรด 1811.59 ตัน รองจากคอสตาริก้า บราซิล ฟิลิปปินส์ และอินเดีย ตามลำดับ (Lasekan and Hussein, 2018) สับปะรดเป็นผลไม้ที่ได้รับสนใจอย่างมากเนื่องจากมีกลิ่นรสที่ดึงดูด ให้รสชาติสดชื่น มีความสมดุลของรสหวานและรสเปรี้ยว ทำให้น้ำสับปะรดนิยมนำไปผสมรวมกับกลิ่นรสผลไม้ชนิดอื่น ๆ เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์มีความน่าสนใจและสามารถแข่งขันด้านราคาในท้องตลาดกับผู้บริโภคทุกวัย น้ำสับปะรดมีความโดเด่นเนื่องจากมีปริมาณน้ำตาลสูงและมีคุณค่าทางโภชนาการเนื่องจากมีแร่ธาตุต่าง ๆ เป็นองค์ประกอบ เช่น

แคลเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม โพแทสเซียม ไอโอดีน และวิตามินต่าง ๆ เช่น วิตามิน ซี เอ บี1 บี2 และไนอะซีน โดยมีปริมาณโปรตีนและไขมันต่ำกว่าร้อยละ 0.5 (Couto, et al., 2011)

น้ำผลไม้เข้มข้น สามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการโดยการเพิ่มฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ (FOS) ให้กับผลิตภัณฑ์จะทำให้ผู้บริโภคได้รับประโยชน์จากการบริโภคมากขึ้น โดย FOS เป็นน้ำตาลที่พบในธรรมชาติ จัดเป็นพรีไบโอติกที่ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ให้โทษในลำไส้ (Roberfroid et al., 1998) ป้องกันอาการท้องผูก (Nyman, 2002) เพิ่มอัตราการดูดซึมแคลเซียม (Abrams et al., 2005) ช่วยให้ระบบลำไส้ทำงานได้เป็นปกติ (Kleessen and Blaut, 2005) ช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งลำไส้ (Van et al., 2005) และยังเป็นสารให้ความหวานที่มีคุณสมบัติพิเศษคือ ให้แคลอรีต่ำ ไม่เป็นสารก่อมะเร็ง ปลอดภัยต่อผู้ป่วยเบาหวาน โดย FOS มีโครงสร้างเป็น fructose oligomer ประกอบด้วยหมู่ fructosyl (F) ในตำแหน่ง β-2 กับ Sucrose (GF) (Yun, 1996) บางครั้งอาจเรียกรวม oligo และ polysaccharide ของ fructose ซึ่งมี degree of polymerization (DP) ที่แตกต่างกันว่าฟรุกแตน (fructan) (Muir et al., 2007) โดยค่า DP อยู่ระหว่าง 2-9 เรียกว่า Fructo-oligosaccharide (FOS) หรือ oligofructose แต่ถ้ามีค่า DP มากกว่า 10 จะเรียกว่า inulin โดยพรีไบโอติกในกลุ่มโอลิโกแซคคาไรด์สามารถผลิตได้จาก 3 วิธีการคือ การสกัดโอลิโกแซคคาไรด์จากพืชโดยตรง การควบคุมการไฮโดรไลซ์ (Hydrolysis) จากโพลิแซคคาไรด์ (Grizard et al., 1999) และการสังเคราะห์ด้วยเอนไซม์โดยใช้ Hydrolases และ/หรือ Glycosyl transferases จากพืชหรือแหล่งกำเนิดของจุลินทรีย์ (L'Hocine et al., 2000) แหล่งเอนไซม์ในการสังเคราะห์ FOS จากพืช เช่น asparagus, sugar beet, onion, Jerusalem artichoke และจากแบคทีเรียและรา เช่น Aspergillus sp., Aureobasidium sp., Arthorobacter sp. และ Fusarium sp. โดยเอนไซม์จากจุลินทรีย์จะมีขนาดใหญ่และความคงทนมากกว่าเอนไซม์จากพืช (Yun, 1996) Aspergillus niger ATCC 20611 เป็นเชื้อราสายพันธุ์ที่สามารถผลิตเอนไซม์ที่สังเคราะห์ FOS ได้ในปริมาณสูง เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการผลิต FOS โดยสับสเทรตคือซูโครสจะถูกเปลี่ยนไปเป็นสารผสมของ FOS ที่มีโครงสร้างแบบ 1F(1-β-fructofuranosyl)n-sucrose ที่มีจำนวน n = 1-3 ซึ่งได้แก่ 1-kestose (GF2), nystose (GF3) และ fructofuranosyl nystose (GF4) การผสม β-fructofuranosidase และ glucose oxidase ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส pH 5.5 อัตราการให้อากาศ 1 vvm อัตราการกวน 550 รอบต่อนาที นาน 32 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้นของซูโครสเริ่มต้น 400 กรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของ β-fructofuranosidase 10 U/g sucrose และความเข้มข้นของ glucose oxidase 15 U/g sucrose เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิต FOS (Sirisansaneeyakul et al., 2000) นอกจากนี้ยังมีการผลิตเอนไซม์ fructosyltransferase ในทางการค้าด้วยเช่น PECTINEX ULTRA SP-l (Novozymes A/S) และ RAPIDASE TF (DSM) (Henderson, 2010) โดย Surin et al. (2012) ได้ศึกษาสภาวะในการผลิต FOS จากน้ำเชื่อมลำไย 60°Brix พบว่าปริมาณ PECTINEX ULTRA SP-L และ glucose oxidase ที่ทำให้เกิด FOS สูงสุด คือ 3.3 และ 1022 U/g sucrose ตามลำดับ โดยบ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8

ชั่วโมง 41 นาที จะได้ nystose 30.27 g/L และ 1-kestose 123.36 g/L ทั้งนี้ผลไม้ไทยหลายชนิดมีรสหวานและมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบสูง ซึ่งจะเป็นสับสเทรตให้กับเอนไซม์ glucose oxidase ในการผลิต FOS ได้ โดย FOS ที่ผลิตได้จะช่วยลดความเสี่ยงจากการป่วยเป็นโรคมะเร็งลำไส้ ซึ่งเป็นโรคที่เป็นปัญหาทางด้านสุขภาพที่สำคัญของประเทศในปัจจุบัน และยังเป็นการแก้ปัญหาผลิตผลเกษตรราคาตกต่ำได้อีกด้วย

การผลิตผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ นอกจากมุ่งเน้นในการสกัดและเพิ่มปริมาณสารสำคัญแล้ว ยังมีเทคนิคสำคัญที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้เพื่อรักษารสชาติ คุณค่าทางโภชนาการ รวมทั้ง bioactivity ของสารสำคัญต่างๆ คือ เทคนิคเอนแคปซูเลชัน (encapsulation) เป็นกระบวนการที่สารหรือส่วนผสมของสารถูกเคลือบด้วยสารอีกชนิดหนึ่งดังโครงสร้างแสดงในรูปที่ 1เพื่อปกป้องสารเหล่านั้นที่อาจทำปฏิกิริยากับส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหาร และปกป้องสารจากแสงและปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือควบคุมการปลดปล่อยสารในผลิตภัณฑ์อาหาร เป็นกระบวนการที่สารหรือส่วนผสมของสารถูกเคลือบด้วยสารชนิดอื่น สารที่ถูกเคลือบส่วนใหญ่จะเป็นของเหลว แต่บางครั้งอาจเป็นอนุภาคของแข็งหรือก๊าซ สารเคลือบในการ เอนแคปซูเลชันสามารถใช้ได้หลายชนิด เช่น สตาร์ช (starch) มอลโตเดกซ์ทริน (moltodextrin) กัมชนิดต่าง ๆ เวย์โปรตีน (whey protein) โปรตีนจากถั่วเหลือง อนุพันธ์ของเจลาติน โดยวิธีการเอนแคปซูเลชันมีหลายวิธี เช่น การอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) การเอ็กซ์ทรูชัน (extrusion) Spray chilling and cooling coacervation การเคลือบด้วยฟูลอิดไดส์เบด (fluidized bed coating) การหุ้มด้วยไลโปโซม (liposome entrapment) การอบแห้งแบบแช่แข็ง เป็นต้น (Madene *et al.*, 2006)



ภาพที่ 1 ภาพจำลองอนุภาคจากการเอนแคปซูเลชัน (Madene *et al.*, 2006)

ดังนั้นการทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำน้ำสับปะรดมาพัฒนาเป็นน้ำผลไม้เข้มข้นที่มีคุณประโยชน์ต่อร่างกายสูงและสามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมในอาหารเพื่อสุขภาพ

7. วิธีดำเนินการ

อุปกรณ์และสารเคมี

- สับปะรดศรีราชา ซื้อจากตลาดไท
- เอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L และ glucose oxidase (Novozyme)
- Sodium acetate (Sigma Aldrich, FG)
- อัลจิเนต (กรุงเทพฯเคมี, เกรดอาหาร)

- สารมาตรฐานน้ำตาล ได้แก่ sucrose fructose glucose nystose 1-ketose
- เครื่องระเหยสารภายใต้สุญญากาศแบบหมุน (Buchi, R-124)
- เครื่องทำไอศกรีม (TAYLOR, 103)
- เครื่องคั้นน้ำผลไม้แบบไฮโดรลิก (บริษัท ออโต้กรีนโร้ด จำกัด, Model. 12 เทอร์โบ)
- เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์คุณภาพน้ำผลไม้ ได้แก่ เครื่องวัด pH เครื่องวัดสี เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ hand refractometer
- เครื่อง Encapsulator (Buchi, B-395 Pro)
- เครื่องโครมาโทกราฟีเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) พร้อมคอลัมน์และเครื่องตรวจวัดชนิดดัชนีหักเห (RID) (Perkin, Flexar)
- เครื่องแก๊สโครมาโทรกราฟี-แมสสเปคโทรมิเตอร์ (GC-MS) พร้อมด้วย solid phase micro extraction (SPME)

วิธีการ

1. การศึกษาเปรียบเทียบกรรมวิธีผลิตน้ำผลไม้เข้มข้น

การศึกษาเปรียบเทียบกรรมวิธีการผลิตน้ำผลไม้เข้มข้น 2 วิธีการ คือ การระเหยแห้งภายใต้สุญญากาศ และ freeze concentration ในตัวอย่างน้ำสับปะรดที่เตรียมโดยนำสับปะรดพันธ์ศรีราชมาล้างแล้วปอกเปลือก ฝาดเอาตาออก หั่นเป็นชิ้น คั้นน้ำด้วยเครื่องคั้นน้ำผลไม้แยกกาก

1.1 การผลิตน้ำผลไม้เข้มข้นโดยวิธีการระเหยแห้งภายใต้สุญญากาศ

การศึกษาการผลิตน้ำผลไม้เข้มข้นโดยวิธีระเหยแห้งภายใต้สุญญากาศโดยนำน้ำสับปะรด ระเหยแห้งด้วยเครื่องระเหยสารละลายแบบหมุน Buchi R-124 ภายใต้สุญญากาศ ตั้งอุณหภูมิอ่างน้ำร้อน 60 องศาเซลเซียส อุณหภูมิจุดเดือดของสารละลาย 40 องศาเซลเซียส ความดัน 75 มิลลิบาร์ จนกระทั่งน้ำสับปะรดมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ประมาณ 60 องศาบริกส์ และคำนวณปริมาณผลผลิตน้ำสับปะรดเข้มข้นที่ได้

1.2 การผลิตน้ำผลไม้เข้มข้นโดยวิธี freeze concentration

การศึกษาการผลิตน้ำผลไม้เข้มข้นโดยวิธี freeze concentration โดยศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการปั่นน้ำสับปะรดให้เป็นเกล็ดน้ำแข็งโดยเครื่องทำไอศกรีมเป็นเวลา 10 15 20 25 และ 30 นาที แล้วคั้นแยกน้ำโดยใช้เครื่องคั้นน้ำผลไม้แบบไฮโดรลิก วางแผนการทดลอง แบบ RCB 3 ซ้ำ นำน้ำสับปะรดที่ได้วัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้และคำนวณปริมาณผลผลิตน้ำสับปะรดเข้มข้นที่ได้

1.3 การศึกษาคุณภาพของน้ำผลไม้เข้มข้น

นำน้ำสับปะรดเข้มข้นจากวิธีการระเหยแห้งภายใต้สุญญากาศและ freeze concentration ศึกษาคุณภาพน้ำผลไม้ ดังนี้

- ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (TSS) โดยใช้ hand refractometer
- ค่าสี L* a* b* ด้วยเครื่องวัดสี
- ค่า pH
- ปริมาณน้ำตาลชนิดต่าง ๆ ในน้ำผลไม้ ได้แก่ ซูโครส กลูโคส ฟรุกโตส โดยใช้เครื่อง Perkin Elmer model Flexar HPLC คอลัมน์ Nucleosil carbohydrate 250 mm x 10μm x 4 mm detector ชนิด reflactive index โดยใช้ น้ำและ acetonitrile ในอัตราส่วน 30 : 70 เป็นเฟสเคลื่อนที่
- ปริมาณฟรุกแตนทั้งหมดโดยวิธี AOAC Method 999.03 และชุดวิเคราะห์ ฟรุกแตน (Megazyme, Ireland)
- สารให้กลิ่นรสในน้ำสับปะรดเข้มข้นเทียบกับน้ำสับปะรดสด โดยใช้วิธี solid-phase microextraction (SPME) โดยชั่งตัวอย่าง 10 กรัมใส่ขวด headspace vial ใช้ไฟเบอร์ที่เคลือบด้วย polydimethylsiloxane/divinylbenzene (PDMS/DVB) 65μm (Supelco) สกัดตัวอย่างที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที ก่อนวิเคราะห์ด้วยเครื่อง PerkinElmer Clarus SQ 8 GC-MS และ Elite 1 capillary column (30m x 0.25 mm x 0.25 mm) ใช้แก๊สฮีเลียมที่อัตราการไหล 1 mL/min เป็น Carrier gas ใช้อุณหภูมิ injector 250 องศาเซลเซียส 3 นาที ปรับอุณหภูมิของคอลัมน์ดังนี้ อุณหภูมิเริ่มต้น 40 องศาเซลเซียส จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิเป็น 120 องศาเซลเซียสด้วยอัตรา 3 องศาเซลเซียสต่อนาที แล้วเพิ่มอุณหภูมิเป็น 200 องศาเซลเซียสด้วยอัตรา 5 องศาเซลเซียสต่อนาที คงไว้ 10 นาที MS สแกนช่วง m/z 35-335 ที่ 70 eV ionization ที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบ MS spectrum กับฐานข้อมูล NIST library

2. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้เอนไซม์ผลิต FOS ในน้ำผลไม้เข้มข้น

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้เอนไซม์เพื่อผลิต FOS ในน้ำผลไม้เข้มข้น โดยเตรียมน้ำสับปะรดเข้มข้นโดยวิธีระเหยแห้งภายใต้สุญญากาศ จนมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 70 องศาบริกส์ เนื่องจากที่ใช้เวลาผลิตต่ำกว่าวิธี freeze concentration ประยุกต์ใช้สภาวะที่เหมาะสมในการผลิต FOS โดย Surin (2012) โดยใช้ปริมาณเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L 4 ระดับคือ 2.5, 3, 3.5 และ 4 U/g sucrose เวลาการบ่ม 4 ระดับคือ 6, 9, 12 และ 15 ชั่วโมง วางแผนการทดลองแบบ CRD 16 กรรมวิธี 3 ซ้ำ โดยทุกกรรมวิธีใช้ปริมาณเอนไซม์ glucose oxidase 1022 U/g sucrose บ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ใช้สารละลายบัฟเฟอร์ Sodium acetate 0.5 M pH 5.6 ปริมาตร 40 μL ต่อตัวอย่างน้ำผลไม้เข้มข้น 1 mL ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โดยการต้ม 10 นาที แล้ววิเคราะห์ปริมาณฟรุกแตนทั้งหมดเทียบกับปริมาณซูโครสเริ่มต้น

3. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเอนแคปซูเลทน้ำผลไม้เข้มข้นพรีไบโอติกสูง

เตรียมตัวอย่างน้ำสับปะรดเข้มข้นโดยวิธีระเหยแห้งภายใต้สุญญากาศจนมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 70 องศาบริกส์ นำมาหมักด้วย pectinex ultra SP-L 3.5 U/g sucrose และ เอนไซม์ glucose oxidase 1022 U/g sucrose ใช้สารละลายบัฟเฟอร์ Sodium acetate 0.5 M pH 5.6 ปริมาตร 40 μL ต่อตัวอย่างน้ำผลไม้เข้มข้น 1 mL บ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 15 ชั่วโมง แล้วต้มเพื่อฆ่าเชื้อและยับยั้งการ

ทำงานของเอนไซม์ จะได้น้ำสับปะรดเข้มข้นพรีไบโอติกส์สูงมีปริมาณฟรุกแตนทั้งหมดเฉลี่ยร้อยละ 52.83 (วิเคราะห์ปริมาณฟรุกแตนโดยวิธี AOAC Method 999.03 และชุดวิเคราะห์ฟรุกแตน ของ Megazyme, Ireland) เก็บรักษาไว้ในตู้แช่แข็ง 18 องศาเซลเซียส

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเอนแคปซูเลทน้ำสับปะรดเข้มข้นพรีไบโอติกสูงโดยใช้ เครื่อง Encapsulator B-395 Pro ใช้อัลจิเนตเป็นสารเคลือบ โดยเติมผงอัลจิเนตชนิดความหนืดต่ำในน้ำสับปะรดเข้มข้นพรีไบโอติกสูง ร้อยละ 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 และหัวฉีด 3 ขนาด ได้แก่ 0.15, 0.3 และ 0.45 mm วางแผนการทดลองแบบ RCB 12 กรรมวิธี 3 ซ้ำ ใช้สารละลาย $CaCl_2$ ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร เป็นสารทำให้จับกัน ศึกษาลักษณะทางกายภาพของอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 40X ดูลักษณะรูปร่างของเอนแคปซูเลทน้ำผลไม้ และวิเคราะห์ปริมาณฟรุกแตนทั้งหมดที่ถูกเอนแคปซูเลท โดยกรองแยกเอนแคปซูเลทน้ำสับปะรดเข้มข้นพรีไบโอติกส์สูงออกจากสารละลาย $CaCl_2$ ล้างด้วยน้ำกลั่นแล้วนำไปสกัดด้วยน้ำร้อนอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเพื่อหาปริมาณฟรุกแตนทั้งหมดโดยวิธี AOAC Method 999.03 และชุดวิเคราะห์ฟรุกแตน ของ Megazyme, Ireland

4. การศึกษาประสิทธิภาพของการเอนแคปซูเลทน้ำผลไม้เข้มข้นพรีไบโอติกสูง

4.1 การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อเอนแคปซูเลทน้ำผลไม้เข้มข้นพรีไบโอติกสูง

การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อเอนแคปซูเลทน้ำผลไม้เข้มข้นพรีไบโอติกส์สูง โดยเตรียมเอนแคปซูเลทเอนแคปซูเลทน้ำสับปะรดเข้มข้นพรีไบโอติกส์สูงโดยใช้เครื่อง Encapsulator B-395 Pro ใช้อัลจิเนตร้อยละ 2.0 เป็นสารเคลือบ และหัวฉีดขนาด 0.45 mm ศึกษาการให้ความร้อนเอนแคปซูเลทน้ำสับปะรดเข้มข้นพรีไบโอติกส์สูงจำนวน 10 กรัม ในน้ำ 100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 80 85 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 5 7 9 11 13 และ 15 นาที แต่ละอุณหภูมิวางแผนการทดลองแบบ RCB 7 กรรมวิธี ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ปริมาณฟรุกแตนทั้งหมดโดยวิธี AOAC Method 999.03 และชุดวิเคราะห์ฟรุกแตน ของ Megazyme, Ireland

4.2 การศึกษาผลของอายุการเก็บรักษาของเอนแคปซูเลทน้ำผลไม้เข้มข้นเข้มข้นพรีไบโอติกสูง

เตรียมน้ำผลไม้เข้มข้นพรีไบโอติกส์สูงโดยนำน้ำสับปะรดเข้มข้นโดยวิธีระเหยแห้งภายใต้สุญญากาศจนมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 70 องศาบริกส์ หมักด้วย pectinex ultra SP-L 3.5 U/g sucrose และเอนไซม์ glucose oxidase 1022 U/g sucrose ใช้สารละลายบัฟเฟอร์ Sodium acetate 0.5 M pH 5.6 ปริมาตร 40 µL ต่อตัวอย่างน้ำผลไม้เข้มข้น 1 mL บ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 15 ชั่วโมง แล้วต้มเพื่อฆ่าเชื้อและยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ จะได้น้ำสับปะรดเข้มข้นพรีไบโอติกส์สูง จากนั้นนำไปเอนแคปซูลเลทโดยใช้อัลจิเนตเป็นสารเคลือบร้อยละ 2.0 และขนาดหัวฉีด 0.45 mm ทำแห้งโดยการทำแห้งแบบเยือกแข็ง เก็บรักษาไว้ในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ การศึกษาผลของอายุการเก็บรักษาของเอนแคปซูเลทน้ำสับปะรดเข้มข้นเข้มข้นพรีไบโอติกสูง โดยศึกษาค่าสี และปริมาณฟรุกแตนทั้งหมดของตัวอย่างเอนแคปซูเลทน้ำสับปะรดเข้มข้นเข้มข้นพรีไบโอติกสูง ทุก 1 เดือน เป็นเวลา 12 เดือน

เวลาและสถานที่

กันยายน 2559 – ตุลาคม 2562

กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร

8. ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การศึกษาเปรียบเทียบกรรมวิธีผลิตน้ำผลไม้เข้มข้น

1.1 การผลิตน้ำผลไม้เข้มข้นโดยวิธีการระเหยแห้งภายใต้สุญญากาศ

ผลการศึกษาการผลิตน้ำผลไม้เข้มข้นโดยวิธีระเหยแห้งภายใต้สุญญากาศโดยนำน้ำสับปะรดระเหยแห้ง แสดงดังตารางที่ 1 จะเห็นได้การทำน้ำผลไม้เข้มข้นโดยวิธีการระเหยสามารถทำให้น้ำสับปะรดที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เริ่มต้น 13.5 องศาบริกส์ เป็นน้ำสับปะรดเข้มข้นที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เฉลี่ย 65.36 องศาบริกส์ โดยได้ปริมาณผลผลิตน้ำสับปะรดเข้มข้นโดยเฉลี่ยร้อยละ 19.79

ตารางที่ 1 น้ำหนัก ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของน้ำสับปะรดเริ่ม และ ปริมาณผลผลิตน้ำสับปะรดเข้มข้นโดยวิธีระเหยแห้งภายใต้สุญญากาศ

น.น. น้ำสับปะรดเริ่มต้น (กรัม)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้เริ่มต้น (องศาบริกส์)	น.น.น้ำสับปะรดเข้มข้น (กรัม)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้สุดท้าย (องศาบริกส์)	ปริมาณผลผลิต (ร้อยละ)
629	13.5	127	63.8	20.19
600	13.5	120	67.3	20.00
600	13.5	121	64.6	20.17
1003	14.0	195	64.2	19.44
596	14.0	114	66.9	19.13
	ค่าเฉลี่ย		65.36	19.79

1.2 การผลิตน้ำผลไม้เข้มข้นโดยวิธี freeze concentration

จากการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการปั่นน้ำสับปะรดให้เป็นเกล็ดน้ำแข็งโดยเครื่องทำไอศกรีมเป็นเวลา 10 15 20 25 และ 30 นาที ในการผลิตน้ำสับปะรดเข้มข้นโดยวิธี freeze concentration ผลการทดลองแสดงดังตาราง 2 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการปั่นให้เป็นเกล็ดน้ำแข็งน้ำสับปะรด จะทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของน้ำสับปะรดเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณผลผลิตลดลง โดยการปั่นที่ 30 นาทีจะมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้สูงสุดคือ 26.6 องศาบริกส์ และปริมาณผลผลิตข้ำสับปะรดเข้มข้นร้อยละ 26.65 และเมื่อทดลองศึกษาเปรียบเทียบการทำน้ำสับปะรดเข้มข้น โดยใช้เวลาปั่น 25 และ 30 นาที หลาย ๆ รอบ จนมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้สูงสุด ให้ผลการทดลองดังตาราง 3 พบว่าสามารถทำน้ำสับปะรดเข้มข้นโดยมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้สูงสุดที่ 47.0 และ 44.6 Brix โดยปั่นซ้ำ 4 และ 3 รอบ เวลาในการ 25 และ 30 นาที ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณผลผลิตของน้ำสับปะรดจากการทำน้ำสับปะรดเข้มข้นโดยวิธี freeze concentration ที่เวลาในการปั่นเป็นเกล็ดน้ำแข็งต่าง ๆ

เวลาปั่น (นาที)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (องศาบริกส์)	ปริมาณผลผลิต (ร้อยละ)
10	13.1 d	70.17 a
15	18.2 c	42.67 b
20	22.2 b	38.17 bc
25	23.0 b	32.33 cd
30	26.6 a	26.65 d

ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในแต่ละคอลัมน์ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ใช้ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 3 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ปริมาณผลผลิตและจำนวนรอบในการปั่นของน้ำสับปะรดเข้มข้นโดยวิธี freeze concentration ที่เวลาในการปั่นเป็นเกล็ดน้ำแข็ง 25 และ 30 นาที

	เวลาในการปั่นเกล็ดน้ำแข็ง	
	25 นาที	30 นาที
จำนวนรอบในการปั่น	4	3
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Brix)	47.0	44.6
ปริมาณผลผลิต (%)	10.00	9.00

1.3 การศึกษาคุณภาพของน้ำผลไม้เข้มข้น

การศึกษาคุณภาพของน้ำสับปะรดเทียบกับน้ำสับปะรดเข้มข้นโดยวิธีระเหยแห้งภายใต้สุญญากาศและ freeze concentration ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้(TSS) ค่าสี L* a* b* pH และปริมาณกรดทั้งหมด ให้ผลแสดงดังตาราง 4 จะเห็นได้ว่า น้ำสับปะรด มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 14 องศาบริกส์ มีค่า pH 3.84 และมีปริมาณกรดทั้งหมดร้อยละ 0.53 ส่วนน้ำสับปะรดเข้มข้นจะมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณกรดทั้งหมดสูงกว่าน้ำสับปะรด โดยน้ำสับปะรดเข้มโดยวิธีระเหยแห้งภายใต้สุญญากาศจะมีปริมาณของแข้งที่ละลายได้ 65.55 องศาบริกส์และปริมาณกรดทั้งหมดร้อยละ 3.38 ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าน้ำสับปะรดโดยวิธี freeze concentration ปริมาณน้ำตาล ซูโครส กลูโครส ฟรุกโตส และปริมาณฟรุกแตนทั้งหมดในตัวอย่างน้ำสับปะรดและน้ำสับปะรดเข้มข้นโดยวิธีระเหยแห้งภายใต้สุญญากาศและวิธี freeze concentration จะเห็นได้ว่าน้ำสับปะรดเข้มข้นโดยวิธีระเหยแห้งภายใต้สุญญากาศมีปริมาณน้ำตาลซูโครส กลูโคส ฟรุกโตส และฟรุกแตนทั้งหมดสูงกว่าน้ำสับปะรดเข้มข้นโดยวิธี freeze concentration และน้ำสับปะรด ตามลำดับ โดยมีปริมาณน้ำตาลซูโครสร้อยละ 35.64 ซึ่งมีสูงกว่าน้ำตาลฟรุกโตส กลูโคส และฟรุกแตน จากการศึกษาสารให้กลิ่นรสที่ระเหยได้ (Volatile compounds) ในน้ำสับปะรดและน้ำสับปะรดเข้มข้นวิธีระเหยแห้งภายใต้สุญญากาศและ

วิธี freeze concentration โดยใช้วิธี solid-phase microextraction(SPME) และ GC-Ms (ตารางที่ 4) พบว่าองค์ประกอบที่สามารถระเหยได้ง่ายในตัวอย่างน้ำสับปะรด ได้แก่ methyl 2-methylbutanoate, Methyl hexanoate, Methyl octanoate และ Methyl decanoate ส่วนสับปะรดเข้มข้นวิธีระเหยแห้งภายใต้สุญญากาศและวิธี freeze concentration ตรวจไม่พบสารองค์ประกอบที่สามารถระเหยได้ง่ายทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเกิดการสูญเสียของสารองค์ประกอบที่สามารถระเหยได้ระหว่างกระบวนผลิตน้ำผลไม้เข้มข้นทั้งโดยระเหยแห้งภายใต้สุญญากาศและวิธี freeze ถึงแม้ว่าจะตรวจไม่พบสารองค์ประกอบที่สามารถระเหยได้ง่ายแต่น้ำสับปะรดเข้มจากทั้ง 2 วิธีการยังคงมีกลิ่นรสสับปะรดของอยู่ซึ่งนอกจากสารองค์ประกอบที่สามารถระเหยได้แล้ว กลิ่นรสของสับปะรดยังมาจากน้ำตาล และกรดอินทรีย์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่ไม่สามารถระเหยได้ (non-volatile compound) Cámara, et al., 1994 ได้รายงานว่าในน้ำสับปะรดเข้มข้นมีกรดอินทรีย์ได้แก่ กรดซิตริกและกรดมาลิกเป็นองค์ประกอบหลัก และยังมีกรดออกซาลิก ควินิก และซักซินิกในปริมาณเล็กน้อยอีกด้วย โดยปริมาณกรกทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้ในตัวอย่างน้ำสับปะรดเข้มข้นนั้นจะมีปริมาณกรดอินทรีย์ต่าง ๆ เป็นองค์ประกอบ

ตารางที่ 4 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้(TSS) ค่าสี pH ปริมาณกรดทั้งหมด ของน้ำสับปะรดและน้ำสับปะรดเข้มข้นโดยวิธีระเหยแห้งภายใต้สุญญากาศและวิธี freeze concentration

คุณสมบัติ	น้ำสับปะรด	น้ำสับปะรดเข้มข้นโดยวิธีระเหยแห้งภายใต้สุญญากาศ	น้ำสับปะรดเข้มข้นโดยวิธี freeze concentration
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (องศาบริกส์)	14.0	65.55	44.73
L*	28.77	31.33	32.39
a*	2.36	1.36	0.68
b*	-4.03	0.62	-1.41
pH	3.84	3.63	3.59
Total acid as citric acid (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)	0.53	3.38	2.55
ซูโครส (ร้อยละ)	8.48	35.64	24.26
กลูโคส (ร้อยละ)	1.98	9.02	6.48
ฟรุกโตส (ร้อยละ)	2.12	9.45	5.89
ฟรุกแตน (ร้อยละ)	0.36	1.23	0.98
Volatile compounds	methyl 2-methylbutanoate Methyl hexanoate Methyl octanoate	Not detected	Not detected

Methyl decanoate	

2. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้เอนไซม์ผลิต FOS ในน้ำผลไม้เข้มข้น

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้เอนไซม์เพื่อผลิต FOS ในน้ำผลไม้เข้มข้น โดยใช้น้ำสับปะรดเข้มข้นโดยเตรียมน้ำสับปะรดเข้มข้นโดยวิธีระเหยแห้งภายใต้สุญญากาศ จนมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 70 องศาบริกส์ มีปริมาณน้ำตาลซูโครสโดยเฉลี่ยร้อยละ 39.84 เนื่องจากความเข้มข้นของซูโครสเริ่มต้นที่เหมาะสมในการใช้เอนไซม์ pectinex ultra SP-L ในการผลิต FOS จากน้ำตาลซูโครสคือร้อยละ 40 (วิมลวรรณ และคณะ, 2558) ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 5 พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาที่ใช้ในการบ่ม จะได้ปริมาณฟรุกแตนทั้งหมดเพิ่มขึ้น โดยที่ pectinex ultra SP-L 4 U/g sucrose ใช้เวลาบ่ม 15 ชั่วโมง จะได้ปริมาณฟรุกแตนเฉลี่ยสูงสุด คือร้อยละ 31.61 ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการใช้เอนไซม์เพื่อผลิต FOS ในน้ำผลไม้เข้มข้นคือใช้ pectinex ultra SP-L 4 U/g sucrose ใช้เวลาบ่ม 15 ชั่วโมง

ตารางที่ 5 ปริมาณฟรุกแตนทั้งหมดต่อปริมาณซูโครสเริ่มต้นในน้ำสับปะรดเข้มข้นโดยวิธีระเหยแห้งภายใต้สุญญากาศและวิธี freeze concentration ที่ระดับ Pectinex Ultra SP-L 4 และเวลาในการบ่มต่าง ๆ

pectinex ultra SP-L (U/g sucrose)	เวลาบ่ม (ชั่วโมง)	ปริมาณฟรุกแตนทั้งหมด (ร้อยละ)
2.5	6	24.57 d
	9	25.63 d
	12	28.55 bc
	15	30.15 ab
3	6	23.90 d
	9	28.95 ab

pectinex ultra SP-L (U/g sucrose)	เวลาบ่ม (ชั่วโมง)	ปริมาณฟรุกแตนทั้งหมด (ร้อยละ)
	12	29.48 ab
	15	30.94 ab
3.5	6	25.36 d
	9	31.08 ab
	12	30.28 ab
	15	31.34 ab
4	6	26.03 cd
	9	30.41 ab
	12	30.01 ab
	15	31.61 a

ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในแต่ละคอลัมน์ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ใช้ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

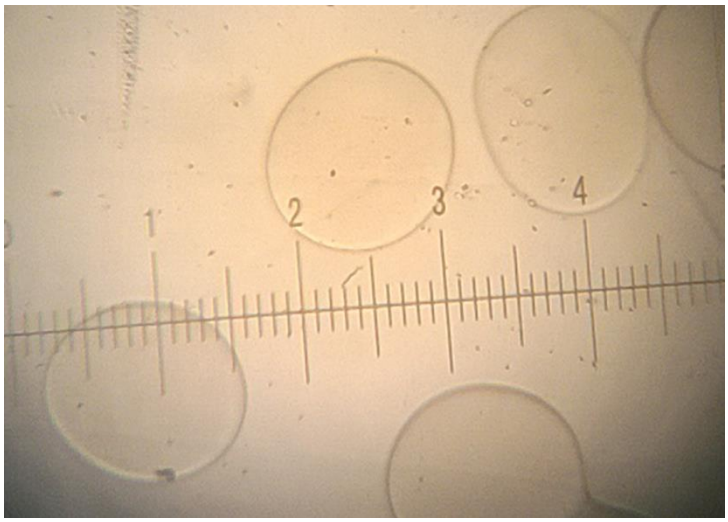
3. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเอนแคปซูเลทน้ำผลไม้เข้มข้นพรีไบโอติกสูง

ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเอนแคปซูลเลทน้ำสับปะรดเข้มข้นพรีไบโอติกส์ แสดงดังตารางที่ 6 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสารเคลือบ จะทำให้ปริมาณฟรุกแตนที่ถูกเอนแคปซูเลทมีปริมาณมากขึ้น ลักษณะรูปร่างของเอนแคปซูลเลทที่ระดับความหนืดและความเร็วในการหยดไม่เหมาะสมกับขนาดหัวฉีดจะทำให้เอนแคปซูเลทที่ได้มีลักษณะเป็นทรงลูกแพร ซึ่งจะทำให้เม็ดเอนแคปซูเลทนั้นแตกหักได้ง่ายบริเวณยอดแหลม โดยที่ปริมาณสารเคลือบร้อยละ ขนาดหัวฉีด 0.30 และ 0.45 mm สามารถเอนแคปซูลน้ำสับปะรดเข้มข้นพรีไบโอติกส์สูงได้ในปริมาณที่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่ที่ขนาดหัวฉีด 0.45 mm จะได้เอนแคปซูเลทที่มีรูปร่างเป็นทรงกลม และมีปริมาณฟรุกแตนที่ถูกเอนแคปสูงกว่า ดังนั้นปริมาณสารเคลือบที่เหมาะสมคือ ร้อยละ 2.0 และขนาดหัวฉีด 0.45 mm ซึ่งทำให้เอนแคปซูเลทน้ำสับปะรดเข้มข้นมีปริมาณฟรุกแตนทั้งหมดที่ถูกเอนแคปซูเลทสูงสุดคือ ร้อยละ 30.66 และให้ลักษณะรูปร่างของเอนแคปซูเลทน้ำสับปะรดเข้มข้นพรีไบโอติกส์สูงมีลักษณะเป็นทรงกลม ดังแสดงในภาพที่ 2

ตารางที่ 6 ข้อมูลรูปร่าง ปริมาณฟรุกแตนทั้งหมดที่ถูกเอนแคปซูเลท ของเอนแคปซูเลทน้ำสับปะรดเข้มข้นพรีไบโอติกส์สูง

ปริมาณสารเคลือบ (ร้อยละ)	ขนาดหัวฉีด (mm)	ลักษณะรูปร่าง	ปริมาณฟรุกแตนทั้งหมดที่ถูกเอนแคปซูเลท (ร้อยละ)
0.5	0.15	ทรงกลม	22.10 g
	0.30	ทรงกลม	23.02 f
	0.45	ทรงกลม	22.96 f
1.0	0.15	ทรงกลม	26.43 e
	0.30	ทรงกลม	27.16 d
	0.45	ทรงกลม	27.29 d
1.5	0.15	ทรงลูกแพร	28.63 c
	0.30	ทรงกลม	28.65 c
	0.45	ทรงกลม	28.44 c
2.0	0.15	ทรงลูกแพร	30.06 b
	0.30	ทรงลูกแพร	30.45 a
	0.45	ทรงกลม	30.66 a

ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในแต่ละคอลัมน์ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ใช้ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



ภาพที่ 2 ลักษณะของเอนแคปซูเลทน้ำสับปะรดเข้มข้นพรีไบโอติกสูงส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 40X

4. การศึกษาประสิทธิภาพของการเอนแคปซูเลทน้ำผลไม้เข้มข้นพรีไบโอติกสูง

4.1 การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อเอนแคปซูเลทน้ำผลไม้เข้มข้นพรีไบโอติกสูง

ผลการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อเอนแคปซูเลทน้ำผลไม้เข้มข้นพรีไบโอติกสูง โดยนำ เอนแคปซูเลทสับปะรดเข้มข้นพรีไบโอติกสูง ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 85 และ 90°C เป็นเวลา 3 5 7 9 11 13 และ 15 นาที ให้ผลแสดงดังตารางที่ 7 จะเห็นได้ว่าการเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการต้มมีมีผลต่อการเปลี่ยนแปลง

ปริมาณฟรุกแตนทั้งหมดในตัวอย่าง ทำให้ปริมาณฟรุกแตนทั้งหมดในเอนแคปซูเลทน้ำสับปะรดเข้มข้นพรีไบโอติกสูง มีปริมาณใกล้เคียงกันทุกอุณหภูมิและเวลาในการต้ม

ตารางที่ 7 ปริมาณฟรุกแตนทั้งหมดของเอนแคปซูเลทน้ำสับปะรดเข้มข้นพรีไบโอติกสูงที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลาในการต้ม (นาที)	ปริมาณฟรุกแตนทั้งหมด (ร้อยละ) [ns]
80	3	30.57
	5	30.47
	7	30.32
	9	30.68
	11	30.41
	15	30.55
90	3	30.32
	5	30.25
	7	30.34
	9	30.54
	11	30.64

	15	30.70
95	3	30.54
	5	30.22
	7	30.18
	9	30.57
	11	30.47
	15	30.32

4.2 การศึกษาผลของอายุการเก็บรักษาของเอนแคปซูเลทน้ำผลไม้เข้มข้นเข้มข้นพรีไบโอติกสูง

การศึกษาผลของอายุการเก็บรักษาเอนแคปซูเลทน้ำสับปะรดเข้มข้นพรีไบโอติกส์สูงที่เก็บรักษาไว้ในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ที่อุณหภูมิห้องต่อค่าสี แสดงดังตารางที่ 8 จะเห็นได้ว่าค่าสีของเอนแคปซูเลทน้ำสับปะรดเข้มข้นพรีไบโอติกส์สูงที่เก็บรักษา เป็นเวลา 0 - 12 เดือน มีการเปลี่ยนแปลงของสีต่ำ โดยมีค่าสีเฉลี่ยดังนี้ ความสว่าง (L*) 68.52 ค่าความเป็นสีแดง (a*) 0.82 และความเป็นสีเหลือง (b*) 0.60 ผลของอายุการเก็บรักษาเอนแคปซูเลทน้ำสับปะรดเข้มข้นพรีไบโอติกส์สูงที่เก็บรักษาไว้ในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ที่อุณหภูมิห้องต่อปริมาณฟรุกแตนทั้งหมด แสดงดังตารางที่ 11 จะเห็นได้ว่าปริมาณฟรุกแตนทั้งหมดในเอนแคปซูเลทน้ำสับปะรดเข้มข้นพรีไบโอติกส์สูงที่เก็บรักษา เป็นเวลา 0 - 12 เดือน มีปริมาณใกล้เคียงกันโดยมีปริมาณฟรุกแตนทั้งหมดเฉลี่ยร้อยละ 64.53

ตารางที่ 8 คุณสมบัติต่าง ๆ ของเอนแคปซูเลทน้ำสับปะรดเข้มข้นพรีไบโอติกส์สูงที่อายุการเก็บรักษาต่าง ๆ

คุณสมบัติ	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	4 เดือน	5 เดือน	6 เดือน	7 เดือน	8 เดือน	9 เดือน	10 เดือน	11 เดือน	12 เดือน
ค่าสี L*	67.64	68.12	67.98	68.46	69.12	68.98	69.07	67.84	69.52	70.45	68.15	66.54
a*	0.80	0.84	0.82	0.85	0.88	0.79	0.84	0.82	0.86	0.74	0.85	0.78
b*	0.69	0.62	0.60	0.64	0.56	0.63	0.58	0.50	0.58	0.62	0.64	0.60
ฟรุกแตน (ร้อยละ)	64.77	65.42	66.14	63.85	64.23	63.65	64.42	62.84	64.58	64.74	63.54	64.68
ลักษณะปรากฏ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ
สี	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ

กลิ่น	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ

9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

กรรมวิธีการผลิตน้ำผลไม้เข้มข้นที่เหมาะสมคือการระเหยแห้งภายใต้สุญญากาศ เนื่องจากสามารถทำให้น้ำสับปะรดมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้สูงกว่าวิธี freeze concentration โดยที่คุณสมบัติของน้ำผลไม้ที่ได้ใกล้เคียงกัน ซึ่งน้ำผลไม้ที่มีปริมาณน้ำตาลซูโครสเริ่มต้นสูงจะสามารถเปลี่ยนเป็น FOS ได้ดีกว่า

การเตรียมน้ำผลไม้เข้มข้นพรีไบโอติกสูงโดยนำน้ำสับปะรดเข้มข้นโดยวิธีระเหยแห้งภายใต้สุญญากาศจนมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 70 องศาบริกส์ โดยสภาวะที่เหมาะสมในการใช้เอนไซม์เพื่อผลิต FOS หมักด้วย pectinex ultra SP-L 4 U/g sucrose และ เอนไซม์ glucose oxidase 1022 U/g sucrose ใช้สารละลายบัฟเฟอร์ Sodium acetate 0.5 M pH 5.6 ปริมาตร 40 µL ต่อตัวอย่างน้ำผลไม้เข้มข้น 1 mL บ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 15 ชั่วโมง แล้วต้มเพื่อฆ่าเชื้อและยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ จะได้น้ำสับปะรดเข้มข้นพรีไบโอติกส์สูงมีปริมาณฟรุกแตนทั้งหมดเฉลี่ยร้อยละ 31.61

การเอนแคปซูเลทน้ำสับปะรดเข้มข้นพรีไบโอติกส์สูง โดยใช้อัลจิเนตสารเคลือบ พบว่า ปริมาณสารเคลือบที่เหมาะสม คือ ร้อยละ 2.0 และขนาดหัวฉีด 0.45 mm ซึ่งทำให้เอนแคปซูเลทน้ำสับปะรดเข้มข้นมีปริมาณฟรุกแตนทั้งหมดที่ถูกเอนแคปซูเลทสูงสุด และได้เอนแคปซูเลทน้ำผลไม้เข้มข้นเป็นเม็ดทรงกลม

การให้ความร้อนกับเอนแคปซูเลทที่ผลิตได้ที่อุณหภูมิ 80 85 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 -15 นาที พบว่าปริมาณฟรุกแตนทั้งหมดในเอนแคปซูเลทน้ำสับปะรดเข้มข้นพรีไบโอติกสูง มีปริมาณใกล้เคียงกันทุกอุณหภูมิและเวลาในการต้ม เอนแคปซูเลทน้ำสับปะรดเข้มข้นพรีไบโอติกส์สูงที่เก็บรักษา เป็นเวลา 12 เดือน มีปริมาณฟรุกแตนทั้งหมดเฉลี่ยร้อยละ 64.53 โดยยังคงคุณสมบัติต่าง ๆ เอนแคปซูเลทน้ำสับปะรดเข้มข้นพรีไบโอติกส์สูงได้

10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

ผลจากการทดลองนี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานในการในการศึกษาการผลิตน้ำผลไม้เข้มข้น การเอนเคปซูเลทน้ำผลไม้เข้มข้น สามารถเป็นข้อมูลให้กับนักวิจัยเพื่อพัฒนาต่อไป เทคโนโลยีการผลิน้ำผลไม้เข้มข้นที่มีคุณประโยชน์สูง สามารถใช้สำหรับถ่ายทอดให้แก่ภาคเอกชน หรือผู้สนใจ เพื่อต่อยอดการวิจัยและนำไปสู่การผลิตเชิงพาณิชย์ และเผยแพร่ในวารสารวิชาการทั้งภายในและต่างประเทศ

11. คำขอบคุณ (ถ้ามี)

12. เอกสารอ้างอิง

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์. 2557. Concentrated fruit juice/น้ำผลไม้เข้มข้น. [ระบบออนไลน]. แหล่งที่มา http://www.foodnetworksolution.com/wiki. (23 มีนาคม 2557)

วิมลวรรณ วัฒนวิจิตร อกนิษฐ์ พิศาลวัชรินทร์ และประยูร เอ็นมาก. 2558. การศึกษาเทคโนโลยีการผลิต ฟรุกโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ในน้ำผลไม้โดยเอนไซม์ฟรุกโตซิลทรานส์เฟอเรส, รายงานผลงานวิจัยเรื่องเต็มประจำปี 2558 กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร, กรมวิชาการเกษตร, 594-607.

Abrams, S. A., Griffin, I. J., Hawthorne, K. M., Liang, L., Gunn, S. K., Darlington, G., et al. 2005. A combination of prebiotic short- and long-chain inulin-type fructans enhances calcium absorption and bone mineralization in young adolescents. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 82(2), 471-476.

Cámara, M. M., Díez, C., Torija, M. E. and Cano, M. P. 1994. HPLC determination of organic acids in pineapple juices and nectars. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und – Forschung,* 198(1), 52-56.

Couto D., Cabral, L., Matta, V., Deliza, R. and Freitas, D. 2011. Concentration of pineapple juice by reverse osmosis: physicochemical characteristics and consumer acceptance. *Food Science and Technology (Campinas),* 31(4), 905-910.

Grizard, D., & Barthomeuf, C. 1999. Enzymetric Synthesis and Structure Determination of NEO-FOS. *Food Biotechnol*, 13(1), 93-105.

Kleessen, B., & Blaut, M. 2005. Modulation of gut mucosal biofilms. *The British Journal of Nutrition*, 93, S35-S40.

Lasekan, O., Hussein, F. K. 2018. Classification of different pineapple varieties grown in Malaysia based on volatile fingerprinting and sensory analysis. *Chemistry Central Journal*, 12(1), 1-12.

L'Hocine, L., Wang, Z., Jiang, B., & Xu, S. (2000). Purification and Partial Characterization of Fructosyltransferase and Invertase From Aspergilus niger AA0 0 2 3 . *Journal of Biotechnology*, 81(1), 73-84.

Muir, J. G., Shepherd, S. J., Rosella, O., Rose, R., Barrett, J. S., & Gibson, P. R. (2007). Fructan and Free Fructose Content of Common Australian Vegetables and Fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 6619-6627.

Nyman, M. (2002). Fermentation and bulking capacity of ingestible carbohydrates: the case of inulin and oligofructose. *The British Journal of Nutrition*, 87, S163-S168.

Roberfroid, M. B., Van Loo, J. A. B., & Gibson, G. R. (1998). The bifidonenic nature of chicory inulin and its hydrolysis products. *The Journal of Nutrition*, 128(1), 11-19.

Sirisansaneeyakul, S., Lertsiri, S., Tonsagunrathanachai, P., & Luangpituksa, P. (2000). Enzymatic Production of Fructo-Oligosaccharides from Sucrose. *Kasetsart Journal (Natural Science)*, 34, 262 - 269.

S. Surin, P. S., P. Thakeow and Y. Phimolsiripol (2012). Optimization of Enzymatic Production of Fructooligosaccharides from Longan Syrup. *Journal of Applied Sciences*, 12(11), 1118-1123.

Van Loo, J. A. B., Clune, Y., & Collins, J. K. (2005). The SYCAN projects: Goals, setups, first results and settings of the human intervention study. *The British Journal of Nutrition*, 93, S91-S98.

Yun, J. W. (1996). Fructooligosaccharide-Occurrence, Preparation, and Application. *Enzyme and Microbial Technology*, 19, 107-117.