สมบัติการเกิดเจลของสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียว และการใช้ในผลิตภัณฑ์แยมสตรอว์เบอร์รี

Gelation Properties of Okra's Extract and Its Application in Strawberry Jam

สุภินันต์ คำดี, วรรณวิมล พรประสพ และวรางคณา สมพงษ์ *

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

Supinan Kamdee, Vanvimon Pornprasop and Warangkana Sompongse*

Department of Food Science and Technology, Faculty of Science and Technology, Thammasat University, Rangsit Center

Received: February 17, 2022 ; Accepted: April 21, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้สารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียว (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) เป็นสารให้ความข้นหนืดและช่วยลดปริมาณน้ำตาลซูโครสในผลิตภัณฑ์แยมสตรอว์เบอร์รี เริ่มจากการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัดสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียว โดยแปรอุณหภูมิในการสกัด 4 ระดับ ได้แก่ 50, 60, 70 และ 80°C การวิเคราะห์ทางกายภาพโดยวัดปริมาณผลผลิต (%Yield) ระยะทางการไหล และค่าสี (L* a* b*) พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้ในการสกัด คือ อุณหภูมิ 60°C นำสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวที่ได้ไปศึกษาสมบัติในการเกิดเจล โดยแปรปริมาณน้ำตาลซูโครส 3 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 50, 60 และ 70 โดยน้ำหนักของน้ำตาลต่อสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียว และแปรปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ 3 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 2, 2.5 และ 3 โดยน้ำหนักทั้งหมด การวิเคราะห์ทางกายภาพโดยวัดระยะทางการไหล และค่าสี (L* a* b*) พบว่าที่อัตราส่วนของน้ำตาล และแคลเซียมคลอไรด์ เท่ากับ 50:2 มีระยะทางในการไหลน้อยที่สุด (หรือมีความหนืดมากที่สุด) จึงนำไปศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวในการทดแทนน้ำตาลซูโครสในผลิตภัณฑ์แยมสตรอว์เบอร์รี โดยแปรปริมาณน้ำตาลซูโครส 3 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 40, 60 และ 80 โดยน้ำหนักน้ำตาลทั้งหมด แปรปริมาณสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียว 3 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 20, 40 และ 60 โดยน้ำหนักน้ำตาลทั้งหมด และแปรปริมาณเพคติน 2 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0.5 และ 1.0 โดยน้ำหนักทั้งหมด พบว่าที่อัตราส่วนน้ำตาล:สารสกัดกระเจี๊ยบเขียว:เพคติน เท่ากับ 40:60:0.5 ทำให้แยมมีความสามารถในการแผ่มากที่สุด และมีระยะทางในการไหลมากที่สุด (หรือความหนืดน้อยที่สุด) จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าได้รับคะแนนด้านลักษณะปรากฏ และความสามารถในการแผ่มากกว่าตัวอย่างควบคุมที่ไม่มีการทดแทนน้ำตาลด้วยสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียว จึงนำไปศึกษาองค์ประกอบทางเคมี

**Corresponding author:* warang@tu.ac.th

พบว่ามีปริมาณความชื้นร้อยละ 60.75±0.95 ไขมัน 0.45±0.02 เส้นใย 0.48±0.01 โปรตีน 0.59±0.01 เถ้า 4.26±0.19 และคาร์โบไฮเดรต 33.47±0.76 โดยน้ำหนักสด และมีพลังงานลดลงร้อยละ 31.49 จากตัวอย่างควบคุม

คำสำคัญ: สารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียว; ผลิตภัณฑ์แยม; น้ำตาล; แคลเซียม; เพคติน; สมบัติการเกิดเจล

Abstract

The objective of this research was to study the application of okra's extract (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) as a thickening agent and to reduce sucrose content in strawberry jam. Optimum temperature for extraction of okra was investigated in 4 levels: 50, 60, 70 and 80°C. Physical analysis was determined by % yield, flowing distance and color values (Hunter L* a* b*). It was found that the optimum temperature for extraction was 60°C. Then, gelation properties of okra's extract was investigated in 3 concentration levels of sucrose: 50, 60 and 70% (by weight of sugar per weight of okra's extract) and 3 concentration levels of calcium chloride: 2, 2.5 and 3% (by total weight). Physical analysis was determined by flowing distance and color values (Hunter L* a* b*). It was found that ratio of sugar to calcium chloride at 50:2 had the least flowing distance (or the highest viscosity). Therefore, this ratio was used to study an appropriate ratio of okra's extract to reduce sucrose content in strawberry jam. The sucrose content was varied in 3 levels: 40, 60 and 80% (by total sugar weight), okra's extract was varied in 3 levels: 20, 40 and 60% (by total sugar weight) and pectin content was varied in 2 levels: 0.5 and 1% (by total weight). It was indicated that ratio of sucrose to okra's extract to pectin at 40:60:0.5 had the most spreadability and the highest flowing distance (or the least viscosity). Sensory evaluation were higher score in appearance and spreadability than that of the control sample, which was not replaced sucrose with okra's extract. Therefore, this formula was selected to study chemical composition. The proximate analysis were 60.75±0.95% moisture, 0.45 ± 0.02% fat, 0.48 ± 0.01% fiber, 0.59 ± 0.01% protein, 4.26 ± 0.19% ash and 33.47 ± 0.76% carbohydrate by wet basis. The strawberry yam with ratio of sucrose to okra's extract to pectin at 40:60:0.5 had the energy from calculation 31.49 % lower than that of the control sample.

Keywords: Okra's extract; Yam product; Sugar; Calcium; Pectin; Gelation properties

1. บทนำ

ผลิตภัณฑ์แยม รวมทั้งเยลลี่และมาร์มาเลด ประกอบด้วยน้ำตาลเป็นส่วนประกอบหลัก ในปริมาณมากถึงร้อยละ 75 ของน้ำหนัก (Anonymous, 2010) ทำให้ผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ มีพลังงานสูงถึง 270 แคลอรีต่อ 100 กรัม จึงทำให้ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคลดลง เพราะมีความเสี่ยงในการเกิดปัญหาด้านสุขภาพจากการรับประทานอาหารที่มีปริมาณซูโครสเป็นส่วนประกอบในปริมาณมาก ทำให้เกิดโรคเบาหวาน

และโรคอ้วน แต่อย่างไรก็ตาม การลดปริมาณน้ำตาลซูโครสในผลิตภัณฑ์แยม จะมีผลต่อกลไกการเกิดเจลของแยม (Chaowitayangku & Poosaran, 1999) โดยน้ำตาลมีผลต่อความแข็งแรงของโครงสร้างเจล นอกจากน้ำตาลแล้วยังมีองค์ประกอบที่สำคัญในการเกิดเจลของแยม ได้แก่ เพคติน และกรด โดยที่เพคตินทำให้เกิดโครงสร้างและความต่อเนื่องของโครงสร้างเจล เพคตินแบ่งเป็น 2 ประเภทตามระดับปริมาณเอสเทอร์ (% Degree of Esterification: %DE) ซึ่งแสดงถึงร้อยละของหมู่คาร์บอกซิลที่เกิดเอสเทอร์คิดเทียบจากปริมาณทั้งหมด ได้แก่ High - Methoxyl Pectin (HMP) มี %DE ร้อยละ 50-80 เกิดเจลโดยมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอย่างน้อยร้อยละ 55 และ Low - Methoxyl Pectin (LMP) มี %DE ร้อยละ 25-50 เกิดเจลโดยมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดน้อยกว่าร้อยละ 50 (Sinha, Sidhu, Barta, Wu & Cano, 2012) ดังนั้นจึงมีการนำ LMP มาใช้แทน High HMP เพื่อเป็นการลดปริมาณน้ำตาลซูโครสในผลิตภัณฑ์ เพราะ LMP สามารถเกิดเจลได้โดยมีปริมาณแคลเซียมไอออน (Sirikaew, 2011) และอาจใช้น้ำตาลในปริมาณน้อยมากหรือไม่ใช้น้ำตาลในการเกิดเจล (Axelos & Thibualt, 1991)

กระเจี๊ยบเขียว หรือ กระเจี๊ยบมอญ (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) เมื่อนำมาปรุงอาหารหรือสัมผัสกับน้ำจะมีเมือกขับออกมาจากฝัก เมือกดังกล่าวเป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรตโมเลกุลใหญ่หรือพอลิแซ็กคาไรด์จับกับส่วนของโปรตีนและแร่ธาตุ (Woolfe, Chaplin, & Otchere,1977) การศึกษาองค์ประกอบ โครงสร้างและสมบัติของพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียว พบว่ามีโครงสร้างหลักเป็น rhamnogalacturonan คล้ายโครงสร้างของเพคติน มีสมบัติเป็นสารให้ความหนืด และมีความหนืดอยู่ในช่วงค่า pH สูงที่สุดโดยอยู่ในช่วง pH 4-6 จะลดลงเมื่อมีการเพิ่มกลูโคสและ/หรือซูโครส (ร้อยละ 5-40) และการเพิ่มอุณหภูมิทำให้มีความหนืดลดลง (Bhat & Tharathan, 1987; Ndjouenkeu, Goycoolea, Morrisa & Akingbala, 1996; Woolfe, Chaplin, & Otchere, 1977) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า สารสกัดจากเมือกกระเจี๊ยบเขียวมีปริมาณกัมและเพคตินสูง (Butsadee, Praputmatha & Petchpankun, 2006) ซึ่งเพคตินในกระเจี๊ยบเขียวเป็นชนิด LMP (Sengkhamparn, Verhoef, Schols, Sajjaanantakul, & Voragen, 2009) ดังนั้นจึงสามารถเกิดเจลได้โดยมีปริมาณแคลเซียมไอออน นอกจากนี้ LPM ยังเป็นใยอาหารที่ไม่ถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์หรือน้ำย่อยในลำไส้เล็ก จึงช่วยเพิ่มกากใยในลำไส้ใหญ่ (Berth, Voragen, & Pilnik, 1982) รวมถึงช่วยลดระดับคอเลสเตอรอล (Bays, 2005) และยังมีคุณค่าทางโภชนาการสูง

จากสมบัติที่กล่าวมา กระเจี๊ยบเขียวจึงเป็นวัตถุดิบทางเลือกอีกชนิดหนึ่งที่น่าสนใจในการนำมาใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดและลดปริมาณน้ำตาลในผลิตภัณฑ์แยม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัดและศึกษาสมบัติในการเกิดเจลของสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียว เพื่อให้ได้สารสกัดที่มีคุณลักษณะและสมบัติที่ดีในการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์แยมสตรอว์เบอร์รี เพื่อใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดและช่วยลดปริมาณน้ำตาลซูโครสจากตัวอย่างควบคุม รวมถึงศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม

2. วิธีการ

2.1 วัตถุดิบ

2.1.1 กระเจี๊ยบเขียว ความยาวของฝัก 10-15 เซนติเมตร ซื้อจากตลาดไท จังหวัดปทุมธานี

2.2.2 สตรอว์เบอร์รีสด ซื้อจากตลาดไท จังหวัดปทุมธานี

2.2 ศึกษาระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัดสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียว

นำกระเจี๊ยบเขียวมาคัดขนาด ล้างน้ำ ตัดหัว ตัดท้าย และหั่นเป็นท่อน ยาวท่อนละประมาณ 1.5 - 2 เซนติเมตร จากนั้นนำไปแปรอุณหภูมิในการต้ม 4 ระดับ ได้แก่ 50, 60, 70 และ 80°C นาน 30 นาที โดยใช้อัตราส่วนกระเจี๊ยบเขียว 1 ส่วน ต่อน้ำ 4 ส่วน (น้ำหนัก/ปริมาตร) นำมาทำให้เย็นในอ่างน้ำเย็น 5 นาที ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที จากนั้นแยกเมือกด้วยผ้าขาวบาง คัดเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมจากการวิเคราะห์ทางกายภาพโดยวัดปริมาณผลผลิต (%Yield) ระยะทางการไหล โดยใช้เครื่องวัดระยะทางการไหล (Bostwick Consistometer, V.M.R., USA.) และค่าสี (L* a* b*) โดยใช้เครื่อง Colorimeter (Hunterlab,ColorFlex CX2687, USA.) (Butsadee, Praputmatha & Petchpankun, 2006)

2.3 ศึกษาสมบัติในการเกิดเจลของสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียว

นำสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียว ที่ได้รับการคัดเลือกจากข้อ 2.2 (ส่วนเมือกกระเจี๊ยบเขียวที่แยกออกมา) มาผสมกับน้ำตาลซูโครสที่แปรความเข้มข้น 3 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 50, 60 และ 70 โดยน้ำหนักน้ำตาลต่อสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียว นำไปต้มจนมีอุณหภูมิ 85°C เติมกรดซิตริกเพื่อปรับค่า pH ให้เท่ากับ 3.0 สุดท้ายเติมแคลเซียมคลอไรด์ที่แปรความเข้มข้น 3 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 2, 2.5 และ 3 โดยน้ำหนักทั้งหมด คัดเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมจากการวิเคราะห์ทางกายภาพโดยวัดระยะทางการไหล และค่าสี (L* a* b*) (Chaowitayangku & Poosaran, 1999)

2.4 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวในการทดแทนน้ำตาลซูโครสในผลิตภัณฑ์แยมสตรอว์เบอร์รี

นำสตรอว์เบอร์รีสด มาคัดขนาด ล้างน้ำ และหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ ก่อนนำไปปั่นหยาบ หลังจากนั้นนำสตรอว์เบอร์รีมาต้มในกระทะทองเหลืองจนเดือด (อุณหภูมิมากกว่า 85°C) นาน 5 นาที และค่อยๆ เติมน้ำตาล และเพคตินที่นำมาผสมกับน้ำตาลคนจนเข้ากันดี จากนั้นเติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวที่ได้รับการคัดเลือกจากข้อ 2.2 ลงในส่วนผสม และคนจนเข้ากัน เมื่อส่วนผสมในกระทะเริ่มเดือด จับเวลาต่ออีก 5 นาที ก่อนนำไปปรับ pH ด้วยการเติมกรดซิตริกให้มีค่าเท่ากับ 3.0 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวในการทดแทนน้ำตาลซูโครสในผลิตภัณฑ์แยมสตรอว์เบอร์รี โดยแปรปริมาณน้ำตาลซูโครส 3 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 40, 60 และ 80 โดยน้ำหนักน้ำตาลทั้งหมด แปรปริมาณสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียว 3 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 20, 40 และ 60 โดยน้ำหนักน้ำตาลทั้งหมด และแปรปริมาณเพคติน 2 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0.5 และ 1 โดยน้ำหนักทั้งหมด โดยมีตัวอย่างควบคุม คือ สูตรที่ไม่มีการทดแทนน้ำตาลด้วยสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียว และเติมเพคตินร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักทั้งหมด คัดเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมจากการวิเคราะห์ทางกายภาพ ได้แก่ ความสามารถในการแผ่ (Spreadability) โดยใช้เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Stable Micro System, TA-XT2, UK.) พร้อมหัววัด 45°C Conical Probe Perspex (P/45C) (Punnarunothai, 1999) ระยะทางการไหล ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) โดยใช้เครื่องวัด a_w (AquaLab, CX 2, USA.) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (%Total Soluble Solid) โดยใช้ Hand refractometer (ATAGO, Japan)และค่า pH (Chaowitayangku & Poosaran, 1999) และ

ประเมินการยอมรับของผู้บริโภคโดยการทดสอบทางประสาทสัมผัสทางด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รส รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส ความสามารถในการแผ่ และความชอบโดยรวม ด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale กำหนดให้คะแนน 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด และคะแนน 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด การทดสอบทำที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้ผู้ทดสอบทั่วไป 30 คน

2.5 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี ของผลิตภัณฑ์แยมสตรอว์เบอร์รี

นำผลิตภัณฑ์แยมสตรอว์เบอร์รีสูตรควบคุมและแยมสตรอว์เบอร์รีสูตรที่ได้รับการคัดเลือกจากข้อ 2.4 มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณเส้นใย ปริมาณเถ้า และปริมาณคาร์โบไฮเดรตจากการคำนวณ (AOAC, 1995) และคำนวณปริมาณพลังงาน โดยใช้ปริมาณพลังงานจากคาร์โบไฮเดรตและโปรตีน เท่ากับ 4 แคลอรี/กรัม และไขมันเท่ากับ 9 แคลอรี/กรัม

2.6 การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองที่ 2.2, 2.3 และ 2.5 แบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Block Designs: CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ส่วนการทดลองที่ 2.4 การทดสอบทางกายภาพ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) และการทดสอบทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Designs: RCRD) ทำการทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้วิธี Analysis of Variance (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแตกต่างด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป

Table 1 %Yield, color value (L* a* b*) and flowing distance of Okra's extract at difference extraction temperature

Physical parameters	Extraction temperature (°C)			
	50	60	70	80
%Yield^{ns}	65.21 ± 13.44	67.86 ± 13.19	68.41 ± 14.28	72.38 ± 7.41
Lightness (L*)	17.00^{c} ± 2.83	19.77^{bc} ± 3.2	23.18^{ab} ± 1.45	27.37^{a} ± 2.21
Redness (a*)	-4.42^{c} ± 0.3	-4.03^{bc} ± 0.58	-3.56^{b} ± 0.27	-2.66^{a} ± 0.05
Yellowness (b*)	0.16^{c} ± 0.99	1.53^{bc} ± 2.05	4.02^{ab} ± 0.86	5.21^{a} ± 1.22
Flowing distance^{ns} (cm)	13.97 ± 1.50	14.50 ± 1.39	15.03 ± 0.94	15.03 ± 0.45

Mean ± SD (n = 3); ns = non-significant difference ($p > 0.05$); $^{a, b, c}$ Different superscripts in the same line indicate significant differences ($p \leq 0.05$)

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

3.1 ระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัดสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียว

จาก Table 1 พบว่าสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียว ที่ใช้อุณหภูมิในการสกัด 50, 60, 70 และ 80°C มีร้อยละปริมาณผลผลิตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) โดยที่ร้อยละปริมาณผลผลิตของสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดเพิ่มขึ้น แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$, Table 1) ดังนั้นจึงสามารถเลือกอุณหภูมิในการสกัดที่ต่ำได้ เพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณเมือกที่ยังติดค้างในกระเจี๊ยบเขียวหลังการสกัด พบว่าที่อุณหภูมิ 50°C มีปริมาณเมือกติดค้างมากกว่าที่อุณหภูมิ 60°C และต้องใช้แรงในการบีบมากขึ้นเพื่อสกัดเมือกออกมา อาจเนื่องมาสารสกัดที่อุณหภูมิ 50°C มีความหนืดมากที่สุดจึงทำให้แยกเมือกออกมาโดยใช้แรงบีบที่มาก และเหลือปริมาณเมือกติดค้างในกระเจี๊ยบมาก เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสกัด ค่าความหนืดของสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวมีแนวโน้มลดลง แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$, Table 1)

เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสกัด (50-80°C) พบว่า ค่า L* (ความสว่าง) a* (ค่าสีแดง) b* (ค่าสีเหลือง) ของสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$, Table 1) ทั้งนี้เนื่องมาจากอุณหภูมิที่สูงทำให้มีการแตกตัวของสารพอลิแซ็กคาไรด์ออกมาเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่สามารถทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนที่อาจเกิดจากการแตกตัวของโปรตีนในกระเจี๊ยบเขียว ทำให้เกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard browning reaction) จึงทำให้สารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวที่ได้มีสีที่เข้มมากขึ้น (Butsadee, Praputmatha & Petchpankun, 2006) แต่ยังสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแยมในการทดลองสุดท้ายได้ เนื่องจากผลิตภัณฑ์แยมสตรอว์เบอร์รีมีสีที่ค่อนข้างเข้ม ดังนั้นค่าสี (L* a* b*) ของสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวจึงไม่มีอิทธิพลต่อสีของผลิตภัณฑ์แยมสตรอว์เบอร์รี

สารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวที่ใช้อุณหภูมิในการสกัดที่ 50, 60, 70 และ 80°C นั้นมีแนวโน้มของค่าระยะทางการไหลเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดเพิ่มขึ้น ซึ่งการที่ระยะทางการไหลมีค่าเพิ่มขึ้นแสดงว่าสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวมีความหนืดลดลง แต่พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$, Table 1) เนื่องจากอุณหภูมิในการสกัดที่สูงขึ้นส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าว จะทำให้เกิดการสลายตัว (degradation) ของสายพอลิแซ็กคาไรด์ส่งผลให้เกิดการแตกออกของพันธะไกลโคซิดิก ซึ่งเป็นพันธะที่ยึดระหว่างกรดกาแลกทูโรนิก และระหว่างกรดกาแลกทูโรนิกกับน้ำตาลแรมโนสที่เป็นองค์ประกอบหลักของพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียว การแตกออกของพันธะดังกล่าวทำให้เกิดดีพอลิเมอไรเซชัน (depolymerization) ของสายพอลิแซ็กคาไรด์ จึงทำให้สารสกัดที่ได้มีความหนืดลดลง (Whistler & BeMiller, 1999)

จากการพิจารณาร้อยละปริมาณผลผลิตและระยะทางการไหลของสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวที่สกัดที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ มีค่าไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$, Table 1) ส่วนค่าสี (L* a* b*) ของสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียว มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดเพิ่มขึ้น และมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$, Table 1) นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์แยมสตอรว์เบอร์รีที่จะนำสารสกัดไปใช้ในการทดลองสุดท้ายนั้น มีสีที่ค่อนข้างเข้ม ค่าสีและค่าความสว่างของสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวจึงไม่มีผลต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์แยมสตอรว์เบอร์รี การเลือกใช้อุณหภูมิต่ำในการสกัด ยังเป็นการช่วย

Table 2 Flowing distance and color value (L* a* b*) of Okra's extract at difference mixture ratio of sugar and $CaCl_2$

Trt	Ratio of Sugar:$CaCl_2$	Flowing distance (cm)	L*	a*^{ns}	b*
1	50:2	6.63^{b} ± 0.25	14.29^{c} ± 0.90	-1.51 ± 0.13	0.54^{d} ± 0.03
2	50:2.5	7.19^{ab} ± 0.28	14.38^{bc} ± 0.44	-1.63 ± 0.01	0.31^{e} ± 0.23
3	50:3	7.69^{a} ± 0.51	15.40^{ab} ± 0.30	-1.90 ± 0.18	1.14^{bc} ± 0.08
4	60:2	7.28^{ab} ± 0.22	16.41^{ab} ± 0.55	-1.97 ± 0.23	1.20^{bc} ± 0.06
5	60:2.5	7.45^{ab} ± 0.64	15.42^{ab} ± 1.12	-1.83 ± 0.33	2.08^{a} ± 0.04
6	60:3	7.96^{a} ± 0.23	16.68^{ab} ± 0.90	-1.97 ± 0.26	2.11^{a} ± 0.24
7	70:2	7.33^{ab} ± 0.75	17.38^{a} ± 3.00	-1.63 ± 0.72	1.26^{b} ± 0.06
8	70:2.5	7.71^{a} ± 0.86	14.42^{bc} ± 0.41	-1.73 ± 0.08	1.09^{bc} ± 0.06
9	70:3	7.29^{ab} ± 0.23	14.42^{bc} ± 0.76	-1.92 ± 0.18	0.98^{c} ± 0.18

Mean ± SD (n = 3); ns = non-significant difference ($p > 0.05$); $^{a, b, c}$ Different superscripts in the same column indicate significant differences ($p \leq 0.05$)

ประหยัดพลังงาน ดังนั้นอุณหภูมิในการสกัดที่ 60°C ซึ่งมีร้อยละปริมาณผลผลิตเท่ากับ 67.86 ± 13.19 จึงมีความเหมาะสมที่จะใช้สกัดสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวและนำไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

3.2 สมบัติในการเกิดเจลของสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียว

เมื่อพิจารณาระยะทางในการไหลของสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียว ที่อัตราส่วนน้ำตาล และแคลเซียมคลอไรด์ระดับต่างกัน พบว่าที่ทุกอัตราส่วนฯ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$, Table 2) โดยที่ระยะทางในการไหลของสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำตาล และปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ ซึ่งการที่ระยะทางในการไหลมีค่าเพิ่มขึ้นนั้น แสดงว่าสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวมีความหนืดลดลง และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$, Table 2) เนื่องจากเพคตินที่พบในกระเจี๊ยบเขียวนั้นเป็นชนิด Low – Methoxyl Pectin (LMP) ซึ่งสามารถเกิดเจลได้ในสภาวะที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดต่ำ (Axelos & Thibualt, 1991) ดังนั้นเมื่อมีการเพิ่มปริมาณน้ำตาลจึงเป็นการเพิ่มปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมากขึ้น ส่งผลให้ความหนืดลดลงเกิดเจลได้ไม่ดี และเมื่อเพิ่มปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ พบว่าความหนืดมีค่าลดลงเช่นเดียวกัน เนื่องจากประจุบวกของแคลเซียมคลอไรด์ที่เติมลงไปนั้น จะไปลดแรงผลักระหว่างประจุในโมเลกุลพอลิแซ็กคาไรด์ ทำให้เกิดการจับตัวกันระหว่างสายเกลียวแต่ละสายแน่นมากขึ้น

(Ndjouenkeu, Goycoolea, Morrisa & Akingbala, 1996)

เมื่อพิจารณาค่าสี (L* a* b*) ของสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียว ที่อัตราส่วนน้ำตาล และแคลเซียมคลอไรด์ระดับต่างกัน พบว่าที่ทุกอัตราส่วนฯ มีค่า a* (ค่าสีแดง) ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$, Table 2) มีค่า L* (ความสว่าง) และ b* (ค่าสีเหลือง) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$, Table 2) โดยเมื่อพิจารณาที่ปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 2 และที่ปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 50, 60 และ 70) พบว่าค่า L* (ความสว่าง) และ b* (ค่าสีเหลือง) เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงว่ามีความสว่าง และมีสีเหลืองเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ค่าความสว่างเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีการเพิ่มปริมาณน้ำตาลมากขึ้น ทำให้น้ำตาลสามารถจับกับน้ำอิสระในสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวได้มากขึ้น จึงทำให้น้ำระเหยออกไปจากสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวได้ยาก เมื่อวัดความสว่างจึงมีค่าเพิ่มขึ้น และค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard browning reaction) โดยมีความร้อนทำให้มีการแตกตัวของสารพอลิแซ็กคาไรด์ออกมาเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่สามารถทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนที่อาจเกิดจากการแตกตัวของโปรตีนในกระเจี๊ยบเขียว จึงทำให้ค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าสี (L* a* b*) นั้นไม่ใช่ปัจจัยหลักในการคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดเจลของสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวที่จะนำไปทำผลิตภัณฑ์แยมสตรอว์เบอร์รีต่อไป เนื่องจากผลิตภัณฑ์แยมมีสีที่ค่อนข้างเข้ม

จากผลการทดลองข้างต้น พบว่าอัตราส่วนปริมาณน้ำตาลร้อยละ 50 และปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 2 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการเกิดเจลของสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียว และมีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์แยมสตอรว์เบอร์รีในการศึกษาต่อไป เนื่องจากมีค่าระยะทางการไหลน้อยที่สุด (6.63 ± 0.25) หรือมีค่าความหนืดมากที่สุด และยังเป็นอัตราส่วนที่ใช้น้ำตาลน้อยที่สุดด้วยสอดคล้องกับทฤษฎีการเกิดเจลของ LMP ที่เป็นองค์ประกอบในกระเจี๊ยบเขียว ซึ่งสามารถเกิดเจลได้ในสภาวะที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดต่ำ (Axelos & Thibualt, 1991) เพราะ LMP มีค่า Degree of Esterification ต่ำ แต่ต้องใช้แคลเซียมไอออนเพื่อเชื่อมโมเลกุลของเพคตินเข้าด้วยกัน

3.3 อัตราส่วนที่เหมาะสมของสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวในการทดแทนน้ำตาลซูโครสในผลิตภัณฑ์แยมสตรอว์เบอร์รี

พบว่าตัวอย่างควบคุมที่ไม่ได้เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียว มีความสามารถในการแผ่น้อยที่สุดเท่ากับ 4306.62 ± 242.50 กรัม/วินาที และความสามารถในการแผ่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวในสูตร และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสาคัญ ($p \leq 0.05$, Table 3) ตัวอย่างที่มีความสามารถในการแผ่มากที่สุด คือ ที่อัตราส่วนน้ำตาล:สารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียว: เพคติน เท่ากับ 40:60:0.5 โดยมีค่าความสามารถในการแผ่เท่ากับ 1413.93 ± 64.39 กรัม/วินาที ความสามารถในการแผ่เป็นค่าการเสียรูปร่างภายใต้แรงที่กระทำ อ่านค่าจากระยะการเสียรูปร่างภายใต้แรงที่กำหนด และความแข็งวัดได้โดยการอ่านค่าแรงที่ได้เมื่อถึงระยะที่ตัวอย่างเสียรูปร่างไปตามระยะที่กำหนดไว้ หรืออ่านค่าจากระยะการเสียรูปร่างภายใต้แรงที่กำหนดเช่นกัน (Punnarunothai, 1999) ดังนั้นถ้าผลิตภัณฑ์มีความแข็งมากต้องใช้แรงในการกดที่มากเพื่อทำให้ตัวอย่างเสียรูปร่าง ค่าที่อ่านได้จึงมีค่าที่มาก แต่หมายถึงตัวอย่างมีค่าความสามารถในการแผ่ที่น้อย นั่นคือ ตัวอย่างควบคุมมีความแข็งมากที่สุด ต้องใช้แรงกดที่มากจึงจะทำให้ตัวอย่างเสียรูปร่าง รายงานค่าความสามารถในการแผ่ เท่ากับ 4306.62 ± 242.50 กรัม/วินาที ซึ่งเป็นค่าที่มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ

($p \leq 0.05$, Table 3) แต่หมายถึง ตัวอย่างควบคุมมีความสามารถในการแผ่ที่น้อยที่สุด จากผลการทดลองจึงสรุปได้ว่า การเติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวทำให้แยมมีค่าความสามารถในการแผ่เพิ่มขึ้น เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีความแข็งลดลง แรงที่ใช้ในการกดจึงมีค่าลดลง นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบสูตรที่มีปริมาณน้ำตาล และสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวที่เท่ากัน แต่มีปริมาณเพคตินที่ใช้ต่างกัน พบว่าปริมาณเพคตินที่ใช้เพิ่มขึ้นทำให้แยมสตรอว์เบอร์รีมีความแข็งมากขึ้น และมีความสามารถในการแผ่ลดลง ซึ่งปริมาณเพคตินที่มากขึ้นนั้น ทำให้การจับตัวของเพคตินเพิ่มขึ้นเกิดโครงสร้างของเจลที่แข็งแรงขึ้น ผลิตภัณฑ์จึงมีความแข็งมากขึ้น และต้องใช้แรงในการกดเพื่อทำให้ตัวอย่างเสียรูปร่างมากขึ้นด้วย

ระยะทางในการไหลของตัวอย่างแยมสตรอว์เบอร์รีที่ไม่ได้เติม (ตัวอย่างควบคุม) และเติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียว เพื่อทดแทนน้ำตาลในอัตราส่วนต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$, Table 3) โดยตัวอย่างควบคุมมีระยะทางในการไหลน้อยที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.00± 0.00 เซนติเมตร(หรือเป็นแยมที่มีความหนืดมากจนไม่สามารถไหลได้ในระยะเวลาที่กำหนด) และระยะทางในการไหลมีโน้มเพิ่มขึ้น

Table 3 Spreadability, Flowing distance, water activities, total soluble solid and pH of yam product with replacing sugar with Okra's extract at difference mixture ratio

Ratio of Sugar : Okra's extract : pectin	Spreadability (g/s)	Flowing distance (cm)	Water activities (a_w)	Total soluble solid (^{o}Brix)	pH
100:0:0.5 (Control)	4306.62^{a} ± 242.50	0.00^{e} ± 0.00	0.87^{c} ± 0.01	58.00^{a} ± 1.41	3.00^{ab} ± 0.01
80:20:0.5	1498.42^{ef} ± 50.37	0.35^{bc} ± 0.07	0.91^{ab} ± 0.02	48.00^{b} ± 1.41	3.00^{ab} ± 0.01
80:20:1.0	2511.38^{b} ± 33.44	0.15^{d} ± 0.07	0.90^{bc} ± 0.01	48.00^{b} ± 1.41	2.99^{b} ± 0.02
60:40:0.5	1694.72^{de} ± 98.08	0.35^{bc} ± 0.07	0.92^{ab} ± 0.01	45.00^{b} ± 2.83	3.01^{ab} ± 0.01
60:40:1.0	2026.09^{c} ± 90.83	0.25^{cd} ± 0.07	0.91^{ab} ± 0.01	44.50^{b} ± 3.54	3.02^{a} ± 0.00
40:60:0.5	1413.93^{f} ± 64.39	0.50^{a} ± 0.00	0.94^{a} ± 0.01	38.50^{c} ± 0.71	3.03^{a} ± 0.01
40:60:1.0	1866.80^{cd} ± 42.43	0.40^{ab} ±.00	0.93^{ab} ± 0.01	39.00^{c} ± 1.41	3.01^{ab} ± 0.01

Mean ± SD (n = 2); $^{a, b, c}$ Different superscripts in the same column indicate significant differences ($p \leq 0.05$)

อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$, Table 3) เมื่อเพิ่มสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวในสูตร โดยตัวอย่างที่มีระยะทางในการไหลมากที่สุด คือ ที่อัตราส่วน 40:60:0.5 โดยมีระยะทางในการไหลเท่ากับ 0.50 ± 0.00 เซนติเมตร ซึ่งสอดคล้องกับค่าความสามารถในการแผ่โดยเมื่อเพิ่มสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวทำให้ผลิตภัณฑ์มีความสามารถในการแผ่มากขึ้น ระยะทางในการไหลจึงเพิ่มขึ้น ซึ่งหมายถึงผลิตภัณฑ์มีค่าความหนืดลดลง

ปริมาณน้ำอิสระของตัวอย่างแยมสตรอว์เบอร์รีที่ไม่ได้เติม (ตัวอย่างควบคุม) และเติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียว เพื่อทดแทนน้ำตาลในอัตราส่วนต่างกัน พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$, Table 3) โดยตัวอย่างแยมสตรอว์เบอร์รีที่มีการทดแทนน้ำตาลด้วยสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าปริมาณน้ำอิสระเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$, Table 3) และเมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างที่มีน้ำตาลและสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวที่มีปริมาณเท่ากัน พบว่า ที่ระดับเพคตินร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนักทั้งหมด มีค่าปริมาณน้ำอิสระลดลงกว่าตัวอย่างที่มีเพคติน ร้อยละ 0.5 เนื่องจากน้ำตาลมีสมบัติในการจับน้ำ ดังนั้นการลดปริมาณน้ำตาลในสูตร ทำให้มีปริมาณน้ำอิสระเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การเติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวไปทดแทนน้ำตาลในส่วนที่ลดลงนั้น ในสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวยังมีปริมาณความชื้นและมี LPM เป็นองค์ประกอบที่มีความสามารถในการเกิดโครงสร้างร่างแหและอุ้มน้ำไว้ได้ (Butsadee, Praputmatha & Petchpankun, 2006) ดังนั้นเมื่อทดแทนน้ำตาลด้วยสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียว จึงทำให้มีค่าปริมาณน้ำอิสระเพิ่มขึ้นด้วย

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของตัวอย่างแยมสตรอว์เบอร์รีที่ไม่ได้เติม (ตัวอย่างควบคุม) และเติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียว เพื่อทดแทนน้ำตาลในอัตราส่วนต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$, Table 3) โดยการลดน้ำตาลในสูตรจะทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเป็นผลรวมของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในตัวอย่าง ได้แก่ น้ำตาลชนิดต่างๆ ใช้บอกความเข้มข้นของอาหารเหลว เช่น น้ำเชื่อม น้ำผลไม้ เข้มข้น (Pornchaloempong, 2010) ดังนั้นการลดปริมาณน้ำตาลในสูตรจึงทำให้มีปริมาณแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ทั้งหมดลดลง

ค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างแยมสตรอว์เบอร์รีที่ไม่ได้เติม (ตัวอย่างควบคุม) และเติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียว เพื่อทดแทนน้ำตาลในอัตราส่วนต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$, Table 3) โดยทุกตัวอย่างมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ระหว่าง 2.99 - 3.03 (Table 3) เนื่องจากมีการควบคุม pH ให้เท่ากับ 3.0 โดยการเติมกรดซิตริกในทุกตัวอย่างทดลอง

จาก Table 3 เมื่อเพิ่มปริมาณสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวและลดปริมาณน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ทำให้มีค่าความสามารถในการแผ่มากขึ้นตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสูตรที่มีอัตราส่วนของน้ำตาลกับสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวที่เท่ากัน แต่มีปริมาณเพคตินที่ต่างกัน พบว่าเพคตินที่ระดับ 1.0 มีความสามารถในการแผ่น้อยกว่าเพคตินที่ระดับ 0.5 ในทุกตัวอย่าง นอกจากนี้การลดปริมาณน้ำตาลในสูตรทำให้มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและความหนืดลดลง แต่มีปริมาณน้ำอิสระ (a_w) สูงขึ้น เนื่องจากน้ำตาลสามารถจับน้ำอิสระได้ ดังนั้นการลดปริมาณน้ำตาลทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณน้ำอิสระเพิ่มขึ้น ค่า a_w จึงสูงขึ้นเมื่อปริมาณน้ำตาลน้อยลง และเมื่อเติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียว ทำให้มีปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น

Table 4 Sensory scores of strawberry yam at difference mixture ratio of sugar, Okra's extract and pectin

Ratio of Sugar: Okra's extract:pectin	Appearance	Taste	Spreadability	Overall-Liking^{ns}
100:0:0.5 (Control)	6.37^{ab} ± 1.63	6.88^{a} ± 1.45	5.88^{b} ± 1.91	6.93 ± 1.19
80:20:0.5	5.97^{b} ± 1.69	6.55^{ab} ± 1.61	6.92^{a} ± 1.47	6.66 ± 1.34
80:20:1.0	6.23^{ab} ± 1.40	6.38^{ab} ± 1.56	6.78^{a} ± 1.45	6.77 ± 1.27
60:40:0.5	6.38^{ab} ± 1.49	6.07^{b} ± 1.70	6.67^{a} ± 1.45	6.67 ± 1.19
60:40:1.0	6.57^{a} ± 1.38	6.33^{ab} ± 1.45	6.70^{a} ± 1.33	6.62 ± 1.17
40:60:0.5	6.62^{a} ± 1.32	6.18^{b} ± 1.52	6.53^{a} ± 1.44	6.48 ± 1.20
40:60:1.0	6.68^{a} ± 1.43	6.22^{b} ± 1.74	6.87^{a} ± 1.27	6.70 ± 1.53

Mean ± SD (n = 2); ns = non-significant difference ($p > 0.05$); $^{a, b, c}$ Different superscripts in the same column indicate significant differences ($p \leq 0.05$)

ส่งผลทำให้ความหนืดลดลง และทำให้ความสามารถในการแผ่เพิ่มขึ้น

คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส ความสามารถในการแผ่ และความชอบโดยรวมของแยมสตรอว์เบอร์รีที่อัตราส่วนน้ำตาล:สารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียว:เพคตินที่ระดับต่างกัน พบว่าได้รับคะแนนด้านลักษณะปรากฏ รสชาติ และความสามารถในการแผ่ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$, Table 4) ส่วนคะแนนด้านสี กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัส ($p > 0.05$, ข้อมูลไม่แสดง) และความชอบโดยรวม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$, Table 4)

คะแนนด้านลักษณะปรากฏ พบว่าแยมสตรอว์เบอร์รีที่ใช้สารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวทดแทนน้ำตาลที่ระดับต่างกัน ได้รับคะแนนด้านลักษณะปรากฏแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ส่วนใหญ่ใกล้เคียงกับสูตรควบคุม อาจเนื่องมาจากในแต่ละสูตรใช้สตรอว์เบอร์รีในปริมาณที่เท่ากัน และทำการปรับ pH ด้วยกรดซิตริก จนมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่ใกล้เคียงกัน เท่ากับ 3.0 นอกจากนี้ยังมีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานินในสตรอว์เบอร์รี โดยในสภาพที่เป็นกรด หรือมีค่า pH ที่น้อยกว่า 3 จะทำให้แอนโทไซยานินมีสีแดง (Pornchaloempong, 2010) ดังนั้นการปรับ pH ให้มีค่าเท่ากับ 3.0 ในกระบวนการผลิต จึงเป็นการควบคุมความสม่ำเสมอของสีให้กับผลิตภัณฑ์แยมสตรอว์เบอร์รีด้วย จึงได้รับคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านสีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$, ข้อมูลไม่แสดง)

คะแนนด้านรสชาติ พบว่าคะแนนความชอบด้านรสชาติลดลงเมื่อลดปริมาณน้ำตาลในสูตร โดยสูตรที่ได้รับคะแนนทางด้านรสชาติมากที่สุด คือ สูตรควบคุม ได้รับคะแนน 6.88 ± 1.45 และสูตรที่ได้รับคะแนนด้านรสชาติน้อยที่สุด คือ สูตรที่ลดปริมาณน้ำตาลมากที่สุด (40:60:0.5) โดยได้รับ

คะแนน 6.18 ± 1.52 เนื่องจากการลดปริมาณน้ำตาลทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสหวานน้อยลง การรับรู้รสเปรี้ยวจึงเด่นชัดขึ้น ดังนั้นจึงทำให้สูตรที่มีปริมาณน้ำตาลในผลิตภัณฑ์น้อยที่สุด ได้รับคะแนนความชอบด้านรสชาติน้อยกว่าสูตรควบคุม นอกจากนี้ทุกสูตรใช้ปริมาณสตรอว์เบอร์รีร้อยละ 65 เท่ากัน เป็นอัตราส่วนที่มีปริมาณสตรอว์เบอร์รีที่สูง ทำให้มีกลิ่นของสตรอว์เบอร์รีที่ชัดเจนกว่ากลิ่นกระเจี๊ยบเขียว จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ได้รับคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสที่ใกล้กัน ($p > 0.05$, ข้อมูลไม่แสดง)

คะแนนด้านความสามารถในการแผ่ พบว่าแยมสตรอว์เบอร์รีที่ใช้สารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวทดแทนน้ำตาลที่ระดับต่างกัน ได้รับคะแนนด้านความสามารถในการแผ่สูงกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$, Table 4) เนื่องจากการเติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งลดลง จึงสามารถแผ่ออกไปได้มากกว่าสูตรควบคุมที่ไม่ได้เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียว ทำให้ผู้ทดสอบให้การยอมรับมากกว่าสูตรควบคุม แม้ว่าสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวมีผลต่อความสามารถในการแผ่ และระยะทางในการไหลของตัวอย่างแยมสตรอว์เบอร์รี (Table 3) แต่กลับเป็นผลดีที่ทำให้ผู้บริโภครับรู้ถึงลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวอย่างได้มากขึ้น เนื่องจากตัวอย่างสามารถแผ่ลงบนขนมปังได้อย่างสม่ำเสมอ จึงทำให้ได้รับคะแนนการทดสอบด้านลักษณะเนื้อสัมผัสที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$, ข้อมูลไม่แสดง)

คะแนนความชอบโดยรวม พบว่าแยมสตรอว์เบอร์รีที่ใช้สารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวทดแทนน้ำตาลที่ระดับต่างกัน ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกับแยมสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$, Table 4) ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากกลุ่มผู้ทดสอบมีความเคยชินกับผลิตภัณฑ์แยมสตรอว์เบอร์รีที่มีรสหวาน แต่ในขณะเดียวกันยังมีความต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีความหวานลดลง และมีค่าพลังงานต่ำ จึงทำให้ตัวอย่างแยมที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวได้รับคะแนนความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$, Table 4) เมื่อนำคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสพิจารณาร่วมกับผลการทดลองทางกายภาพ พบว่าการใช้สารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวในผลิตภัณฑ์แยมสตอรว์เบอร์รีในอัตราส่วนน้ำตาล:สารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียว:เพคติน เท่ากับ 40:60:0.5 และ 40:60:1.0 เป็นสูตรที่ใช้ปริมาณน้ำตาลน้อยที่สุด ได้รับคะแนนประเมินทางประสาทสัมผัสที่สูง และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$, Table 4) แต่สูตร 40:60:0.5 เป็นสูตรที่ใช้ปริมาณเพคตินน้อยที่สุด ดังนั้นสูตร 40:60:0.5 จึงเป็นสูตรที่มีความเหมาะสมในการใช้สารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวเป็นสารให้ความข้นหนืด และใช้ทดแทนน้ำตาลซูโครสในผลิตภัณฑ์แยมสตรอว์เบอร์รี นอกจากจะเป็นผลิตภัณฑ์ที่เหมาะกับผู้บริโภคทั่วไปแล้ว ยังเป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภคที่ใส่ใจเรื่องสุขภาพและผู้บริโภคที่ต้องการรับประทานแยมที่มีปริมาณพลังงานต่ำ

3.4 องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์แยมสตรอว์เบอร์รี

องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น ไขมัน เส้นใยโปรตีน เถ้า และคาร์โบไฮเดรตของตัวอย่างของแยมสตรอว์เบอร์รีที่เติม และไม่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียว (สูตรควบคุม) ทดแทนน้ำตาลในอัตราส่วน 40:60 โดยน้ำหนักน้ำตาลทั้งหมด แสดงใน Table 5 พบว่า ตัวอย่างที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวมีปริมาณความชื้น เส้นใย และโปรตีน มากกว่า แต่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตน้อยกว่าตัวอย่างควบคุมที่ไม่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียว ($p \leq 0.05$, Table 5)

Table 5 Chemical composition and calculated energy of strawberry yam with Okra's extract at ratio of 40:60 by sugar weight

Chemical composition	(% by wet basis)	
	Ratio of Sugar : Okra's Extract (% by sugar weight)	
	100:0 (Control)	40:60
Moisture	$44.98^{b} \pm 1.33$	$60.75^{a} \pm 0.95$
Fat^{ns}	0.45 ± 0.01	0.45 ± 0.02
Fiber	$0.31^{b} \pm 0.01$	$0.48^{a} \pm 0.01$
Protein	$0.52^{b} \pm 0.00$	$0.59^{a} \pm 0.01$
Ash^{ns}	4.05 ± 0.41	4.26 ± 0.19
Carbohydrate	$49.66^{a} \pm 1.71$	$33.47^{b} \pm 0.76$
Calculated energy (Calories/100g)	204.77	140.29

Mean ± SD (n = 3); ns = non-significant difference ($p > 0.05$); $^{a, b, c}$ Different superscripts in the same row indicate significant differences ($p \leq 0.05$)

ปริมาณความชื้น พบว่าตัวอย่างที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวร้อยละ 40:60 มีปริมาณความชื้น (60.75 ± 0.95) มากกว่าตัวอย่างควบคุม (44.98 ± 1.33) เนื่องจากในสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียว มี LMP เป็นองค์ประกอบและสามารถสร้างโครงสร้างร่างแหได้ สามารถจับน้ำและอุ้มน้ำไว้ได้ จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียว มีปริมาณความชื้นมากกว่าตัวอย่างควบคุม

ปริมาณเส้นใย พบว่าตัวอย่างที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวร้อยละ 40:60 มีปริมาณเส้นใยมากกว่า (0.48 ± 0.01) ตัวอย่างควบคุม (0.31 ± 0.01) เนื่องจากกระเจี๊ยบเขียว มีปริมาณเส้นใย 1.0 กรัม ต่อกระเจี๊ยบเขียว 100 กรัม ในส่วนที่บริโภคได้ (Suthipolpaiboon, 1995) จึงทำให้ตัวอย่างที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวมีปริมาณเส้นใยมากกว่าตัวอย่างควบคุม

ปริมาณโปรตีน พบว่าตัวอย่างที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวทดแทนน้ำตาลในอัตราส่วน 40:60 มีปริมาณโปรตีน (0.59 ± 0.01) มากกว่าตัวอย่างควบคุม (0.52 ± 0.00) เนื่องจากกระเจี๊ยบเขียว มีปริมาณโปรตีน 2.4 กรัม ต่อกระเจี๊ยบเขียว 100 กรัม ในส่วนที่บริโภคได้ (Suthipolpaiboon, 1995) จึงทำให้ตัวอย่างที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวมีปริมาณโปรตีนมากกว่าตัวอย่างควบคุม

ปริมาณคาร์โบไฮเดรต พบว่า ตัวอย่างที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวทดแทนน้ำตาลในอัตราส่วน 40:60 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต (33.47 ± 0.76) น้อยกว่า ตัวอย่างควบคุม (49.66 ± 1.71) อาจเนื่องจากการเติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวทำให้มีปริมาณความชื้นสูง ดังนั้นเมื่อนำปริมาณความชื้นซึ่งเป็นองค์ประกอบที่มีในปริมาณมากไปคำนวณหาปริมาณคาร์โบไฮเดรต จึงทำให้มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตน้อยกว่าในตัวอย่างที่ไม่ได้เติมสาร

สกัดจากกระเจี๊ยบเขียว นอกจากนี้ตัวอย่างที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวนั้นสามารถทดแทนน้ำตาลในสูตรได้ในอัตราส่วนน้ำตาลต่อสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียว เท่ากับ 40:60 โดยน้ำหนักน้ำตาลทั้งหมด ซึ่งการลดน้ำตาลลงในสูตรทำให้ตัวอย่างมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตลดลงด้วย

เมื่อนำองค์ประกอบทางเคมีใน Table 5 ไปคำนวณปริมาณพลังงานของตัวอย่างควบคุมที่ไม่ได้เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียว และตัวอย่างที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวทดแทนน้ำตาลในอัตราส่วน 40:60 โดยน้ำหนักน้ำตาลทั้งหมด พบว่าตัวอย่างควบคุมมีปริมาณพลังงาน 204.77 แคลอรี/ 100 กรัม และตัวอย่างที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวทดแทนน้ำตาลในอัตราส่วน 40:60 มีปริมาณพลังงาน 140.29 แคลอรี/ 100 กรัม (Table 5) โดยตัวอย่างที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวทดแทนน้ำตาลในอัตราส่วน 40:60 มีปริมาณพลังงานน้อยกว่า หรือมีพลังงานลดลง ร้อยละ 31.49 จากตัวอย่างควบคุม

4. สรุป

อุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัดเมือกจากกระเจี๊ยบเขียว คือ 60°C เมื่อนำไปศึกษาสภาวะในการเกิดเจลของสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียว พบว่าสภาวะที่เหมาะสม คือ ที่อัตราส่วนน้ำหนักน้ำตาลต่อน้ำหนักเมือกกระเจี๊ยบ เท่ากับ 50:50 และ ที่ปริมาณ $CaCl_2$ ร้อยละ 2 โดยน้ำหนักทั้งหมด ต่อมานำไปผลิตผลิตภัณฑ์แยมสตรอว์เบอร์รี พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้สารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวเป็นสารให้ความข้นหนืด และใช้ทดแทนน้ำตาลซูโครส คือ อัตราส่วนน้ำตาล:สารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวเท่ากับ 40:60 โดยน้ำหนักน้ำตาลทั้งหมด และที่ปริมาณเพคติน ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักทั้งหมด เมื่อนำไปศึกษาองค์ประกอบทางเคมี พบว่ามีปริมาณความชื้นร้อยละ 60.75±0.95 ไขมัน 0.45±0.02 เส้นใย 0.48 ±0.01 โปรตีน 0.59± 0.01 เถ้า 4.26± 0.19 และคาร์โบไฮเดรต 33.47±0.76 โดยน้ำหนักสด มีปริมาณพลังงานลดลง ร้อยละ 31.49 จากตัวอย่างควบคุมที่ไม่ได้เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียว

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร ที่สนับสนุนค่าใช้จ่าย อุปกรณ์เครื่องมือในการทำวิจัยในครั้งนี้

6. References

Anonymous. (2010). Yam. [online]. Source: www. foodnetworksolution. com/ vocab/ wordcap/%E0%B9%81%E0%B8%A2%E0%B8%A1. Accessed on 3 November 2012.

AOAC. (1995). Official Methods of Association of Official Analytical Chemist, 16th edition, Washington DC: Association of Analytical Chemist.

Axelos, M.A.V. and Thibualt, J.F. (1991). The Chemistry of Low Methoxyl Pectin Gelation, In The Chemistry of Pectin (Walter. R. H. Ed). New York: Academic Press. pp.109-118.

Bays, H. (2005). Combination Therapy for Global Lipid Improvement. *The European Journal of Hospital Pharmacy*, May/ June, 1-3.

Berth, G., Voragen, A.G.J. and Pilnik, J. (1982). Pectin- based Oral Drug Delivery to the Colon. Study of the Methyl Ester Distribution in Pectin with Endo-

polygalacturonase and High- performance Size- Exclusion Chromatography, *Biopolymers*, 58(2), 195-203.

Bhat, U. S., and Tharathan, R. N. (1987). Functional properties of okra (*Hibiscus esculentus*) mucilage, *Starch/Starke*, 39, 165-167.

Butsadee, K., Praputmatha, P. and Petchpankun, S. (2006). Production of Mucilage Powder from Okra. Research Report. Nakhon Pathom: Nakhon Pathom Rajabhat University, Thailand. 42 pp. (in Thai)

Chaowitayangku, N. and Poosaran, N. (1999), Making of low calory jam. Proceeding of The 37th Annual Meeting of Kasetsart University, 3rd-5th February 1999, pp. 3 - 9. Kasetsart University, Thailand. (in Thai)

Ndjouenkeu, R., Goycoolea, F. M., Morrisa, E. R., and Akingbala, J. O., (1996), Rheology of okra (*Hibiscus esculentus* L.) and dika nut (*Irvingia gabonensis*) polysaccharides, *Carbohydrate Polymers*, 29(3), 263-269.

Pornchaloempong, P. (2010). Yam. [Online]. Source: www. foodnetworksolution. com/vocab/wordcap/%E0%B9%81%E0%B8%A2%E0%B8%A1. Accessed on 3 November 2012. (in Thai)

Punnarunothai, R. (1999). Measurement of Speadability and Texture Analysis of Fat Products. [Online]. Source: http://www. Charpatechcenter. com. Accessed on 1 March 2013. (in Thai)

Sengkhamparn, N., Verhoef, R., Schols, A. H., Sajjaanantakul, T., and Voragen, G. J. A. (2009). Characterisation of cell wall polysaccharides from okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench), *Carbohydrate Research*, 344, 1824–1832.

Sinha, K.N., Sidhu, S.J., Barta, J., Wu, S.J., and Cano, P.M. (2012). Handbook of fruits and fruit processing, Willey- Blackwell Publishing Ltd., pp 229-239.

Sirikaew, S. (2011). Studies on processing KAI ALGAE yam. Master's Project. M. Ed. (Science Education). Bangkok: Graduate School. Srinakharinwirot University. (in Thai)

Suthipolpaiboon, S. (1995). Okra for export. [Online]. Source: http://www.eto.ku.ac.th/neweto/e-book/plant/herb_gar/krajeab.pdf. Accessed on 21 September, 2012. (in Thai)

Woolfe, M. L., Chaplin, M. F., and Otchere, G., (1977), Studies on the mucilages extracted from okra fruits (*Hibiscus esculentus* L.) and baobab leaves (*Adansonia digitata* L.), *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 28, 519-529.