

การพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตด้วยสารสกัดหยาบจากเปลือกแก้วมังกร พันธุ์เนื้อแดงเปลือกแดงที่ผ่านการทำแห้งแบบโฟมแมท

Product Development of Yoghurt with Foam – mat Drying of Red Dragon Fruit (*Hylocereus polyrhizus*) Peel Extract

ศรณยา จังโส^{1*}, นวพร ลากส่งผล², รุ่งไพลิน สุขอร่าม², ไอรดา ล้อมทอง²

Saranya Changso^{1*}, Nawaporn Lapsongphon², Rungphailin Sookaram², Irada Lomthong²

¹สาขาวิชาการจัดการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

¹Division of Food Management, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University

²สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

²Division of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology,

Rajamangala University of Technology Thanyaburi

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการทดแทนเจลาตินด้วยสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงเปลือกแดงที่ผ่านการทำแห้งแบบโฟมแมทโดยใช้ไซขาว (CE-EW) และไซเดียมเคซีเนต (CE-SC) เป็นสารก่อโฟมต่อคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของโยเกิร์ต การทดลองในเบื้องต้นศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของ CE-EW และ CE-SC พบว่ามีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณแอนโทไซยานินอยู่ในช่วง 2.37-2.95 mg Gallic acid eq./g, 1.11-1.25 mg Trolox eq./g และ 1.49-2.95 mg/L ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของโยเกิร์ต 5 สูตร คือ สูตรควบคุม สูตรที่ทดแทนเจลาตินด้วย CE-EW ร้อยละ 50 และ 100 และสูตรที่ทดแทนเจลาตินด้วย CE-SC ร้อยละ 50 และ 100 พบว่าโยเกิร์ตที่ทดแทนเจลาตินด้วย CE-SC ทั้ง 2 ระดับส่งผลให้ค่าการแยกตัวของน้ำและความหนืดสูงกว่าโยเกิร์ตที่ทดแทนด้วย CE-EW และสูตรควบคุม โยเกิร์ตทุกสูตรมีปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมดในช่วง 12.33-13.00 องศาบริกซ์ ความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 3.76-3.82 ไขมันอยู่ในช่วงร้อยละ 1.70-1.72 โปรตีนร้อยละ 3.15 และแล็กโทอิม ร้อยละ 0.14 ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่า การทดแทนเจลาตินด้วย CE-SC ปริมาณร้อยละ 100 ได้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงสุด โดยโยเกิร์ตสูตรดังกล่าวมีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

คำสำคัญ: เปลือกแก้วมังกร โยเกิร์ต ไซขาว ไซเดียมเคซีเนต สารก่อโฟม

* Corresponding author : saranya@webmail.npru.ac.th

Abstract

This research aimed to investigate the effect of gelatin substituted by foam – mat drying of red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) peel extract using egg white (CE-EW) and sodium caseinate (CE-SC) as a foaming agent on physical, chemical, and sensory properties of yoghurt. The preliminary experiment was studied on chemical properties of CE-EW and CE-SC. It was found that the total phenolic content, antioxidant activity, and anthocyanin content were in the range of 2.37-2.95 mg Gallic acid eq./g, 1.11-1.25 mg Trolox eq./g, and 1.49-2.95 mg/L, respectively. The results from physical and chemical analysis of 5 yogurt formulas; control formula, gelatin substituted by CE-EW (50 and 100%), and gelatin substituted by CE-SC (50 and 100%) showed that the syneresis and viscosity of yoghurt with 2 level of gelatin substituted by CE-SC were higher than CE-EW and control formulas. All yogurt formulas had total soluble solids in the range of 12.33-13.00°Brix, pH in the range of 3.76-3.82, fat in the range of 1.70-1.72, 3.15% protein, and 0.14% ash with not significantly different. Sensory evaluation revealed that yoghurt with gelatin substituted by 100% of CE-SC had the highest score in appearance, color, odor, taste, texture, and overall liking. This yoghurt formula had significantly higher antioxidant activity as compared with the control formula.

Keywords: dragon fruit peel, yoghurt, egg white, sodium caseinate, foaming agent

1. บทนำ

แก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงเปลือกแดง (*Hylocereus polyrhizus*) เป็นพืชในวงศ์กระบองเพชร มีถิ่นกำเนิดทางตอนใต้ของประเทศเม็กซิโกและประเทศใกล้เคียง มีเนื้อสีแดงเข้มอมม่วงและเปลือกสีแดงอมชมพู (กฤติยา ไชยนอก, 2559) เปลือกแก้วมังกรมีน้ำหนักประมาณร้อยละ 22-33 ของน้ำหนักทั้งผล ซึ่งมักจะถูกทิ้งไปหลังการบริโภคเนื้อผล (Jamilah et al., 2011; Ferreres et al., 2017) มีรายงานว่าเปลือกแก้วมังกรมีองค์ประกอบของเพคติน กลูโคส มอลโทส ฟรุคโทส และอุดมไปด้วยใยอาหารทั้งชนิดไม่ละลายในน้ำและละลายได้ในน้ำ (Jamilah et al., 2011; Sengkhampan et al., 2013) อีกทั้งยังพบรงควัตถุกลุ่มเบตาเลนเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะเบตาไซยานินซึ่งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Wybraniec et al., 2001; Wybraniec & Mizrahi, 2002) พบในเปลือกมากกว่าในเนื้อแก้วมังกร (Wu et al., 2006) นอกจากนี้ ยังมีรายงานว่าในเปลือกแก้วมังกรพบแอนโทไซยานินและฟลาโวนอยด์ชนิดอื่น ๆ จึงทำให้เปลือกแก้วมังกรเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารต้านมะเร็ง ด้านการอักเสบ มีส่วนช่วยป้องกันโรคเรื้อรังเนื่องจากอวัยวะเสื่อมสภาพ (Prabowo et al., 2019) ช่วยลดปริมาณคอเลสเตอรอล ไตรกลีเซอไรด์ ไขมันชนิดไม่ดี (LDL) และ

เพิ่มปริมาณไขมันชนิดดี (HDL) (Hernawati et al., 2018) สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียก่อโรคที่พบในอาหารได้ (กมลลักษณ์ มาสำโรง และวรพจน์ สุนทรสุข, 2557)

โยเกิร์ตเป็นผลิตภัณฑ์นมที่ได้จากกระบวนการหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์ *Lactobacillus bulgaricus* และ *Streptococcus thermophiles* โดยจุลินทรีย์ดังกล่าวจะย่อยน้ำตาลแลคโตสในนมให้เป็นกรดแลคติก มีผลทำให้โปรตีนในนมคือเคซีนเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพตกตะกอนเป็นเคิร์ด (Curd) ขึ้น (Tamime & Robinson, 1999) มีลักษณะอ่อนนุ่ม เปราะบาง เหมือนคัสตาร์ดที่อยู่ตัว มีลักษณะเฉพาะของกลิ่นรสเปรี้ยวในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต (Liu, 1997) โยเกิร์ตมีประโยชน์หลายประการ เช่น ป้องกันอาการท้องอืด อาหารไม่ย่อยหรือท้องเดิน เมื่อดื่มนม บำรุงผิวพรรณ ลดความเสี่ยงจากการเกิดมะเร็งบริเวณเนื้อเยื่อกระดูก นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาและพัฒนาโยเกิร์ตอย่างต่อเนื่อง เช่น การศึกษาการพัฒนาการผลิตโยเกิร์ตกล้วยหอม เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการด้านคาร์โบไฮเดรตและวิตามิน (ปิยนุสรณ์ น้อยดวง และปัทมา คล้ายจันทร์, 2547) การศึกษาการผลิตโยเกิร์ตข้าวกล้องพันธุ์หอมนิล เพื่อทำให้เกิดกลิ่นรสที่เฉพาะและเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ (อำพรพรณ ชัยกุลเสรีวัฒน์, วิญญู ช่วยแก้ว และเนตรนภา สุกุลขัง, 2557)

สำหรับการอบแห้งแบบโฟมแมทเป็นกระบวนการที่ทำให้อาหารเหลวหรืออาหารที่มีลักษณะข้นเกิดเป็นโฟมที่มีความคงตัว จากนั้นนำไปเกลี่ยบนถาดแล้วนำไปทำแห้ง การอบแห้งชนิดนี้มีข้อดีหลายประการ คือ ใช้ระยะเวลาอบแห้งที่สั้นลง ลดการสูญเสียสารอาหาร และใช้ต้นทุนการผลิตไม่สูง (วรารักษ์ ประเสริฐ, 2556) จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำเปลือกแก้วมังกรซึ่งเป็นของเหลือทิ้งหลังการบริโภคมาแปรรูปเป็นสารสกัดผ่านกระบวนการทำแห้งโดยวิธีโฟมแมทเพื่อลดการสูญเสียสารอาหาร แล้วนำมาเสริมในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเพื่อเสริมสารพฤกษเคมีที่มีประโยชน์ในด้านการต้านอนุมูลอิสระและเป็นอีกทางเลือกหนึ่งให้กับผู้บริโภคที่รักสุขภาพได้

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตให้มีคุณสมบัติด้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นโดยใช้เปลือกแก้วมังกรซึ่งเป็นของเหลือทิ้งหลังการบริโภค
2. เพื่อศึกษาผลของการเสริมสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงเปลือกแดงต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของโยเกิร์ต

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมสารสกัดหยาบจากเปลือกแก้วมังกร

นำผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงเปลือกแดงมาล้างให้สะอาด ปอกเปลือก ขูดส่วนเนื้อสีแดงที่ติดเปลือกออกให้หมด นำเปลือกที่ได้มาตัดกลีบเลี้ยงและหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วนำไปปั่นโดยผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1:50 (w/v) จากนั้นกรองด้วยผ้าขาวบาง เก็บส่วนที่เป็นน้ำเปลือกแก้วมังกรไปทำแห้งด้วยวิธีการโฟมแมท โดยใช้สารก่อโฟม 2 ชนิด คือ ไข่ขาว (Egg White; EW) และโซเดียมเคซีเนต (Sodium Caseinate; SC) นำน้ำเปลือกแก้ว

มังกรที่เตรียมไว้ไปอุ่นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แล้วนำไปตีให้เกิดโฟมโดยการเติมไข่ขาวหรือโซเดียมเคซิเนต ร้อยละ 1 ตีส่วนผสมด้วยเครื่องผสมแบบมือถือความเร็วระดับ 1 เพื่อคนส่วนผสมให้เข้ากันก่อน จากนั้นเร่งความเร็วในการตีขึ้นจนถึงความเร็วสูงสุด (ระดับ 5) เป็นเวลา 5 นาที นำโฟมที่ได้เกลี่ยบนถาดแล้วนำไปอบแห้ง ด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงหรือจนผลิตภัณฑ์มีความชื้นสุดท้ายร้อยละ 10 หรือน้อยกว่าร้อยละ 10 จากนั้นนำสารสกัดหยาบ (Crude Extract; CE) ที่ได้ไปบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 18 mesh แล้วบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ที่ปิดสนิท

การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีของสารสกัดหยาบจากเปลือกแก้วมังกร

1. ค่าความชื้น (AOAC, 2000)
2. ปริมาณผลผลิตที่ได้ (Yield) คำนวณจากน้ำหนักของสารที่สกัดได้หลังการทำแห้ง เทียบกับน้ำหนักของวัตถุดิบเริ่มต้น ดังแสดงในสมการด้านล่าง

$$\text{ปริมาณผลผลิตที่ได้ (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักสารสกัดหลังการทำแห้ง}}{\text{น้ำหนักวัตถุดิบเริ่มต้น}} \times 100$$

3. ค่าสีในระบบ Cielab ด้วยเครื่องวัดสี Colorimeter รายงานผลเป็นค่า L* ซึ่งเป็นค่าแสดงความสว่าง (ค่า L* มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าวัตถุดิบมีสีดำ และค่า L* มีค่าเข้าใกล้ 100 แสดงว่าวัตถุดิบมีสีขาว) ค่า a* แสดงค่าความเป็นสีแดงและสีเขียว (ค่า a* เป็นบวกวัตถุดิบจะมีสีแดง และค่า a* เป็นลบวัตถุดิบจะมีสีเขียว) ค่า b* แสดงค่าความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน (ค่า b* เป็นบวกวัตถุดิบจะมีสีเหลือง และ b* เป็นลบวัตถุดิบจะมีสีน้ำเงิน)

4. การเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ โดยชั่งสารสกัดหยาบจากเปลือกแก้วมังกร 1 กรัม เติมน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที เก็บส่วนใสสำหรับวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS

5. ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu ดัดแปลงวิธีจาก Kähkönen et al. (1999) ดังนี้ ปิเปตสารสกัดตัวอย่าง 500 ไมโครลิตรใส่ในหลอดทดลอง เติมสารละลาย Folin-ciocalteu ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตร้อยละ 7.5 (w/v) ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร คำนวณปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดในหน่วย mg Gallic acid eq./g

6. ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS ดัดแปลงวิธีจาก Arnao, Cano & Acosta (2001) อนุมูล ABTS ถูกสร้างขึ้นด้วยปฏิกิริยาการออกซิเดชันด้วยการผสมสาร ABTS ที่ความเข้มข้น 7 มิลลิโมลาร์ กับ โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตที่ความเข้มข้นสุดท้าย 2.45 มิลลิโมลาร์ ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ (pH 7.4) เก็บไว้ที่มีดเป็นเวลา 12-16 ชั่วโมง ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS วิเคราะห์โดยเริ่มเจือจางสารละลายอนุมูลให้มีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร เท่ากับ 0.70 (± 0.02) ด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ (pH 7.4) ปริมาตร 1980 ไมโครลิตร ผสมกับตัวอย่างสารสกัดที่ความเข้มข้น 20 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันและเก็บไว้ที่มีดเป็นเวลา 5 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงความ

ยาวคลื่น 734 นาโนเมตร คำนวณความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS ของตัวอย่างในรูปความเข้มข้นของ Trolox (mg Trolox eq./g)

7. ปริมาณแอนโทไซยานินด้วยวิธีพีเอช-ดิฟเฟอเรนเชียล (pH-Differential method) ดัดแปลงจากวิธีของ Lee, Durst & Wrolstad (2005) โดยนำสารละลายของสารสกัดเปลือกแก้วมังกรมาเจือจางด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์บัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.025 โมลาร์ (pH 1.0) ในอัตราส่วน 1:100 และโซเดียมอะซิเตตบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ (pH 4.5) ในอัตราส่วน 1:100 ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร และ 700 นาโนเมตร แสดงผลเป็นค่ามิลลิกรัมของแอนโทไซยานินทั้งหมดต่อลิตรของสารละลาย การหาปริมาณแอนโทไซยานินด้วยวิธีพีเอชดิฟเฟอเรนเชียลดังสมการ

$$\text{ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (mg/L)} = \frac{A \times MW \times DF \times 1000}{\epsilon \times L}$$

เมื่อ A คือ ค่าการดูดกลืนแสง = $(A_{520} - A_{700})_{\text{pH } 1.0} - (A_{520} - A_{700})_{\text{pH } 4.5}$

MW = มวลโมเลกุลของไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ (499.2 กรัมต่อโมล), มวลโมเลกุลของเพลาโรนิน-3-กลูโคไซด์ (306.7 กรัมต่อโมล)

DF = dilution factor ของตัวอย่าง

ϵ = โมลาร์แอบซอร์บิตีวี่ (ค่าของไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ 26,900 ลิตรต่อโมลต่อเซนติเมตร และเพลาโรนิน-3-กลูโคไซด์มีค่า 31,100 ลิตรต่อโมลต่อเซนติเมตร)

L = ขนาดความกว้างของคิวเวต (เซนติเมตร) ที่ใช้วัดค่าดูดกลืนแสง

การเตรียมโยเกิร์ต

ส่วนผสมและวิธีการทำโยเกิร์ตดัดแปลงจากปิยนุสรณ์ น้อยดวง และปัทมา คล้ายจันทร์ (2547) โดยนำนมสดมาอุ่นให้ร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที เติมน้ำตาลทรายและเจลาติน ปั่นผสมที่ความเร็วต่ำนาน 2 วินาที จำนวน 2 ครั้งก่อนให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที และลดอุณหภูมิของนํ้านมลงให้ได้ประมาณ 45 องศาเซลเซียส จากนั้นเติมกล้าเชื้อโยเกิร์ตทางการค้า กวนผสมให้เข้ากัน แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมงหรือจนได้ค่า pH เท่ากับ 3.7–4.2 โดยสุ่มตัวอย่างมาวัดค่า pH ทุกๆ 1 ชั่วโมง

สำหรับโยเกิร์ตที่เสริมสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกร โดยศึกษาผลของการทดแทนเจลาติน (Gelatin; Ge) ด้วยสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงเปลือกแดงที่ผ่านการทำให้แห้งแบบโฟมเมทโดยใช้ไข่ขาวเป็นสารก่อโฟม (CE-EW) ปริมาณร้อยละ 50 และ 100 และทดแทนเจลาตินด้วยสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงเปลือกแดงที่ผ่านการทำให้แห้งแบบโฟมเมทโดยใช้โซเดียมเคซีนเตเป็นสารก่อโฟม (CE-SC) ปริมาณร้อยละ 50 และ 100 ส่วนผสมของโยเกิร์ตทั้ง 5 สูตรที่ใช้ในการทดลองแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของโยเกิร์ตทั้ง 5 สูตรที่ใช้ในการทดลอง

ส่วนผสม (ร้อยละ)	สิ่งทดลอง Ge: CE-EW: CE-SC				
	100: 0: 0 (สูตรควบคุม)	50: 50: 0	0: 100: 0	50: 0: 50	0: 0: 100
นมสด	84	84	84	84	84
น้ำตาลทราย	5	5	5	5	5
โยเกิร์ตทางการค้า	10	10	10	10	10
GE	1	0.5	-	0.5	-
CE-EW	-	0.5	1	-	-
CE-SC	-	-	-	0.5	1

การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของโยเกิร์ต

นำโยเกิร์ตมาวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

1. ค่าความหนืด โดยใช้เครื่อง Brookfield viscometer
2. ค่าการแยกตัวของน้ำ (Syneresis) ดัดแปลงวิธีจาก Puvanenthiran, Williams & Augustin (2002) โดยชั่งตัวอย่างโยเกิร์ตจำนวน 50 กรัม (W_2) นำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นชั่งน้ำหนักน้ำที่แยกตัวออกมาจากตัวอย่างโยเกิร์ต (W_1) คำนวณหาค่าการแยกตัวของน้ำตามสมการ

$$\text{การแยกตัวของน้ำ (ร้อยละ)} = (W_1 \times 100) / W_2$$

3. ปริมาณกรดแลคติกด้วยวิธี Titratable acidity
4. ค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้ pH meter
5. ปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมด โดยใช้ Hand refractometer
6. ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และเถ้า ตามวิธีการ AOAC (2000)
7. การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ด้วยแบบทดสอบ 9-Point Hedonic scale (1 = ไม่ชอบมากที่สุด 5 = ตอบไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ 9 = ชอบมากที่สุด) ใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน
8. เลือกโยเกิร์ตที่ทดแทนเจลาตินด้วยสารสกัดหยาบจากเปลือกแก้วมังกรสูตรที่ดีที่สุดมาวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS และปริมาณแอนโทไซยานิน เทียบกับสูตรควบคุม ตามวิธีการวิเคราะห์ข้างต้น

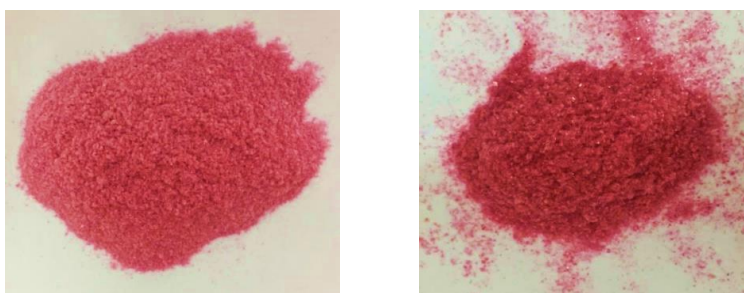
วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design; CRD) สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized completed block design; RCBD) ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4. ผลการวิจัย

คุณภาพทางกายภาพและเคมีของสารสกัดหยาบจากเปลือกแก้วมังกร

ลักษณะทางกายภาพของสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงเปลือกแดงที่ผ่านการทำให้แห้งแบบโฟมเมทโดยใช้ไซขาวเป็นสารก่อโฟม (CE-EW) และสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงเปลือกแดงที่ผ่านการทำให้แห้งแบบโฟมเมทโดยใช้โซเดียมเคซิเนตเป็นสารก่อโฟม (CE-SC) แสดงดังภาพที่ 1 พบว่า CE-EW มีสีอ่อนกว่า CE-SC โดยมีสีโทนชมพูแดง ในขณะที่ CE-SC มีสีโทนแดง ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ค่าสีที่พบว่า CE-EW มีค่าความสว่าง (L^*) มากกว่า CE-SC ส่วน CE-SC มีค่าความเป็นสีแดง (a^*) มากกว่า CE-EW ปริมาณผลผลิตที่ได้ (Yield) ของสารสกัดทั้งสองชนิดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 2)

ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดและการยับยั้งอนุมูลอิสระของ CE-EW และ CE-SC ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในขณะที่ปริมาณแอนโทไซยานินรวมที่พบใน CE-SC มีปริมาณมากกว่าที่พบใน CE-EW ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) (ตารางที่ 2)



ภาพที่ 1 สารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรที่ใช้ไซขาว (ซ้าย) และโซเดียมเคซิเนต (ขวา) เป็นสารก่อโฟม

ตารางที่ 2 คุณภาพทางกายภาพและเคมีของสารสกัดหยาบจากเปลือกแก้วมังกร

การวิเคราะห์	CE-EW	CE-SC
ความชื้น (ร้อยละ)	10.09 ^a ±0.10	6.70 ^b ±0.08
L^*	18.25 ^a ±0.68	12.10 ^b ±0.38
a^*	12.03 ^b ±0.59	15.71 ^a ±0.76
b^*	19.42 ^a ±0.57	8.28 ^b ±0.06
ปริมาณผลผลิตที่ได้ ^{ns} (ร้อยละ)	23.47±0.63	24.16±0.13
ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด ^{ns} (mg Gallic acid eq./g)	2.37±0.00	2.95±0.06
ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS ^{ns} (mg Trolox eq./g)	1.25±0.09	1.11±0.00
ปริมาณแอนโทไซยานิน Cyaniding-3-glucoside (mg/L)	2.80 ^b ±0.26	2.95 ^a ±0.45
ปริมาณแอนโทไซยานิน Pelargonidin-3-glucoside (mg/L)	1.49 ^b ±1.52	1.57 ^a ±2.66

หมายเหตุ a-b ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

คุณภาพทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของโยเกิร์ต

การทดแทนเจลาตินด้วย CE-EW และ CE-SC มีผลทำให้โยเกิร์ตเกิดการแยกตัวของน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับสูตรควบคุม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้ CE-SC ทดแทนเจลาตินทั้ง 2 ระดับมีผลทำให้เกิดการแยกตัวของน้ำมากที่สุด โยเกิร์ตที่ทดแทนเจลาตินด้วย CE-EW และ CE-SC มีค่าความหนืดมากกว่าโยเกิร์ตสูตรควบคุม โดย CE-SC มีผลทำให้โยเกิร์ตเกิดความหนืดมากที่สุด ความหนืดของโยเกิร์ตที่เสริมด้วยสารสกัดหยาบจากเปลือกแก้วมังกรทั้งสองชนิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารสกัดที่เพิ่มขึ้น ค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมดของโยเกิร์ตทุกสูตรไม่มีความแตกต่างกัน การทดแทนเจลาตินด้วย CE-EW และ CE-SC มีแนวโน้มทำให้ปริมาณกรดแลคติกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3) สำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่า ความชื้นและคาร์โบไฮเดรตของโยเกิร์ตทั้ง 5 สูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 80.96-81.90 และร้อยละ 13.09-14.04 ตามลำดับ ในขณะที่โปรตีน ไขมัน และเถ้าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 3 คุณภาพทางกายภาพและเคมีของโยเกิร์ตที่เสริมด้วยสารสกัดหยาบจากเปลือกแก้วมังกร

สิ่งทดลอง Ge: CE-EW: CE-SC	การแยกตัวของน้ำ (ร้อยละ)	ความหนืด (cPs)	ค่าความเป็นกรด-ด่าง ^{ns}	ปริมาณกรดแลคติก (ร้อยละ)	ปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมด ^{ns} (°Brix)
100: 0: 0	36.78 ^b ±0.19	73.70 ^e ±3.04	3.76±0.00	0.85 ^c ±0.01	12.67±0.58
50: 50: 0	36.81 ^b ±0.25	182.93 ^d ±0.95	3.78±0.00	0.85 ^c ±0.01	13.00±0.00
0: 100: 0	37.78 ^{ab} ±1.08	184.23 ^c ±3.65	3.78±0.00	0.87 ^b ±0.00	12.33±0.58
50: 0: 50	38.59 ^a ±1.37	641.47 ^b ±0.75	3.81±0.00	0.87 ^{ab} ±0.01	13.00±0.00
0: 0: 100	38.93 ^a ±1.49	673.07 ^a ±1.53	3.82±0.00	0.88 ^a ±0.01	13.00±0.00

หมายเหตุ a-e ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีของโยเกิร์ตที่เสริมด้วยสารสกัดหยาบจากเปลือกแก้วมังกร

สิ่งทดลอง Ge: CE-EW: CE-SC	ความชื้น (ร้อยละ)	คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	โปรตีน ^{ns} (ร้อยละ)	ไขมัน ^{ns} (ร้อยละ)	เถ้า ^{ns} (ร้อยละ)
100: 0: 0	81.72 ^{ab} ±0.01	13.29 ^{ab} ±0.61	3.15±0.05	1.70±0.60	0.14±0.05
50: 50: 0	81.90 ^a ±0.69	13.09 ^b ±0.11	3.15±0.05	1.72±0.53	0.14±0.08
0: 100: 0	81.50 ^{ab} ±0.02	13.49 ^{ab} ±0.55	3.15±0.05	1.72±0.56	0.14±0.05
50: 0: 50	80.96 ^b ±0.51	14.04 ^a ±1.00	3.15±0.05	1.71±0.55	0.14±0.08
0: 0: 100	81.40 ^{ab} ±0.03	13.60 ^{ab} ±0.58	3.15±0.05	1.71±0.55	0.14±0.08

หมายเหตุ a-b ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่า ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบด้านกลิ่นไม่แตกต่างกัน ในขณะที่ปัจจัยคุณภาพด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของโยเกิร์ตทั้ง 5 สูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้พบว่าโยเกิร์ตที่ทดแทนเจลาตินด้วย CE-SC ปริมาณร้อยละ 100 ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมากที่สุด (ตารางที่ 5) ดังนั้น จึงเลือกโยเกิร์ตที่ทดแทนเจลาตินด้วยสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรที่ผ่านการทำให้แห้งแบบโพรหมเมทโดยใช้โซเดียมเคซิเนตเป็นสารก่อโพรหม (CE-SC) ปริมาณร้อยละ 100 เป็นสูตรที่ดีที่สุด

ตารางที่ 5 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตที่เสริมด้วยสารสกัดหยาบจากเปลือกแก้วมังกร

สิ่งทดลอง Ge: CE-EW: CE-SC	คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส					
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น ^{ns}	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
100: 0: 0	7.10 ^{ab} ±1.06	7.20 ^a ±1.19	6.63±1.22	6.57 ^{bc} ±1.19	6.77 ^b ±1.19	6.60 ^b ±1.22
50: 50: 0	6.53 ^{bc} ±1.01	6.47 ^b ±1.07	6.53±1.17	6.53 ^{bc} ±1.33	6.23 ^{bc} ±1.04	6.23 ^b ±1.01
0: 100: 0	6.40 ^c ±1.25	6.27 ^b ±1.11	6.03±1.07	6.23 ^c ±1.25	5.83 ^c ±0.99	6.17 ^b ±1.02
50: 0: 50	6.47 ^c ±1.41	6.30 ^b ±1.09	6.50±1.25	7.07 ^{ab} ±1.44	6.37 ^{bc} ±1.33	6.63 ^b ±1.33
0: 0: 100	7.47 ^a ±1.11	7.20 ^a ±1.30	6.57±1.28	7.53 ^a ±1.41	7.60 ^a ±1.25	7.87 ^a ±1.07

หมายเหตุ a-b ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน และการยับยั้งอนุมูลอิสระของโยเกิร์ตที่เสริมด้วยสารสกัดหยาบจากเปลือกแก้วมังกรสูตรที่ดีที่สุดเทียบกับสูตรควบคุมพบว่าโยเกิร์ตที่ทดแทนเจลาตินด้วย CE-SC ปริมาณร้อยละ 100 (0: 0: 100) มีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณแอนโทไซยานินรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับโยเกิร์ตสูตรควบคุม (100: 0: 0) แต่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน และการยับยั้งอนุมูลอิสระของโยเกิร์ตที่เสริมด้วยสารสกัดหยาบจากเปลือกแก้วมังกรสูตรที่ดีที่สุดเทียบกับสูตรควบคุม

การวิเคราะห์	สิ่งทดลอง Ge: CE-EW: CE-SC	
	100: 0: 0	0: 0: 100
ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ^{ns} (mg Gallic acid eq./g)	2.05±0.02	2.62±0.03
ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS (mg Trolox eq./g)	0.44 ^b ±0.02	1.38 ^a ±0.05
ปริมาณแอนโทไซยานิน Cyaniding-3-glucoside ^{ns} (mg/L)	2.66±0.03	2.67±1.64
ปริมาณแอนโทไซยานิน Pelargonidin-3-glucoside ^{ns} (mg/L)	1.42±0.19	1.42±9.70

หมายเหตุ a-b ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

คุณภาพทางกายภาพและเคมีของสารสกัดหยาบจากเปลือกแก้วมังกร

จากการวิเคราะห์ค่าสีของ CE-EW และ CE-SC พบว่า สารสกัดทั้งสองชนิดมีค่าความสว่างน้อย (12.10-18.25) ซึ่งอาจเป็นผลมาจากปฏิกิริยาการเกิดคาราเมล (caramelization) ของน้ำตาลในเปลือกแก้วมังกรหรือเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction) ที่ส่งผลให้เกิดสีน้ำตาลในระหว่างกระบวนการอบแห้ง (Ambekar, Gokhale & Lele, 2013) ค่าความเป็นสีแดงของสารสกัดทั้งสองชนิด (12.03-15.71) มีค่าใกล้เคียงกับผงเปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงเปลือกแดงที่ผ่านการทำให้แห้งแบบลูกกลิ้ง (13.56) (Chia & Chong, 2015) ปริมาณความชื้นของ CE-EW มากกว่า CE-SC เนื่องจากในขั้นตอนการตีโม่ของไข่ขาว โม่ที่ได้มีลักษณะเป็นฟองละเอียด สม่่าเสมอและมีจำนวนมากกว่าโม่จากโซเดียมเคซิเนต เมื่อนำโม่ไปอบแห้งทำให้ได้ผงที่มีลักษณะเป็นรูพรุนจำนวนมาก เมื่อนำออกจากเตาอบสู่บรรยากาศภายนอกซึ่งมีความชื้นสูงกว่า จึงทำให้อากาศแทรกเข้าไปในโมเลกุลของผง ส่งผลให้สารสกัดผงที่ได้เกิดการดูดความชื้นกลับ (อริสรา โพธิ์สนาม, ชรินทร์ น้อยยามาศย์ และศิริพร แก้วสะอาด, 2554)

แก้วมังกรเป็นผลไม้ที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงเนื่องจากอุดมไปด้วยสารฟีนอลิกและรงควัตถุที่ให้สีคือเบตาไซยานิน แอนโทไซยานิน และฟลาโวนอยด์ชนิดอื่น ๆ (Prabowo et al., 2019) จากการวิเคราะห์คุณภาพของ CE-EW และ CE-SC พบว่ามีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระอยู่ในช่วง 2.37-2.95 mg Gallic acid eq./g และ 1.11-1.25 mg Trolox eq./g ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าที่พบในผงเปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงเปลือกแดงที่ผ่านการทำให้แห้งแบบลูกกลิ้ง (7.84 mg GAE/g of dm และ 4.375 mg Trolox/g of dm) (Chia & Chong, 2015) ซึ่งอาจเป็นผลจากวิธีการเตรียมที่แตกต่างกัน รวมถึงตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีน้ำหนักของสารก่อโม่อยู่ด้วย จึงมีผลต่อค่าที่วิเคราะห์ได้ Suh et al. (2014) รายงานว่าปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณเบตาไซยานินทั้งหมด และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ พบในเปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงเปลือกแดงมากกว่าเปลือกพันธุ์เนื้อขาวเปลือกแดง เนื้อพันธุ์เนื้อแดงเปลือกแดง และเนื้อพันธุ์เนื้อขาวเปลือกแดง ตามลำดับ ทั้งนี้ Tang et al. (2021) รายงานว่าพบสารฟีนอลิกทั้งหมด 37 ชนิดในเปลือกแก้วมังกร โดยชนิดที่พบมากที่สุดเปลือกพันธุ์เนื้อแดงเปลือกแดงคือกรดคลอโรจีนิค กรดคาเฟอิก กรดเฟอร์ูลิก และกรดพาราคูมาริก นอกจากนี้ Prabowo et al. (2019) ยังพบสารฟีนอลิกกลุ่มแอนโทไซยานินประกอบไปด้วยไซยานิดินร้อยละ 31.63 มอลวิดินร้อยละ 7.37 และเดลฟินิดินร้อยละ 7.53 ในเปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงเปลือกแดงอีกด้วย สำหรับรงควัตถุกลุ่มเบตาเลน จากการศึกษาของ Jamilah et al. (2011) พบว่า เปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงเปลือกแดงมีปริมาณเบตาไซยานินสูงถึง 150.46 mg/100 g DM ในขณะที่ Chia & Chong (2015) พบว่า เปลือกแก้วมังกรสดพันธุ์เนื้อแดงเปลือกแดงมีปริมาณเบตาไซยานิน 41.55 mg/g DM และผงเปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงเปลือกแดงที่ผ่านการทำให้แห้งแบบลูกกลิ้งมีปริมาณเบตาไซยานิน 80.21 mg/g DM

คุณภาพทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของโยเกิร์ต

โดยทั่วไปลักษณะของโยเกิร์ตที่ดีควรมีเคิร์ดเรียบเนียน ไม่เกิดการแยกตัวของน้ำเวย์ออกมา ดังนั้นในการผลิตโยเกิร์ตจึงต้องการให้มีค่าการแยกตัวของน้ำในผลิตภัณฑ์น้อยที่สุด สำหรับเปลือกแก้วมังกรประกอบไป

ด้วยเพคตินซึ่งมีคุณสมบัติทำให้เกิดเจลได้ มีรายงานว่าในเปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงเปลือกแดงมีเพคตินร้อยละ 10.79 (Jamilah et al., 2011) จากการทดแทนเจลาตินด้วยสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรในงานวิจัยนี้ส่งผลให้โยเกิร์ตมีการแยกตัวของน้ำสูงขึ้นเมื่อเทียบกับสูตรควบคุมและเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารสกัดที่ใช้ เนื่องจากเจลาตินมีประสิทธิภาพทำให้เกิดการแยกตัวของน้ำน้อยกว่าเพคติน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kumar & Mishra (2004) ที่พบว่าโยเกิร์ตที่ใช้เจลาตินเป็นสารให้ความคงตัวเกิดการแยกตัวของน้ำน้อยกว่าเพคติน เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Athar, Shah & Khan (2000) ที่พบว่าแป้งข้าวโพดเป็นสารให้ความคงตัวที่ลดการเกิดการแยกตัวของน้ำได้ดีที่สุดในโยเกิร์ต รองลงมาคือเจลาตินและเพคติน ตามลำดับ นอกจากนี้ ยังมีรายงานว่าเจลาตินช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของเจลโปรตีนนมได้แต่ไม่มีผลในการเพิ่มความแข็งแรงของเจล (Pang et al., 2015) จึงเป็นเหตุผลให้การใช้เจลาตินทำให้โยเกิร์ตมีการแยกตัวของน้ำและความหนืดต่ำกว่าการใช้สารสกัดจากเปลือกแก้วมังกร

เมื่อเปรียบเทียบผลของการเติม CE-EW และ CE-SC ที่ระดับปริมาณเท่ากัน พบว่า CE-SC ทำให้เกิดการแยกตัวของน้ำและความหนืดสูงกว่า CE-EW ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Karam et al. (2013) ที่พบว่าโซเดียมเคซีนเตมีผลทำให้โยเกิร์ตเกิดความแน่นเนื้อและความหนืดสูงขึ้น นอกจากนี้ ยังมีผลทำให้โครงสร้างของเจลโปรตีนนมมีลักษณะหยาบ เรียงตัวหลวมๆ มีความเป็นรูพรุนน้อยลง เคซีนอยู่ในสภาพไมเซลล์ขนาดใหญ่ มารวมกันเป็นคลัสเตอร์ (Damin et al., 2009) จึงทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของเจลอ้อยลงส่งผลให้มีการแยกตัวของน้ำสูง ค่าความเป็นกรด-ด่างของโยเกิร์ตทุกสูตรอยู่ในช่วง 3.76-3.82 โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีรายงานว่าเจลาตินและเพคตินเป็นสารให้ความคงตัวที่ดีในโยเกิร์ตเนื่องจากทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างในระหว่างการเก็บรักษาน้อยมาก (Athar, Shah & Khan, 2000) ปริมาณกรดแลคติกของโยเกิร์ตทุกสูตรมีค่าอยู่ในช่วง 0.85-0.88 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของประกาศกระทรวงสาธารณสุข (2556) ที่กำหนดว่าค่าความเป็นกรดในโยเกิร์ตโดยคำนวณเป็นกรดแลคติกไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.6 ของน้ำหนัก

ค่าความชื้นของโยเกิร์ตทุกสูตรในงานวิจัยนี้อยู่ในช่วงร้อยละ 80.96-81.90 ซึ่งใกล้เคียงกับที่พบในโยเกิร์ตกล้วยและโยเกิร์ตแอปเปิ้ลที่มีความชื้นร้อยละ 80.65 และ 83.23 ตามลำดับ (Yousef, Nateghi & Azadi, 2013) ปริมาณโปรตีนของโยเกิร์ตทุกสูตรมีปริมาณเท่ากันคือร้อยละ 3.15 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของประกาศกระทรวงสาธารณสุข (2556) ที่กำหนดว่าโยเกิร์ตต้องมีโปรตีนไม่น้อยกว่าร้อยละ 2.7 ของน้ำหนัก สำหรับปริมาณไขมันของโยเกิร์ตทุกสูตรมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 1.70-1.72 และถ้ามีปริมาณร้อยละ 0.14 เท่ากันทุกสูตร ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องจากเปลือกแก้วมังกรมีไขมันและเถ้าเล็กน้อยอยู่แล้ว Jamilah et al. (2011) รายงานว่าเปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงเปลือกแดงมีปริมาณโปรตีนและเถ้าเล็กน้อยเท่ากับร้อยละ 0.10 และ 0.10 ตามลำดับ จึงไม่มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าดังกล่าวเมื่อเทียบกับโยเกิร์ตสูตรควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Yousef, Nateghi & Azadi (2013) ที่พบว่าปริมาณเถ้าของโยเกิร์ตมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณผลไม้ที่เติมเถ้าสูงที่เติมลงไป Amadou et al. (2018) กล่าวว่าปริมาณเถ้าในโยเกิร์ตขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยรวมถึงองค์ประกอบของนม ปริมาณ และองค์ประกอบของส่วนผสมที่ใช้

ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่า โยเกิร์ตที่ทดแทนเจลาตินด้วย CE-SC ปริมาณร้อยละ 100 ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมากที่สุด แม้จะมี

รายงานว่าการเติมโซเดียมเคซีเนตในโยเกิร์ตมีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสคือทำให้เกิดรสที่ค้างอยู่ในคอ (aftertaste) และฝืด (astringency) (Karam et al., 2013) ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณที่ใช้ในงานวิจัยนี้น้อยกว่าปริมาณที่แนะนำให้ใช้ คือ ร้อยละ 1-2 ผู้ทดสอบชิมจึงไม่ได้รับความรู้สึกดังกล่าว จากผลทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยจึงเลือกโยเกิร์ตที่ทดแทนเจลาตินด้วย CE-SC ปริมาณร้อยละ 100 เป็นสูตรที่ดีที่สุด

การวิเคราะห์เปรียบเทียบโยเกิร์ตสูตรที่ดีที่สุดกับสูตรควบคุมพบว่าโยเกิร์ตที่ทดแทนเจลาตินด้วย CE-SC ปริมาณร้อยละ 100 มีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานินไม่แตกต่างกันกับโยเกิร์ตสูตรควบคุม อาจเป็นผลเนื่องจากการอบแห้งระหว่างการเตรียมสารสกัดทำให้สารฟีนอลิกและแอนโทไซยานินในเปลือกแก้วมังกรเกิดการสลายตัวเนื่องจากความร้อน (thermal degradation) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sengkhampan et al. (2013) ที่พบว่าการลวกส่งผลให้แอนโทไซยานินและเบตาไซยานินมีปริมาณลดลง ส่วนการอบแห้งส่งผลให้แอนโทไซยานินและเบตาไซยานินสลายตัวเนื่องจากความร้อน อย่างไรก็ตาม แม้ว่าโยเกิร์ตทั้ง 2 สูตรดังกล่าวจะมีปริมาณแอนโทไซยานินรวมไม่แตกต่างกัน แต่โยเกิร์ตที่ทดแทนเจลาตินด้วย CE-SC มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องจากมีสารสำคัญตัวอื่นในเปลือกแก้วมังกรที่ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระนอกเหนือจากแอนโทไซยานินทั้ง 2 ตัว สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sengkhampan et al. (2013) ที่รายงานว่าในเปลือกแก้วมังกรมีเบตาไซยานินเป็นรงควัตถุหลัก โดยมีรายงานว่าเบตาไซยานินมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากที่สุดทั้งชนิด DPPH และ FRAP โดยฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดังกล่าวพบในเปลือกแก้วมังกรมากกว่าในเนื้อถึง 10 เท่า (Tenore, Novellino & Basile, 2012) รงควัตถุกลุ่มเบตาเลนเป็นสารตัวหลักที่แสดงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของแก้วมังกร ในขณะที่สารประกอบฟีนอลิกที่ไม่ใช่เบตาเลนเป็นสารตัวรองของการแสดงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (Esquivel, Stintzing & Carle, 2007) จากผลการทดลองทั้งหมดข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการเสริมสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงเปลือกแดงส่งผลให้โยเกิร์ตมีคุณสมบัติเพิ่มขึ้นและเป็นอีกทางเลือกหนึ่งให้กับผู้บริโภคได้ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยชิ้นนี้ยังมีข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาวิจัยครั้งต่อไปดังนี้

1. ควรศึกษาชนิดและปริมาณของสารก่อโฟม และระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบโฟมเมท เพื่อให้ได้สารสกัดที่มีคุณภาพดีที่สุด
2. ควรศึกษาเพิ่มเติมด้านคุณภาพทางจุลินทรีย์ อายุการเก็บรักษาและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่เสริมด้วยสารสกัดหยาบจากเปลือกแก้วมังกร

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการและนักศึกษาศาขาววิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือวิเคราะห์และการทดสอบทางประสาทสัมผัสในงานวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- กมลลักษณ์ มาสำโรง และวรพจน์ สุนทรสุข. (2557). ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและต้านแบคทีเรียของสารสกัดเปลือกแก้วมังกร. *วารสารวิทยาศาสตร์*. 45(2), 269-272.
- กฤติยา ไชยนอก. (2559, 9 พฤศจิกายน). *แก้วมังกร*. คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. <https://pharmacy.mahidol.ac.th/th/service-knowledge-article-info.php?id=366>
- ประกาศกระทรวงสาธารณสุข. (2556). *ราชกิจจานุเบกษา*, 130 (ตอนพิเศษ 97 ง), 79-84.
- ปิยนุสรณ์ น้อยดวง และปัทมา คล้ายจันทร์. (2547). การผลิตโยเกิร์ตกล้วยหอม. *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม*. 1(1), 24-31.
- วรภรณ์ ประเสริฐ. (2556). เทคนิคการทำแห้งแบบโฟมเมท. *วารสารอาหาร*, 43(3), 23-26.
- อริสรา โพธิ์สนาม, ชนินทร์ น้อยอามาตย์ และศิริพร แก้วสอาด. (2554). คุณภาพของเมาผงขงละลายที่ผลิตโดยวิธีการอบแห้งโฟม-เมท. *การพัฒนานาคนคตชนบทไทย : ฐานรากที่มั่นคงเพื่อการพัฒนาประเทศอย่างยั่งยืน. การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ประจำปี พ.ศ.2554* (หน้า 765-769). ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- อำพรณ ชัยกุลเสรีวัฒน์, วิญญู ช่วยแก้ว และเนตรนภา สกุลซัง. (2557). การผลิตโยเกิร์ตข้าวกล้องพันธุ์หอมนิล. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 45(2) (พิเศษ), 273-276.
- Amadou, N. M., Richard, E. A, Jules – Roger, K, Waingeh, N. C., Ateh, K. D., Mbiydzengeh, A. F., Che, N. S., & Yunenyui, M. P. (2018). Effect of ginger extract on the physicochemical and sensory properties of yoghurt. *International Journal of Development Research*, 8(5), 20468-20477.
- Ambekar, S., Gokhale, S., & Lele, S. (2013). Process optimization for foam mat-tray drying of passiflora edulis flavicarpa pulp and characterization of the dried powder. *International Journal of Food Engineering*, 9(4), 433-443. <https://doi.org/10.1515/ijfe-2012-0185>
- AOAC. (2000). *Official method of analysis*. (17th ed.). Washington. D.C.: The association of office analytical chemists.
- Arnao, M. B., Cano, A., & Acosta, M. (2001). The hydrophilic and lipophilic contribution to total antioxidant activity. *Food Chemistry*, 73(2), 239–244. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00324-1](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00324-1)

- Athar, I. H., Shah, M. A., & Khan, U. N. (2000). Effect of various stabilizers on whey separation (syneresis) and quality of yoghurt. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 3(8), 1336-1338. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2000.1336.1338>
- Chia, S. L., & Chong, G. H. (2015). Effect of drum drying on physico-chemical characteristics of dragon fruit peel (*Hylocereus polyrhizus*). *International Journal of Food Engineering*, 11(2), 285-293. <https://doi.org/10.1515/ijfe-2014-0198>
- Damin, M. R., Alcântara, M. R., Nunes, A. P., & Oliveira, M.N. (2009). Effects of milk supplementation with skim milk powder, whey protein concentrate and sodium caseinate on acidification kinetics, rheological properties and structure of nonfat stirred yogurt. *Food Science and Technology*, 42(10), 1744–1750. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.03.019>
- Esquivel, P., Stintzing, F. C., & Carle, R. (2007). Phenolic compound profiles and their corresponding antioxidant capacity of purple pitaya (*Hylocereus* Sp.) genotypes. *Zeitschrift fur Naturforschung C*, 62, 636-644. <https://doi.org/10.1515/znc-2007-9-1003>
- Ferreres, F., Grosso, C., Gil-Izquierdo, A., Valentao, P., Mota, A.T., & Andrade, P.B. (2017). Optimization of the recovery of high-value compounds from pitaya fruit by-products using microwave-assisted extraction. *Food Chemistry*, 230, 463–474. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.061>
- Hernawati, Setiawan, N. A., Shintawati, R., & Priyandoko, D. (2018). The role of red dragon fruit peel (*Hylocereus polyrhizus*) to improvement blood lipid levels of hyperlipidaemia male mice. *Journal of Physics: Conference Series*, 1013, 1-5.
- Jamilah, B., Shu, C. E., Kharidah, M., Dzulkifly, M. A. & Noranizan, A. (2011). Physico-chemical characteristics of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) peel. *International Food Research Journal*, 18, 279-286.
- Kähkönen, M. P., Hopia, A. I., Vuorela, 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(1), 3954-3962. <https://doi.org/10.1021/jf990146l>
- Karam, M. C., Gaiani, C., Hosri, C., Burgain, J., & Scher, J. (2013). Effect of dairy powders fortification on yogurt textural and sensorial properties: a review. *Journal of Dairy Research*, 80, 400–409. <https://doi.org/10.1017/s0022029913000514>

- Kumar, P., & Mishra, H. N. (2004). Mango soy fortified set yoghurt: effect of stabilizer addition on physicochemical, sensory and textural properties. *Food Chemistry*, 87, 501–507. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.12.022>
- Lee, J., Durst, R. W., & Wrolstad, R.E. (2005). Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: Collaborative study. *Journal of AOAC International*, 88(5), 1269–1278. <https://doi.org/10.1093/jaoac/88.5.1269>
- Liu, K. (1997). *Soybeans: Chemistry, Technology, and Utilization*. New York: Chapman & hall.
- Pang, Z., Deeth, H., Sharma, R., & Bansal, N. (2015). Effect of addition of gelatin on the rheological and microstructural properties of acid milk protein gels. *Food Hydrocolloids*, 43, 340–351. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.06.005>
- Prabowo, I., Utomo, E. P., Nurfaizy, A., Widodo, A., Widjajanto, E., & Rahadju, P. (2019). Characteristics and antioxidant activities of anthocyanin fraction in red dragon fruit peels (*Hylocereus polyrhizus*) extract. *Drug Invention Today*, 12(4), 670–678.
- Puvanenthiran, A., Williams, R. P. W., & Augustin, M. A. (2002). Structure and visco-elastic properties of set yoghurt with altered casein to whey protein ratios. *International Dairy Journal*, 12, 383–391. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(02\)00033-X](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(02)00033-X)
- Sengkhampan, N., Chanshotikul, N., Assawajitpukdee, C., & Khamjae, T. (2013). Effects of blanching and drying on fiber rich powder from pitaya (*Hylocereus undatus*) peel. *International Food Research Journal*, 20(4), 1595–1600.
- Suh, D. H., Lee, S., Heo, D. Y., Kim, Y. S., Cho, S. K., Lee, S., & Lee, C. H. (2014). Metabolite profiling of red and white pitayas (*Hylocereus polyrhizus* and *Hylocereus undatus*) for comparing betalain biosynthesis and antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(34), 8764–8771. <https://doi.org/10.1021/jf5020704>
- Tamime, A. Y., & Robinson, R. K.. (1999). *Yoghurt Science and Technology*. (2nd ed.). Cambridge: Woodhead Publishing Ltd.
- Tang, W., Li, W., Yang, Y., Lin, X., Wang, L., Li, C., & Yang, R. (2021). Phenolic Compounds Profile and Antioxidant Capacity of Pitahaya Fruit Peel from Two Red-Skinned Species (*Hylocereus polyrhizus* and *Hylocereus undatus*). *Foods*, 10(6), 1183. <https://doi.org/10.3390/foods10061183>

- Tenore, G. C., Novellino, E., & Basile, A. (2012). Nutraceutical potential and antioxidant benefits of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) extracts. *Journal of functional foods*, 4, 129-136. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2011.09.003>
- Wu, L. C., Hsu, H. W., Chen, Y. C., Chiu, C. C., Lin, Y. I., & Annie Ho, J. A. (2006). Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya. *Food Chemistry*, 95(2), 319–327. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.01.002>
- Wybraniec, S., & Mizrahi, Y. (2002). Fruit flesh betacyanin pigments in *Hylocereus cacti*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 6086–6089. <https://doi.org/10.1021/jf020145k>
- Wybraniec, S., Platzner, I., Geresh, S., Gottlieb, H. E., Haimberg, M., Mogilnitzki, M., & Mizrahi, Y. (2001). Betacyanins from vine cactus *Hylocereus polyrhizus*. *Phytochemistry*, 58(8), 1209–1212. [https://doi.org/10.1016/s0031-9422\(01\)00336-3](https://doi.org/10.1016/s0031-9422(01)00336-3)
- Yousef, M., Nateghi, L., & Azadi, E. (2013). Effect of different concentration of fruit additives on some physicochemical properties of yoghurt during storage. *Annals of Biological Research*, 4(4), 244-249.