องค์ประกอบทางโภชนาการ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และการประยุกต์ใช้เนื้อผลโกโก้ (*Theobroma cacao* L.) ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่อ่อน

Nutritional Composition, Antioxidant Activity, and Application of Cocoa Pulp (*Theobroma cacao* L.) in Soft Jelly Development

จุรีภรณ์ นวนมุสิก[1*], สิทธิพร เพชรทองขาว[2], วิไลวรรณ ไชยศร[3] และ ปุญญาเพชร เดชเพชรธรักษ์[4]

Jureeporn Nounmusig[1*], Sittiporn Pettongkhaoand[2], Wilaiwan Chaisorn[3], and Poonyapetch Detpetchtharak[4]

[1,2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์, สาขาวิชาสาธารณสุขศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

[1,2] Assistant Professor, Public Health Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University.

[3] ผู้ช่วยศาสตราจารย์, สาขาวิชาชีววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

[3] Assistant Professor, Biology Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University.

[4] ผู้ช่วยศาสตราจารย์, สาขาวิชาวิทยาการการประกอบอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

[4] Assistant Professor, Culinary Science Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University.

[*] **Corresponding author, E-mail:** Jureeporn_nua@nstru.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางโภชนาการและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเนื้อผลโกโก้ และประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่อ่อนจากเนื้อผลโกโก้ ผลการศึกษาพบว่า เนื้อผลโกโก้มีองค์ประกอบสำคัญ ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ 7.00±0.00 °Brix ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.78±0.00 เนื้อผลโกโก้มีความชื้น 83.76±0.02 กรัมต่อ 100 กรัม และใยอาหารทั้งหมด 7.94±0.01 กรัมต่อ 100 กรัม ซึ่งพบเป็นใยอาหารที่ละลายน้ำได้เป็นหลัก และพบวิตามินบี 1 บี 2 บี 6 และวิตามินอี รวมทั้งแร่ธาตุโพแทสเซียมสูงที่สุด 246.88±0.24 มิลลิกรัมต่อ100กรัม และมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 75.14±0.00 mg GAE/g sample สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด 260.29±0.91 mg quercetin/g sample และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากการทดสอบด้วยวิธี DPPH free radical scavenging activity, ABTS free radical scavenging activity, และ ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay สำหรับการประยุกต์ใช้พัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เยลลี่อ่อน พบว่า สูตรที่เหมาะสมประกอบด้วย น้ำเนื้อผลโกโก้ ร้อยละ 40 คาราจีแนน ร้อยละ 0.2 และผงบุก ร้อยละ 0.1 ได้รับคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสมีความชอบโดยรวมอยู่ในระดับสูงที่สุด (7.90±0.15) ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าเนื้อผลโกโก้มีศักยภาพในการใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับพัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่อ่อนมูลค่าเพิ่มได้อย่างเหมาะสม

คำสำคัญ: เนื้อผลโกโก้, องค์ประกอบทางโภชนาการ, ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ, เยลลี่อ่อน

Abstract

This study aimed to investigate the nutritional composition and antioxidant activity of cocoa pulp and to apply it in the development of a soft jelly product from cocoa pulp. The results showed that cocoa pulp contained important constituents, including total soluble solids of 7.00±0.00 °Brix and a pH value of 4.78±0.00. Cocoa pulp contained 83.76±0.02 g/100 g moisture content and 7.94±0.01 g/100 g total dietary fiber, with soluble dietary fiber being the major fraction. In addition, vitamins B1, B2, B6, and E were detected, while potassium was the predominant mineral, with a content of 246.88±0.24 mg/100 g. Cocoa pulp also contained 75.14±0.00 mg GAE/g sample of total phenolic compounds and 260.29±0.91 mg quercetin/g sample of total flavonoid compounds, and exhibited antioxidant activity as determined by DPPH free radical scavenging activity, ABTS free radical scavenging activity, and ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay. For product application, the optimum soft jelly formulation consisted of 40% cocoa pulp juice, 0.2% carrageenan, and 0.1% konjac powder. This formulation received the highest overall acceptability score (7.90±0.15). The findings indicate that cocoa pulp has good potential as a raw material for the development of value-added soft jelly products.

Keywords: Cocoa pulp, Nutritional composition, Antioxidant activity, Soft jelly

บทนำ

โกโก้ (*Theobroma cacao* L.) เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญระดับโลก โดยเมล็ดโกโก้เป็นวัตถุดิบหลักของอุตสาหกรรมช็อกโกแลตและผลิตภัณฑ์อาหารหลากหลายชนิด อย่างไรก็ตาม การใช้ประโยชน์ผลโกโก้ในระบบการผลิตโดยทั่วไปยังคงมุ่งเน้นที่เมล็ดเป็นสำคัญ ขณะที่ส่วนอื่นของผลซึ่งเกิดขึ้นร่วมกันในปริมาณมาก เช่น เปลือกผล เปลือกเมล็ด และเนื้อผลโกโก้หรือเมือกสีขาวที่ห่อหุ้มเมล็ด (cocoa pulp หรือ cocoa mucilage) ยังได้รับการใช้ประโยชน์ค่อนข้างจำกัด แม้เนื้อผลโกโก้จะมีรสหวานอมเปรี้ยว กลิ่นหอมเฉพาะตัว และมีศักยภาพในการนำไปใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์อาหารได้หลายรูปแบบ เช่น แยม ผลิตภัณฑ์ผลไม้ เครื่องดื่ม และผลิตภัณฑ์หมัก (Bickel Haase et al., 2021; Nunes et al., 2020; Klis et al., 2023) การเพิ่มมูลค่าให้กับเนื้อผลโกโก้ จึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจทั้งในมิติของการพัฒนาวัตถุดิบอาหารชนิดใหม่และการใช้ทรัพยากรจากห่วงโซ่การผลิตโกโก้อย่างคุ้มค่ามากยิ่งขึ้น อันสอดคล้องกับแนวคิดการลดของเสียและการพัฒนาระบบอาหารอย่างยั่งยืน (Soares & Oliveira, 2022)

ในด้านคุณลักษณะของวัตถุดิบ เนื้อผลโกโก้มีองค์ประกอบที่น่าสนใจต่อการแปรรูปอาหาร เนื่องจากมีน้ำตาลธรรมชาติ กรดอินทรีย์ ความเป็นกรดที่เหมาะสม และสารให้กลิ่นรสตามธรรมชาติ ซึ่งล้วนเป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณภาพ การยอมรับของผู้บริโภค และความเป็นไปได้ในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารชนิดใหม่ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่ต้องการรสชาติผลไม้ตามธรรมชาติและภาพลักษณ์ด้านความสดชื่นหรือสุขภาพ (Bickel Haase et al., 2021; Nunes et al., 2020) นอกจากนี้ งานวิจัยเกี่ยวกับผลพลอยได้จากโกโก้ยังชี้ให้เห็นว่า ส่วนต่างๆ ของผลโกโก้มีองค์ประกอบทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่น่าสนใจ ซึ่งอาจแตกต่างกันตามพันธุ์ แหล่งปลูก ระดับความสุก และกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว

(Martínez et al., 2012; Soares & Oliveira, 2022; Llerena et al., 2023) โดยเฉพาะการตรวจพบสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในผลพลอยได้จากโกโก้ ซึ่งสะท้อนว่าเนื้อผลโกโก้ไม่ควรถูกมองเป็นเพียงวัสดุพลอยได้จากกระบวนการผลิต แต่ยังมีศักยภาพที่จะได้รับการพัฒนาเป็นวัตถุดิบอาหารหรือส่วนผสมเชิงหน้าที่ที่มีมูลค่าเพิ่มได้อีกด้วย (Martínez et al., 2012; Llerena et al., 2023) แม้ว่าค่าที่รายงานในแต่ละการศึกษาจะมีความแปรผันตามวิธีการสกัดวิธีวิเคราะห์ และแหล่งที่มาของตัวอย่าง แต่แนวโน้มโดยรวมแสดงให้เห็นว่าเนื้อผลโกโก้เป็นวัตถุดิบที่ควรได้รับการศึกษาเพิ่มเติมทั้งในด้านองค์ประกอบทางโภชนาการและสมบัติเชิงหน้าที่ เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลทางวิชาการสำหรับการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร (Soares & Oliveira, 2022; Llerena et al., 2023)

ผลิตภัณฑ์เยลลี่อ่อนเป็นผลิตภัณฑ์อาหารประเภทเจลที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่ม ยืดหยุ่น และรับประทานง่าย โดยคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับชนิดและสัดส่วนของไฮโดรคอลลอยด์ที่ใช้สร้างโครงข่ายเจล ซึ่งมีผลต่อสี กลิ่น รสชาติ และลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ (Hu et al., 2024) ด้วยลักษณะดังกล่าว เยลลี่อ่อน จึงนับเป็นรูปแบบหนึ่งที่น่าสนใจสำหรับการใช้ประโยชน์เนื้อผลโกโก้ เนื่องจากสามารถนำเสนอรสชาติ กลิ่น และสีสันของวัตถุดิบผลไม้ได้ดี อีกทั้งยังเป็นแนวทางที่เหมาะสมต่อการเพิ่มมูลค่าและขยายทางเลือกการบริโภคให้กับวัตถุดิบเกษตรในท้องถิ่น อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจะมีรายงานเกี่ยวกับองค์ประกอบและการใช้ประโยชน์ของ cocoa pulp ในผลิตภัณฑ์บางประเภท รวมทั้งการศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของผลพลอยได้จากโกโก้ (Bickel Haase et al., 2021; Soares & Oliveira, 2022; Llerena et al., 2023) แต่ยังมีข้อมูลจำกัดเกี่ยวกับการเชื่อมโยงองค์ประกอบทางโภชนาการและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเนื้อผลโกโก้กับการประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่อ่อนโดยตรง นอกจากนี้ ยังขาดข้อมูลเกี่ยวกับผลของสัดส่วนสารก่อเจลผสมระหว่างคาราจีแนนและผงบุกต่อคุณลักษณะด้านประสาทสัมผัส ค่าสี และคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ดังกล่าว ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเติมเต็มช่องว่างขององค์ความรู้ดังกล่าว โดยศึกษาคุณค่าของเนื้อผลโกโก้ควบคู่กับการพัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่อ่อนต้นแบบ เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการเพิ่มมูลค่าวัตถุดิบและการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารต่อไป

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางโภชนาการและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเนื้อผลโกโก้ (*Theobroma cacao* L.) และประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่อ่อนจากเนื้อผลโกโก้ เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานอธิบายคุณค่าของวัตถุดิบดังกล่าว และประเมินศักยภาพในการนำไปใช้ประโยชน์ทางอาหาร ควบคู่กับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่สามารถเพิ่มมูลค่าให้กับเนื้อผลโกโก้ได้อย่างเหมาะสม

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาลักษณะทางเคมีและกายภาพ องค์ประกอบทางโภชนาการของเนื้อผลโกโก้
2. เพื่อประเมินปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเนื้อผลโกโก้
3. เพื่อพัฒนาและคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์เยลลี่อ่อนจากเนื้อผลโกโก้

แนวคิด ทฤษฎี กรอบแนวคิด

งานวิจัยนี้พัฒนาขึ้นบนแนวคิดการเพิ่มมูลค่าวัตถุดิบเกษตรและการใช้ประโยชน์ทรัพยากรอาหารอย่างครบถ้วน โดยมุ่งศึกษาศักยภาพของเนื้อผลโกโก้ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของผลที่ยังมีการใช้ประโยชน์

ค่อนข้างจำกัด แม้จะมีรายงานเกี่ยวกับองค์ประกอบ กลิ่นรส และการนำ cocoa pulp ไปใช้ในผลิตภัณฑ์บางประเภท เช่น เครื่องดื่ม ผลิตภัณฑ์หมัก และผลิตภัณฑ์อาหารบางชนิด (Bickel Haase et al., 2021; Nunes et al., 2020; Klis et al., 2023) รวมทั้งมีรายงานว่าผลพลอยได้จากโกโก้มีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่น่าสนใจ (Martínez et al., 2012; Soares & Oliveira, 2022; Llerena et al., 2023) แต่ยังมีข้อมูลจำกัดเกี่ยวกับการเชื่อมโยงองค์ประกอบทางโภชนาการและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเนื้อผลโกโก้กับการประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่อ่อนโดยตรง ตลอดจนยังขาดข้อมูลผลของสัดส่วนสารก่อเจลผสมระหว่างคาราจีแนนและผงบุกต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ดังกล่าว ดังนั้น กรอบแนวคิดของการวิจัยนี้จึงตั้งอยู่บนความสัมพันธ์ระหว่าง “คุณลักษณะของวัตถุดิบ” กับ “ความเหมาะสมในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร” กล่าวคือ องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพ องค์ประกอบทางโภชนาการ สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเนื้อผลโกโก้ เป็นข้อมูลพื้นฐานที่สะท้อนศักยภาพของวัตถุดิบ ขณะที่ทฤษฎีการเกิดเจลของไฮโดรคอลลอยด์อธิบายว่า ชนิดและสัดส่วนของสารก่อเจล เช่น คาราจีแนนและผงบุก มีผลโดยตรงต่อโครงสร้างเจล ค่าสี คุณลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ สมมติฐานของการวิจัยจึงกำหนดว่า เนื้อผลโกโก้มีองค์ประกอบทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร และสัดส่วนของคาราจีแนนและผงบุกที่แตกต่างกันมีผลต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ค่าสี และคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เยลลี่อ่อนจากเนื้อผลโกโก้

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่างเนื้อของผลโกโก้

การเตรียมตัวอย่างเนื้อของผลโกโก้ นำผลโกโก้แก่จัดระยะ 4 คือ ผลโกโก้ที่มีความสุกร้อยละ 80-90 และเมล็ดไม่มีการงอกหน่อ มาแกะเปลือก แยกเอาเมล็ดออกแยกเนื้อหุ้มเมล็ดสีขาวออกจากเมล็ดโกโก้ และนำเนื้อโกโก้ที่ได้บรรจุในถุงพลาสติก LDPE สำหรับแช่แข็ง ซีลปิดปากถุงและนำไปเก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการศึกษาตลอดการทดลอง

2. การวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมีและกายภาพของเนื้อผลโกโก้ ได้แก่ ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสีตามระบบ CIE (L^*, a^*, b^*) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Total Soluble Solids; TSS) ของตัวอย่างด้วยเครื่อง Refractometer และรายงานผลเป็นองศาบริกซ์ (°Brix) ความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างด้วยวัดค่าปริมาณกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่อง pH meter ปริมาณกรดในรูปของร้อยละของกรดซิตริกโดยการไตเตรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ตามวิธี AOAC (2012) วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด โดยวิธี Phenol sulfuric acid (Dubois et al., 1956) และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ โดยวิธี 3,5-dinitrosalicylic acid (Miller, 1959)

3. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาการของเนื้อผลโกโก้

3.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้น ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมันทั้งหมด คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด ใยอาหาร เถ้า ตามวิธีมาตรฐาน AOAC (2012) และพลังงานทั้งหมด ตามวิธีมาตรฐาน AOAC (1993)

3.2 วิเคราะห์องค์ประกอบของวิตามิน ประกอบด้วย วิตามินเอ กลุ่มวิตามินบี (B1, B2, B6, B12) วิตามิน ซี และ วิตามินอี ด้วยเครื่อง Gas Chromatography ตามวิธีมาตรฐาน AOAC (2012)

3.3 วิเคราะห์แร่ธาตุ ได้แก่ แคลเซียม ธาตุเหล็ก โซเดียม สังกะสี แมกนีเซียม แมงกานีส ซีรีเนียม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม (มิลลิกรัม) ตามวิธีการเตรียมตัวอย่างมาตรฐาน AOAC (2012) และใช้เครื่องวิเคราะห์แร่ธาตุชนิดใช้ความร้อนจากพลาสมา (Inductively Couple Plasma-Optical Emission Spectrometer)

4. การศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของเนื้อผลโกโก้ โดยชั่งเนื้อผลโกโก้สด 5 กรัม เติมเอทานอลร้อยละ 80 (v/v) ปริมาตร 25 มิลลิลิตร และสกัดด้วยเครื่องเขย่าที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นปั่นเหวี่ยงที่ 4,000 รอบต่อนาที 10 นาที และกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman No.1 เก็บสารสกัดในขวดสีชาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสจนกว่าจะวิเคราะห์ โดยก่อนการวิเคราะห์เตรียมสารละลายตั้งต้นที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรด้วยเอทานอลร้อยละ 80 และเจือจางให้เหมาะสม (ดัดแปลงวิธีการจาก Kulczyński et al., 2020; Baliyan et al., 2022) จากนั้นนำไปวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ดัดแปลงตามวิธีการของ Kahkonen et al. (1999) และนำไปทดสอบหากิจกรรมต้านอนุมูลอิสระของสารสกัด ได้แก่ กิจกรรมการดักจับอนุมูลอิสระ DPPH (DPPH radical scavenging assay) ดัดแปลงตามวิธีการของ Shimada et al. (1992) และกิจกรรมการทดสอบการรีดิวซ์เหล็กเฟอร์ริก (Ferric reducing ability of plasma (FRAP) assay) ดัดแปลงตามวิธีการของ Benzie & Strain (1996) และการทดสอบความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ ABTS [2,2'-azinobis-(3-ethyl-benzothiazoline-6-sulfonic acid)] ดัดแปลงตามวิธีการของ Re et al. (1999)

5. การประยุกต์ใช้เนื้อผลโกโก้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่อ่อน

การเตรียมเนื้อผลโกโก้ ทำโดยการนำผลโกโก้ ระยะที่ 4 (มีความสุกของผลร้อยละ 80-90 และเมล็ดไม่งอกหน่อ) มากะเทาะเปลือก แยกเนื้อผลออกโดยการคั้นกับน้ำเปล่าในสัดส่วน 1 : 1 นำเนื้อผลโกโก้ที่คั้นได้เข้าสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่อ่อนจากเนื้อผลโกโก้ โดยพัฒนาจากสูตรมาตรฐานของ Peeraphatchara et al (2012) และปรับสัดส่วนสารก่อเจลที่ใช้เป็นสัดส่วนของคาราจีแนนและผงบุก 4 ระดับ คือ ร้อยละ 0:0.3 0.1:0.2 0.2:0.1 และ 0.3:0 น้ำหนักต่อน้ำหนัก และนำต้นแบบผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของกลุ่มผู้บริโภคที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 30 คน โดย วางแผนการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design; RCBD) ด้วยวิธี 9-point Hedonic scale โดยใช้สูตรควบคุม คือ สูตรที่ไม่เติมคาราจีแนนและผงบุก ร่วมการวิเคราะห์ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสีตามระบบ CIE (L^*, a^*, b^*) และวิเคราะห์ลักษณะของเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) ยี่ห้อ Brookfield รุ่น CTX ประกอบด้วย Load Cell ขนาด 10 N ใช้หัวกดชนิด Spherical stainless steel ball-end probes ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ค่าความเร็วขณะทดสอบเท่ากับ 5 มิลลิเมตรต่อวินาที กำหนดระยะทางกดตัวอย่าง ร้อยละ 75 ของความสูงของตัวอย่างทั้งหมด (12.75 มิลลิเมตร) และรายงานผลจาก Texture Profile Analysis (TPA) ของผลิตภัณฑ์ (ดัดแปลงวิธีการจาก วราศรี แสงกระจ่าง และคณะ, 2563)

6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การทดลองทั้งหมดวางแผนการทดลองและดำเนินการวิเคราะห์แบบทำซ้ำ 3 ซ้ำ โดยรายงานผลในรูปค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± standard deviation) จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่าง

ชุดการทดลอง และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 17

ผลการวิจัย

1. คุณลักษณะทางเคมีและทางกายภาพของเนื้อผลโกโก้

จากการศึกษาคุณลักษณะทางเคมีและทางกายภาพของเนื้อผลโกโก้ในตารางที่ 1 พบว่า เนื้อผลโกโก้สดมีปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้เท่ากับ 7.00 ± 0.00 °Brix และมีค่า pH เท่ากับ 4.78 ± 0.00 แสดงถึงลักษณะของวัตถุดิบที่มีรสหวานร่วมกับความเป็นกรด นอกจากนี้ พบปริมาณกรดทั้งหมดร้อยละ 6.5 ± 0.8 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด 11.2 ± 0.6 กรัมต่อ 100 กรัม และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 8.5 ± 0.7 กรัมต่อ 100 กรัม แสดงให้เห็นว่าเนื้อผลโกโก้มีองค์ประกอบของน้ำตาลธรรมชาติค่อนข้างสูง และมีความเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร

สำหรับค่าสี พบว่า เนื้อผลโกโก้สดมีค่า *L** เท่ากับ 56.96 ± 0.52 ค่า *a** เท่ากับ 2.97 ± 0.04 และค่า *b** เท่ากับ 12.16 ± 0.24 แสดงให้เห็นว่า เนื้อผลโกโก้มีลักษณะสีค่อนข้างสว่าง และมีโทนสีเหลืองมากกว่าสีแดง ผลการศึกษาดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า เนื้อผลโกโก้มีคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพที่น่าสนใจ และมีศักยภาพในการใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารต่อไป

ตารางที่ 1 คุณลักษณะทางเคมีและทางกายภาพของเนื้อผลโกโก้

คุณลักษณะทางเคมีและทางกายภาพ	เนื้อผลโกโก้สด
ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ (°Brix)	7.00±0.00
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	4.78±0.00
ปริมาณกรดกรดซิตริกทั้งหมด (ร้อยละ)	6.5±0.8
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (กรัม/100กรัม)	11.2±0.6
ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (กรัม/ 100 กรัม)	8.5±0.7
ค่าสี	
*L**	56.96±0.52
*a**	2.97±0.04
*b**	12.16±0.24

2. องค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการเบื้องต้นของเนื้อผลโกโก้

2.1 องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นของเนื้อผลโกโก้

ผลการศึกษาในตารางที่ 2 พบว่า เนื้อผลโกโก้สดมีความชื้นสูง โดยมีค่าความชื้นเท่ากับ 83.76 ± 0.02 กรัมต่อ 100 กรัม ขณะที่มีเถ้า 0.84 ± 0.01 กรัมต่อ 100 กรัม และโปรตีน 0.52 ± 0.04 กรัมต่อ 100 กรัม และพบว่าเนื้อผลโกโก้เป็นวัตถุดิบที่ไม่มีองค์ประกอบของไขมัน แต่อย่างไรก็ตาม เนื้อผลโกโก้ มีใยอาหารหยาบทั้งหมด 7.94 ± 0.01 กรัมต่อ 100 กรัม ซึ่งส่วนใหญ่เป็นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ (7.55 ± 0.02 กรัมต่อ 100 กรัม) มากกว่าใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (0.39 ± 0.02 กรัมต่อ 100 กรัม) และมีคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด 14.88 ± 0.04 กรัมต่อ 100 กรัม ให้พลังงานรวม 61.59 ± 0.10 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า เนื้อผลโกโก้เป็นวัตถุดิบที่มีความชื้นสูง มีคาร์โบไฮเดรตและ

ใยอาหารเป็นองค์ประกอบสำคัญ โดยเฉพาะใยอาหารที่ละลายน้ำได้ ซึ่งอาจเป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้พัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารได้ต่อไปในอนาคต

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นของเนื้อผลโกโก้

องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้น (หน่วย/100 กรัม)	เนื้อผลโกโก้สด
ความชื้น (กรัม)	83.76±0.02
เถ้า (กรัม)	0.84±0.01
โปรตีน (กรัม)	0.52±0.04
ไขมันหยาบทั้งหมด (กรัม)	0.00±0.00
ใยอาหารหยาบทั้งหมด (กรัม)	7.94±0.01
ใยอาหารที่ละลายน้ำ (กรัม)	7.55±0.02
ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (กรัม)	0.39±0.02
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (กรัม)	14.88±0.04
พลังงานทั้งหมด (กิโลแคลอรี)	61.59±0.10

ตารางที่ 3 ปริมาณวิตามินและแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของเนื้อผลโกโก้

ปริมาณวิตามินและแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบ (หน่วย/100 กรัม)	เนื้อผลโกโก้สด
วิตามิน	
วิตามินเอ (ไมโครกรัม เรตินอลอีควิวาเลนต์)	ไม่พบ
วิตามินบี 1 (มิลลิกรัม)	0.17±0.02
วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม)	0.04±0.01
วิตามินบี 6 (มิลลิกรัม)	0.03±0.00
วิตามินบี 12 (มิลลิกรัม)	ไม่พบ
วิตามิน ซี (มิลลิกรัม)	ไม่พบ
วิตามินอี (มิลลิกรัม)	0.24±0.01
แร่ธาตุ	
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	5.42±0.02
ธาตุเหล็ก (มิลลิกรัม)	<0.10±0.00
โซเดียม (มิลลิกรัม)	<1.63±0.00
สังกะสี (มิลลิกรัม)	0.17±0.10
แมกนีเซียม (มิลลิกรัม)	14.28±0.02
แมงกานีส (มิลลิกรัม)	0.22±0.08
ซีรีเนียม (ไมโครกรัม)	0.70±0.01
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	18.26±0.02
โพแทสเซียม (มิลลิกรัม)	246.88±0.24

2.2 ปริมาณวิตามินและแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของเนื้อผลโกโก้

จากตารางที่ 3 พบว่า เนื้อผลโกโก้สดมีวิตามินบางชนิดในปริมาณเล็กน้อย โดยตรวจพบ

วิตามินบี 1 เท่ากับ 0.17 ± 0.02 มิลลิกรัม วิตามินบี 2 เท่ากับ 0.04 ± 0.01 มิลลิกรัม วิตามินบี 6 เท่ากับ 0.03 ± 0.00 มิลลิกรัม และวิตามินอีเท่ากับ 0.24 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ขณะที่ไม่พบวิตามินเอ วิตามินบี 12 และวิตามินซี นอกจากนี้ พบว่า เนื้อผลโกโก้มีแร่ธาตุหลายชนิด โดยมีโพแทสเซียมสูงที่สุด เท่ากับ 246.88 ± 0.24 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม รองลงมา คือ ฟอสฟอรัส 18.26 ± 0.02 มิลลิกรัม แมกนีเซียม 14.28 ± 0.02 มิลลิกรัม และแคลเซียม 5.42 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ส่วนธาตุเหล็กและโซเดียมพบในปริมาณต่ำมาก ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า เนื้อผลโกโก้มีแร่ธาตุที่สำคัญบางชนิด โดยเฉพาะโพแทสเซียม ซึ่งอาจมีส่วนช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบชนิดนี้ได้

3. สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของเนื้อผลโกโก้

จากตารางที่ 4 พบว่า เนื้อผลโกโก้สดมีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 75.14 ± 0.00 mg GAE/g sample และมีสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดเท่ากับ 260.29 ± 0.91 mg quercetin/g sample นอกจากนี้ยังแสดงฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ โดยมีค่า DPPH IC_{50} เท่ากับ 1.30 ± 0.00 mg/g ค่า ABTS เท่ากับ 0.84 ± 0.01 mM/g และค่า FRAP เท่ากับ 1.38 ± 0.00 mM Fe^{2+}/g ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า เนื้อผลโกโก้มีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งสะท้อนถึงศักยภาพในการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารมูลค่าเพิ่มต่อไป

ตารางที่ 4 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของเนื้อผลโกโก้

ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (หน่วย)	เนื้อผลโกโก้สด
สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/g $sample_{wet\ basis}$)	75.14±0.00
สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (mg quercetin/g $sample_{wet\ basis}$)	260.29±0.91
DPPH IC_{50} ($mg/g_{wet\ basis}$)	1.30±0.00
ABTS ($mM/g_{wet\ basis}$)	0.84±0.01
FRAP (mM $Fe^{2+}/g_{wet\ basis}$)	1.38±0.00

4. การประยุกต์ใช้เนื้อผลโกโก้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่อ่อน

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี คุณค่าทางโภชนาการ วิตามิน แร่ธาตุ ตลอดจนสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของเนื้อผลโกโก้ พบว่า เนื้อผลโกโก้มีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร จึงได้นำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่อ่อน โดยศึกษาสัดส่วนของคาราจีแนนและผงบุก มีผลต่อคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เยลลี่เนื้อผลโกโก้ 4 ระดับ คือ ร้อยละ 0:0.3 0.1:0.2 0.2:0.1 และ 0.3:0 น้ำหนักต่อน้ำหนัก พบว่า สัดส่วนของคาราจีแนนและผงบุก มีผลต่อคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏ และความชอบโดยรวม ส่วนคะแนนการยอมรับด้านสีและกลิ่นของทุกสูตรไม่แตกต่างกัน ทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แสดงให้เห็นว่า การสัดส่วนของสารก่อเจลไม่มีผลชัดเจนต่อการรับรู้ด้านสีและกลิ่นของผลิตภัณฑ์

อย่างไรก็ตาม คะแนนด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏ และความชอบโดยรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยสูตรที่ใช้คาราจีแนนและผงบุกในอัตราส่วน 0.2:0.1 ให้คะแนน

ความชอบโดยรวมสูงสุดเท่ากับ 7.90 ± 0.15 และไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม แต่สูงกว่าสูตรอื่น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งยังให้คะแนนด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และลักษณะปรากฏอยู่ในระดับสูงเช่นกัน ขณะที่สูตร 0:0.3 และ 0.1:0.2 ได้คะแนนความชอบโดยรวมต่ำกว่า โดยเฉพาะสูตร 0:0.3 ซึ่งมีคะแนนต่ำสุดเท่ากับ 6.13 ± 0.27 ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่า การใช้คาราจีแนนร่วมกับผงบุกในอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยเฉพาะที่ระดับ 0.2:0.1 สามารถช่วยปรับปรุงคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสและเพิ่มการยอมรับของผลิตภัณฑ์เยลลี่เนื้อผลโกโก้ได้

ตารางที่ 5 ผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสของเยลลี่อ่อนเนื้อผลโกโก้ที่มีปริมาณสารก่อเจลแตกต่างกัน

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส	สัดส่วนของ คาราจีแนน:บุก (w/w)				
	Control	0:0.3	0.1:0.2	0.2:0.1	0.3:0
สี^{ns}	7.56±0.24	7.40±0.15	7.36±0.20	7.53±0.20	7.53±0.19
กลิ่น^{ns}	7.23±0.12	7.30±0.10	7.06±0.24	7.16±0.24	7.23±0.21
รสชาติ	7.16±0.15^{a}	6.53±0.24^{b}	6.90±0.26^{b}	7.53±0.24^{a}	7.20±0.18^{a}
เนื้อสัมผัส	7.83±0.19^{a}	6.76±0.23^{b}	6.76±0.23^{b}	7.93±0.17^{a}	7.26±0.21^{a}
ลักษณะปรากฏ	7.63±0.16^{a}	6.83±0.29^{c}	6.53±0.26^{c}	7.83±0.17^{a}	7.36±0.17^{a}
ความชอบโดยรวม	7.53±0.15^{a}	6.13±0.27^{c}	7.10±0.18^{b}	7.90±0.15^{a}	7.23±0.12^{b}

หมายเหตุ ตัวอักษร $^{a-b}$ ที่ต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

และเมื่อพิจารณาคุณภาพการเปลี่ยนแปลงค่าสี (*L*, a*, b**) ของผลิตภัณฑ์เยลลี่อ่อนเนื้อผลโกโก้ที่มีปริมาณคาราจีแนนแตกต่างกัน พบว่า ค่าสีของผลิตภัณฑ์เยลลี่อ่อนแต่ละสูตรมีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงผลไว้ในตารางที่ 6 โดยชุดตัวอย่างควบคุมมีค่า *L** สูงที่สุด แสดงถึง ความสว่างมากกว่าสูตรที่เติมเนื้อผลโกโก้ ขณะที่สูตรที่เติมเนื้อผลโกโก้มีค่า *L** ลดลง แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์มีสีเข้มขึ้น นอกจากนี้ ค่า *a** ของตัวอย่างควบคุมมีค่าเป็นลบ แต่สูตรที่เติมเนื้อผลโกโก้มีค่า *a** เป็นบวก แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของสีแดงที่เพิ่มขึ้น ส่วนแนวโน้มของค่า *b** สูงกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างชัดเจน บ่งชี้ถึงโทนสีเหลืองที่เด่นขึ้น ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การเติมเนื้อผลโกโก้มีผลต่อคุณลักษณะสีของผลิตภัณฑ์เยลลี่อ่อนอย่างชัดเจน ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มขึ้นและมีโทนสีเหลืองแดงตามลักษณะธรรมชาติของวัตถุดิบ

ตารางที่ 6 ค่าสี *L* a** และ *b** ของเยลลี่อ่อนเนื้อผลโกโก้ที่มีปริมาณสารก่อเจลแตกต่างกัน

ค่าสี	สัดส่วนของ คาราจีแนน:บุก (w/w)				
	Control	0:0.3	0.1:0.2	0.2:0.1	3:0
*L**	84.73±0.02^{a}	78.09±0.00^{b}	69.98±0.02^{c}	66.30±0.05^{e}	67.03±0.12^{d}
*a**	-0.54±0.00^{e}	1.49±0.00^{c}	2.47±0.01^{d}	2.09±0.01^{b}	3.21±0.01^{a}
*b**	2.44±0.00^{e}	21.66±0.02^{b}	20.26±0.02^{d}	21.41±0.02^{c}	22.16±0.05^{a}

หมายเหตุ ตัวอักษร $^{a-e}$ ที่ต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 7 คุณภาพของเนื้อสัมผัสของเยลลี่อ่อนเนื้อผลโกโก้ที่มีปริมาณสารก่อเจลแตกต่างกัน

คุณภาพของเนื้อสัมผัส	สัดส่วนของ คาราจีแนน:บุก (w/w)				
	Control	0:0.3	0.1: 0.2	0.2 : 0.1	0.3:0
Hardness (N)	10.62±10.32^{c}	2.37±0.18^{d}	2.50±0.18^{d}	34.50±0.50^{b}	42.25±2.68^{a}
Adhesiveness	0.01±0.01^{ab}	0.00±0.00^{b}	0.03±0.01^{ab}	0.02±0.01^{ab}	0.05±0.01^{a}
Cohesiveness (mm)	0.77±0.02^{d}	0.00±0.00 ^{d}	0.00±0.00 ^{d}	0.58±0.00^{b}	0.29±0.01^{c}
Springiness (N)	2.14±0.15^{b}	2.80±0.24^{ab}	2.29±0.46^{ab}	3.36±0.03^{a}	2.84±0.16^{ab}
Gumminess (Nmm)	8.37±0.41^{c}	0.00±0.00^{d}	0.00±0.00^{d}	20.00±0.26^{a}	12.25±0.64^{b}
Chewiness (Nmm)	0.18±0.02^{c}	0.00±0.00^{d}	0.00±0.00^{d}	0.66±0.04^{a}	0.33±0.04^{b}

หมายเหตุ ตัวอักษร $^{a-d}$ ที่ต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของเยลลี่อ่อนเนื้อผลโกโก้ (ตารางที่ 7) พบว่า สัดส่วนของคาราจีแนนและผงบุก มีผลต่อคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของเยลลี่อ่อนเนื้อผลโกโก้ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยสูตรที่ใช้คาราจีแนนเพียงอย่างเดียวที่ระดับ 0.3:0 ให้ค่า hardness สูงที่สุด (42.25 ± 2.68) รองลงมา คือ สูตร 0.2:0.1 (34.50 ± 0.50) ขณะที่สูตร 0:0.3 และ 0.1:0.2 มีค่าความแข็งต่ำที่สุด แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มสัดส่วนคาราจีแนนช่วยให้โครงสร้างเจลมีความแน่นและแข็งมากขึ้น ในด้าน adhesiveness พบว่าสูตร 0.3:0 มีค่าสูงที่สุด (0.05 ± 0.01) สะท้อนถึงการยึดติดของผลิตภัณฑ์ที่มากกว่าเมื่อเทียบกับสูตรอื่น ส่วนค่า cohesiveness พบว่าสูตรควบคุมมีค่าสูงที่สุด (0.77 ± 0.02) รองลงมา คือ สูตร 0.2:0.1 (0.58 ± 0.00) ขณะที่สูตร 0:0.3 และ 0.1:0.2 ไม่พบค่าความเหนียวแน่นภายในของโครงสร้างเจล สำหรับค่า springiness, gumminess และ chewiness พบว่าสูตร 0.2:0.1 ให้ค่าสูงที่สุด เท่ากับ 3.36 ± 0.03, 20.00 ± 0.26 และ 0.66 ± 0.04 ตามลำดับ แสดงถึงลักษณะเนื้อสัมผัสที่มีความยืดหยุ่น หนึบ และเคี้ยวได้มากกว่าสูตรอื่น ขณะที่สูตร 0:0.3 และ 0.1:0.2 ให้ค่า gumminess และ chewiness เท่ากับศูนย์ สะท้อนว่าโครงสร้างเจลที่เกิดขึ้นยังไม่แข็งแรงเพียงพอ ดังนั้น ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่า การใช้คาราจีแนนร่วมกับผงบุกในอัตราส่วน 0.2:0.1 ให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่สมดุลและเหมาะสมต่อการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เยลลี่อ่อนจากเนื้อผลโกโก้ได้

สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้พบว่า เนื้อผลโกโก้เป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพสำหรับการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารมูลค่าเพิ่ม เนื่องจากมีความชื้นสูง คาร์โบไฮเดรตและน้ำตาลธรรมชาติเป็นองค์ประกอบสำคัญ มีใยอาหาร โดยเฉพาะใยอาหารที่ละลายน้ำได้ อีกทั้งยังตรวจพบวิตามินบางชนิดและแร่ธาตุที่สำคัญ โดยเฉพาะโพแทสเซียมในปริมาณค่อนข้างสูง เมื่อพิจารณาร่วมกับผลการตรวจพบสารประกอบฟีนอลิก สารประกอบฟลาโวนอยด์ และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจากวิธี DPPH, ABTS และ FRAP จึงสะท้อนว่าเนื้อผลโกโก้ไม่ได้เป็นเพียงส่วนพลอยได้จากกระบวนการผลิตโกโก้ แต่เป็นวัตถุดิบที่มีทั้งคุณค่าทางโภชนาการและสมบัติเชิงหน้าที่ ซึ่งเหมาะต่อการนำมาใช้ประโยชน์ทางอาหารต่อไป ผลดังกล่าวสอดคล้องกับรายงานที่ระบุว่า cocoa pulp หรือ cocoa mucilage มีน้ำตาล กรดอินทรีย์ และสารชีวโมเลกุลที่เอื้อต่อการประยุกต์ใช้ในอาหารและเครื่องดื่ม รวมถึงมีศักยภาพต่อการเพิ่มมูลค่าในห่วงโซ่การผลิตโกโก้ (Bickel Haase et al., 2021; Soares and Oliveira, 2022; Llerena et al., 2023)

และจากการนำเนื้อผลโกโก้พัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบเป็นขนมเยลลี่อ่อน เมื่อพิจารณาผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส แสดงให้เห็นว่าสัดส่วนของคาราจีแนนและผงบุก มีผลต่อคุณภาพของเยลลี่อ่อนจากเนื้อผลโกโก้อย่างชัดเจน โดยเฉพาะด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏ และความชอบโดยรวม ขณะที่ด้านสีและกลิ่นไม่แตกต่างกันทางสถิติในทุกสูตร ผลการศึกษาพบว่า สูตรคาราจีแนน:บุก เท่ากับ 0.2:0.1 ให้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด และมีคะแนนด้านเนื้อสัมผัสและลักษณะปรากฏอยู่ในระดับดี แสดงให้เห็นว่า สัดส่วนดังกล่าวสามารถสร้างความสมดุลของโครงสร้างเจลและความรู้สึกขณะบริโภคได้เหมาะสมกว่าสูตรอื่น ทั้งในด้านความยืดหยุ่น ความหนืบ และลักษณะปรากฏ ซึ่งส่งผลเชิงบวกต่อการรับรู้ของผู้บริโภค แม้สูตรควบคุมจะมีค่าบางด้านอยู่ในระดับดี แต่ยังไม่ให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่เหมาะสมเท่ากับสูตรผสมคาราจีแนนและผงบุกที่ระดับ 0.2:0.1 หลักการนี้สอดคล้องกับแนวคิดของอาหารกลุ่มเยลลี่ที่โครงข่ายพอลิแซ็กคาไรด์เป็นตัวกำหนดคุณลักษณะเชิงประสาทสัมผัสอย่างมาก และการปรับชนิดหรืออัตราส่วนของสารก่อเจลสามารถเปลี่ยนการรับรู้ของผู้บริโภคได้อย่างมีนัยสำคัญ (Hu et al., 2024) อีกทั้งสอดคล้องกับงานที่รายงานว่าการใช้ **K**-carrageenan ร่วมกับ konjac สามารถปรับปรุงคุณลักษณะด้านความแข็ง ความยืดหยุ่น และการยอมรับของผลิตภัณฑ์เจลหรือขนมเยลลี่ได้ เมื่อมีการเลือกสัดส่วนที่เหมาะสม (Utomo et al., 2014; Akesowan, 2015)

นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์ค่าสีและคุณลักษณะเนื้อสัมผัส ช่วยอธิบายผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสได้ชัดเจนยิ่งขึ้น กล่าวคือ การเติมเนื้อผลโกโก้ทำให้ค่า L^* ลดลง ขณะที่ค่า a^* และ b^* เพิ่มขึ้น สะท้อนว่า ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มขึ้นและมีโทนเหลืองแดงเด่นขึ้นตามธรรมชาติของวัตถุดิบ ซึ่งเป็นลักษณะที่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างชัดเจน ขณะเดียวกัน ผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสพบว่า สูตร 0.3:0 ให้ค่าความแข็งสูงที่สุด แต่สูตร 0.2:0.1 ให้ค่า springiness, gumminess และ chewiness สูง และได้รับคะแนนความชอบโดยรวมดีที่สุด แสดงให้เห็นว่า สูตรที่เหมาะสมสำหรับเยลลี่อ่อนไม่ใช่สูตรที่มีความแข็งมากที่สุด แต่เป็นสูตรที่ให้สมดุลระหว่างความแน่นของเจล ความยืดหยุ่น และความรู้สึกหนืบเคี้ยวได้ในระดับที่เหมาะสมต่อการบริโภค ข้อค้นพบนี้สอดคล้องกับองค์ความรู้ด้านระบบเจลผสมที่ระบุว่า **K**-carrageenan และ konjac glucomannan สามารถเกิดปฏิสัมพันธ์ร่วมกันและส่งผลต่อโครงสร้างเครือข่ายเจล สมบัติเชิงกล และความคงตัวของเนื้อสัมผัสได้อย่างมีนัยสำคัญ (Williams et al., 1993; Akesowan, 2015)

จากการศึกษานี้จึงสามารถสรุปได้ว่า เนื้อผลโกโก้มีศักยภาพในการใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารต้นแบบ โดยเฉพาะเยลลี่อ่อน ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าส่วนของผลโกโก้ที่ยังถูกใช้ประโยชน์ไม่เต็มที่ได้อย่างเป็นรูปธรรม ภายใต้เงื่อนไขของการศึกษานี้ สูตรที่เหมาะสมที่สุด คือ สูตรที่ใช้คาราจีแนนและผงบุกในอัตราส่วน 0.2:0.1 เนื่องจากให้ความสมดุลที่ดีทั้งในด้านการยอมรับทางประสาทสัมผัส คุณลักษณะสี และสมบัติด้านเนื้อสัมผัส (Soares and Oliveira, 2022; Hu et al., 2024)

ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยเบื้องต้น สามารถนำไปต่อยอดสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์ในระดับอุตสาหกรรม และควรมีการศึกษาขยายการวิเคราะห์ไปสู่ค่าความแตกต่างสีรวม (total color difference, **Δ**E) และคุณภาพด้านอื่นเพิ่มเติมเพื่อสนับสนุนการประเมินผลิตภัณฑ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมทั้งความคงตัวของสารสำคัญระหว่างการเก็บรักษา อายุการเก็บ คุณภาพทางจุลินทรีย์ และความคงตัวของโครงสร้างเจลเพิ่มเติมในอนาคต เพื่อสนับสนุนการใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ได้อย่างครบถ้วนยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

วราศรี แสงกระจ่าง, ปิยนุช ถนนทิพย์, จุรีภรณ์ นวนมุสิก, และ กิติยา สุเหม. (2563). ผลของสารไฮโดรคอลลอยด์ต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เยลลี่ทุเรียน. วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 15(2), 141-155.

AOAC. (2012). Official methods of analysis of AOAC International. Official Methods of Analysis of AOAC International, 19th ed., Gaithersburg, MD: AOAC International.

Akesowan, A. (2015). Optimization of textural properties of konjac gels formed with **K**-carrageenan or xanthan and xylitol as ingredients in jelly drink processing. Journal of Food Processing and Preservation, 39(6), 1735-1743.

Baliyan, S., Mukherjee, R., Priyadarshini, A., Vibhuti, A., Gupta, A., Pandey, R. P., & Chang, C. M. (2022). Determination of antioxidants by DPPH radical scavenging activity and quantitative phytochemical analysis of Ficus religiosa. Molecules, 27(4), 1326.

Benzie, I. F. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: The FRAP assay. Analytical Biochemistry, 239(1), 70-76.

Bickel H., T., Schweigert-Weisz, U., Ortner, E., Zorn, H., and Naumann, S. (2021). Aroma properties of cocoa fruit pulp from different origins. Molecules, 26(24), 7618.

Bickel Haase, T., Naumann-Gola, S., et al. (2023). Thermal stabilisation of cocoa fruit pulp: Effects on sensory properties, colour and microbiological stability. Current Research in Food Science, 7, 100580.

Brenner, T., Tuvikene, R., Parker, A., & Matsukawa, S. (2014). Rheology and synergy of **K**-carrageenan/locust bean gum/konjac glucomannan mixed gels. Carbohydrate Polymers, 99, 270-279.

Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Analytical Chemistry, 28(3), 350-356.

Hu, A., Liu, Y., and Wu, S. (2024). A review on polysaccharide-based jelly: Gel food. Food Chemistry X, 24, 101562.

Kähkönen, M. P., Hopia, A. I., Vuorela, H. J., Rauha, J. P., Pihlaja, K., Kujala, T. S., & Heinonen, M. (1999). Antioxidant activity of plant extracts containing phenolic compounds. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 47(10), 3954-3962.

Klis, V., Schmutzer, G. R., Schmid, E., and others. (2023). Fermentation of cocoa (Theobroma cacao L.) pulp by Laetiporus persicinus yields a novel beverage with tropical aroma. Fermentation, 9(6), 533.

Kulczyński, B., Gramza-Michałowska, A., & Kobus-Cisowska, J. (2020). Optimization of Extraction Conditions for the Antioxidant Potential of Different Pumpkin Varieties (Cucurbita maxima). Sustainability, 12(4), 1305.

Llerena, W., Samaniego, I., Vallejo, C., Arreaga, A., Zhunio, B., Coronel, Z., Quiroz, J., Angós, I., and Carrillo, W. (2023). Profile of bioactive components of cocoa (Theobroma cacao L.) by-products from Ecuador and evaluation of their antioxidant activity. Foods, 12(13), 2583.

Lim, S.-B., Lee, J., Yang, Y.-H., Son, H., Yoo, H. Y., and Han, J.-A. (2024). Development of a novel functional jelly with dieckol-rich extract from Eisenia bicyclis: Physicochemical, antioxidant, and sensory characterization. Food Chemistry X, 24, 102044.

Martínez, R., Torres, P., Meneses, M. A., Figueroa, J. G., Pérez-Álvarez, J. A., and Viuda-Martos, M. (2012). Chemical, technological and in vitro antioxidant properties of cocoa (Theobroma cacao L.) co-products. Food Research International, 49(1), 39-45.

Miller, G. L. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. Analytical Chemistry, 31(3), 426-428.

Nunes, C. S. O., da Silva, M. L. C., Camilloto, G. P., Machado, B. A. S., Hodel, K. V. S., Koblitz, M. G. B., Carvalho, G. B. M., and Uetanabaro, A. P. T. (2020). Potential applicability of cocoa pulp (Theobroma cacao L.) as an adjunct for beer production. The Scientific World Journal, 2020, 3192585.

Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. Free Radical Biology and Medicine, 26(9-10), 1231-1237.

Shimada, K., Fujikawa, K., Yahara, K., & Nakamura, T. (1992). Antioxidative properties of xanthan on the autoxidation of soybean oil in cyclodextrin emulsion. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 40(6), 945-948.

Soares, T. F., and Oliveira, M. B. P. P. (2022). Cocoa by-products: Characterization of bioactive compounds and beneficial health effects. Molecules, 27(5), 1625.

Utomo, B. S. B., Darmawan, M., Hakim, A. R., & Ardi, D. T. (2014). Physicochemical properties and sensory evaluation of jelly candy made from different ratio of **K**-carrageenan and konjac. Squalen Bulletin of Marine and Fisheries Postharvest and Biotechnology, 9(1), 25-34.

Williams, P. A., Clegg, S. M., Langdon, M. J., Nishinari, K., & Phillips, G. O. (1993). Investigation of the gelation mechanism in **K**-carrageenan/konjac mannan mixtures using differential scanning calorimetry and electron spin resonance spectroscopy. Macromolecules, 26(20), 5441-5446.