เสาวรส

1. ชื่อเรื่อง เสาวรส

ชื่อสามัญ: Passion flower, Passion fruit, Yellow granadilia

วิทยาศาสตร์: *Passiflora laurifolia Linn.*

ชื่อวงศ์: PASSIFLORACEAE

ชื่ออื่นๆ: สุคนธรส กะทกรก

2. หลักการและเหตุผล

เสาวรสจัดเป็นผลไม้เศรษฐกิจของประเทศไทยอีกชนิดหนึ่ง มีการปลูกเพื่อบริโภคสดและแปรรูปในอุตสาหกรรมน้ำ ผลไม้ โดยมีแหล่งปลูกที่สำคัญได้แก่ เชียงใหม่ เชียงราย น่าน เพชรบูรณ์ ระยอง ตราด ปราจีนบุรี ชุมพร นราธิวาส และสุราษฎร์ธานี เสาวรสเป็นที่นิยมบริโภค เนื่องจากมีรสชาติและกลิ่นหอมที่เป็นเอกลักษณ์ รวมทั้งมีคุณค่าทางโภชนาการ มีองค์ประกอบของ วิตามินเอ และสารไลโคปีน ซึ่งมีส่วนช่วยในการบำรุง สายตา บำรุงผิว และเป็นแหล่งที่ดีของใยอาหาร ทำให้เสาวรสเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ทำให้ความต้องการของตลาดมีแนวโน้มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยมูลนิธิโครงการหลวง ได้มีการพัฒนาพันธุ์และส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกเสาวรสมาตั้งแต่ พ.ศ. 2539 ในปี พ.ศ. 2556 มีรายงานปริมาณผลผลิตเฉพาะในพื้นที่ ที่โครงการหลวงรับผิดชอบ รวม 301,760 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่ากว่า 8.21 ล้านบาท

ดังนั้นศูนย์ส่งเสริมวนศาสตร์ชุมชนที่ 2 (เพชรบูรณ์) จึงมีความสนใจที่จะศึกษางานวิชาการด้านวนศาสตร์ชุมชนในหัวข้อเสาวรส เพื่อศึกษาถึงวิธีการเพาะปลูก คุณประโยชน์ และการแปรรูปเสาวรสเพื่อเป็นสื่อเรียนรู้ด้านวิชาการให้กับผู้ที่สนใจได้ศึกษาเบื้องต้น เพื่อใช้ประโยชน์ในการศึกษาเรียนรู้และนำไปเผยแพร่เป็นแนวทางในการพัฒนาต่อยอดต่อไป

3. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของเสาวรส
2. เพื่อศึกษาการขยายพันธุ์ของเสาวรส
3. เพื่อศึกษาการปลูกและการบำรุงรักษาเสาวรส
4. เพื่อศึกษาคุณประโยชน์ของเสาวรส
5. เพื่อศึกษาการแปรรูปเสาวรส

4. วิธีการศึกษา

1. ค้นคว้าข้อมูลทั่วไปของเสาวรสจากอินเทอร์เน็ต
2. สำรวจและรวบรวมข้อมูลจากนักวิชาการเกษตร
3. สำรวจและรวบรวมข้อมูลจากเกษตรกรผู้ปลูกเสาวรส
3. สำรวจและรวบรวมข้อมูลจากผู้แปรรูปเสาวรส
4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผลการศึกษา

5. ข้อมูลทั่วไปของเสาวรส

5.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

เสาวรส (Passion fruit) เป็นพืชในตระกูล Passifloraceae ซึ่งในประเทศไทยมีพืชในตระกูลเดียวกันนี้คือ กะทกรก (Passifora foetida) สุคนธรส (Passiflora quadragunlaris) เป็นไม้เถาเลื้อย ส่วนโคนเป็นไม้เนื้อแข็งเหนียว เมื่อปลูกแล้วสามารถอยู่ได้อายุหลายปี เถาเลื้อยได้ถึง 15 เมตร มีมือเกาะ ใบเดี่ยวรูปไข่ ออกเรียงสลับกัน ขอบใบเว้าลึกเป็น 3 พู ปลายใบแหลม ก้านใบยาว 4-4.5 เซนติเมตร ช่อดอกกระจุก มีใบประดับ และใบประดับย่อยรูปไข่ ปลายมนหรือแหลม ขอบจักฟันเลื่อยเรียงกันเป็นชั้น กลีบดอกสีขาว เส้นผ่านศูนย์กลางดอก 4-7 เซนติเมตร กลีบเลี้ยงสีเขียว กลีบเลี้ยงและกลีบดอกรูปขอบขนานปลายมน ดอกมีกลิ่นหอม ผลกลมหรือรูปไข่ เส้นผ่านศูนย์กลาง 4-7 เซนติเมตร ผลอ่อนสีเขียวมีกระสีขาว เมื่อสุกจะมีสีเหลืองนวล มีเมล็ดจำนวนมาก รูปไข่ สีน้ำตาลเข้มหรือดำ แต่ละเมล็ดถูกหุ้มด้วยรกซึ่งบรรจุน้ำสีเหลืองลักษณะเหนียวข้น ภายในผลมีน้ำ ผลและเมล็ดรับประทานได้ มีรสเปรี้ยว และมีกลิ่นหอมเฉพาะตัว ออกดอกตลอดปี มีถิ่นกำเนิดที่ประเทศบราซิลตะวันออก เวเนซุเอลา เปรู และหมู่เกาะอินดีสตะวันตก และเริ่มมีการแพร่ขยายไปปลูกในภูมิภาคต่างๆ ไต้หวัน และฮาวาย ตั้งแต่ คริสศตวรรษที่ 19 เป็นต้นมา ประเทศไทยได้นำเสาวรสเข้ามาปลูกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2498 และมีชื่อเรียก ในภาษาไทยต่างๆ กันเช่น เสาวรส กะทกรกยักษ์ กะทกรกฝรั่ง กะทกรกสีดา และเสาวรสสีดา เป็นต้น

5.2 ลักษณะทั่วไปของเสาวรส

ต้นหรือเถา เสาวรสเป็นไม้ผลประเภทเถาเลื้อย ส่วนโคนเป็นไม้เนื้อแข็งเหนียว เถาเลื้อยได้ถึง 15 เมตร ลำต้นเป็นเถา สีเขียว ข้างในกลวง มีมือเกาะ เมื่อปลูกแล้วสามารถอยู่ได้อายุหลายปี

ภาพที่1 ต้นหรือเถาเสาวรส

ใบ เดี่ยวรูปไข่ ออกเรียงสลับกัน ใบมีสีเขียวเข้มหรือเขียวแซมแดงม่วงขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์ ใบจริงโดยทั่วไปเป็นใบเดี่ยวมี 3 แฉกบ้าง แต่ใบจริงในขณะที่เป็นต้นกล้าจะเป็นรูปไข่ไม่มีแฉก ตามขอบใบจะมีหยักละเอียดโดยรอบ มีมือจับหรือหนวดอยู่ตามข้อม้วนขดเป็นวงสำหรับยึดลำต้นให้เลื้อยเกาะหลักที่ปักพยุงไว้

ภาพที่2 ใบเสาวรส ที่มา: Phil Bendle

ดอก ดอกรูปขอบขนาน ปลายมน เป็นดอกเดี่ยวแบบสมบูรณ์เพศเกิดจากตาดอกบริเวณง่ามใบ มีกลิ่นหอม และสีสันสะดุดตากลีบดอกแยกจากกันสีขาว บริเวณรอบๆ ใบกลางจะมีสีม่วง ดอกจะออกจากโคนกิ่งไปยังปลายกิ่งตามลำดับ และจะเจริญเติบโตเป็นผลต่อไป

ภาพที่3 ดอกเสาวรส ที่มา: http://www.phargarden.com

ผล มีหลายลักษณะคือ ผลกลม รูปไข่ และผลรียาว เมื่อผลสุกจะมีสีต่างๆกันเช่น ม่วงเข้ม ม่วงแดงส้ม หรือเหลืองขึ้นอยู่กับชนิดของพันธุ์ เปลือกผลและเนื้อส่วนนอกแข็งไม่สามารถรับประทานได้ ภายในผลมีเมล็ดสีน้ำตาลเข้มหรือดำ เป็นจำนวนมาก ซึ่งเมล็ดจะสามารถรับประทานได้ ภายในผลมีเมล็ดสีน้ำตาลเข้มหรือดำเป็นจำนวนมาก ซึ่งเมล็ดจะมีรกเป็นเยื่อเมือก สีเหลืองหรือสีส้ม ลักษณะเหนียวข้นและมีกลิ่นหอมเฉพาะตัว ห่อหุ้มอยู่ในรอบ เยื่อหุ้มเมล็ดหรือรกนี้มีความเป็นกรดสูงสามารถรับประทานสดหรือใช้ผสมทำ เป็นอาหารและเครื่องดื่มได้

ภาพที่4 ผลเสาวรส

5.3 ชนิดและพันธุ์เสาวรส

โดยทั่วไปแล้วเสาวรสสามารถแบ่งออกเป็น 2 สายพันธุ์ คือสายพันธุ์ผลสีเหลือง และสายพันธุ์ ผลสีม่วง ซึ่งมีลักษณะที่แตกต่างกัน ดังนี้

5.3.1 เสาวรสชนิดผลสีเหลือง (Deneger P. edulis Forma F. flavicarpa) ลักษณะผลจะมีสีเหลืองผลน้ำหนักประมาณ 80-120 กรัมต่อผล มีขนาดใหญ่กว่าสายพันธุ์สีม่วง มีรสเปรี้ยวมากกว่าสายพันธุ์สีม่วง เพราะเนื้อในมีความเป็นกรดสูงกว่าสายพันธุ์สีม่วง นิยมใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปทำน้ำผลไม้

ภาพที่5 ต้นเสาวรสสีเหลือง

ภาพที่6 ใบเสาวรสสีเหลือง

ภาพที่7 ดอกเสาวรสสีเหลือง ที่มา: https://puechkaset.com

ภาพที่8 ผลเสาวรสสีเหลือง

5.3.2 เสาวรสชนิดผลสีม่วง (Passiflora edulis L.) ลักษณะผลเป็นสีม่วงผลมีลักษณะกลมหรือรูปไข่ ผลสุกมีรสหวานและกลิ่นหอมกว่าพันธุ์สีเหลือง แต่ผลมักจะมีขนาดเล็กกว่าสายพันธุ์ผลสีเหลือง น้ำหนักประมาณ 50-60 กรัมต่อผล เสาวรสชนิดนี้มีพันธุ์สำหรับแปรรูปและรับประทานผลที่มีรสชาติหวาน

ภาพที่9 ต้นเสาวรสสีม่วง

ภาพที่10 ใบเสาวรสสีม่วง

ภาพที่11 ดอกเสาวรสสีม่วง ที่มา: https://pixabay.com

ภาพที่12 ผลเสาวรสสีม่วง

5.3.3 เสาวรสพันธุ์ลูกผสม

เป็นพันธุ์ที่เกิดจากการผสมระหว่าง พันธุ์ผลสีม่วงกับพันธุ์ผลสีเหลือง เพื่อคัดเลือกต้นพันธุ์ใหม่ที่รวมลักษณะผลที่เด่นของแต่ละพันธุ์ไว้ ทำให้มีลักษณะผลใหญ่ให้ ผลดกมีรกห่อหุ้ม เมล็ดมากเปลือกบาง ต้านทานโรคพันธุ์ลูกผสมนั้น เหมาะสำหรับปลูกเพื่ออุตสาหกรรมทำน้ำเสาวรส เพราะสามารถเก็บผลผลิตป้อนเข้าโรงงานได้ตลอดทั้งปี

ภาพที่13 ผลลูกผสม ที่มา: https://www.nanagarden.com/

ภาพที่14 ทีมา: https://www.innnews.co.th

5.3.4 เสาวรสยักษ์หรือ แตงสา (กะทกรกยักษ์) Giant granadilla

ชื่อวิทยาศาสตร์: *Passifloraquadrangularis L.*

ชื่อสามัญ: Giant Granadilla

เสาวรสยักษ์หรือ แตงสา (กะทกรกยักษ์) สามารถพบเห็นได้ทั่วประเทศ มีชื่อเรียกแตกต่างกันในแต่ละท้องถิ่นว่า สุคนธรส (ภาคกลาง) แตงกะลา มะแตงสา หรือ แตงสา (ภาคกลาง และตะวันตก) มะละกอย่าน (ภาคใต้) มะถั่วรส หรือ มักซูรด (ภาคเหนือ) รวมทั้งกะทกรกยักษ์ เนื่องจากมีขนาดผลใหญ่ที่สุดในบรรดากะทกรก (เสาวรส) ทั้งหลาย ในหนังสือพรรณไม้แห่งประเทศไทย ของ ศาสตราจารย์เต็ม สมิตินันทน์ ระบุว่า พืชชนิดนี้ มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Passifloraquadrangularis* L. ชื่อสามัญ Giant Granadilla เป็นพืชสกุลเดียวกันกับ เสาวรส (กะทกรกฝรั่ง) และกะทกรกป่า (หญ้ารกช้าง) ผลดิบและผลสุก นำมากินได้เช่นเดียวกับกะทกรก หรือเสาวรสชนิดอื่นๆ

“แตงสา” เป็นไม้เถาเลื้อย ใบเดี่ยว ขอบใบหยักลึก ออกดอกเดี่ยวขนาดใหญ่ กาบดอกหุ้มสีเขียว กลีบชั้นนอกเป็นรูปกระบอก ปลายแฉกด้านหลังมีสีเขียวแก่ ด้านในมีสีม่วงอ่อน ประกอบด้วยจุดแดงๆ กลีบชั้นในลักษณะคล้ายกับตัวแฉกของกลีบชั้นนอก สีม่วงอ่อนหรือชมพูอ่อนมีประสีแดงแซม กลีบย่อยกลางมีเป็นชั้นๆ สองชั้น แต่ละกลีบค่อนข้างกลม สีม่วงแก่ พาดด้วยปลายสีขาวสลับแดง มีเกสรอยู่ตรงกลางสีเขียวนวล ดอก มีกลิ่นหอมแรงจัดมาก ผล เป็นรูปไข่ หรือไข่ยาว ผลดิบมีสีเขียว ลักษณะคล้ายลูกมะละกอลูกเล็กๆ เนื้อภายนอกนำไปปรุงอาหารหลากหลายเมนู เช่น ผัดใส่ไข่ ต้มจืด แกงเลียง หรือนำไปลวกจิ้มกับน้ำพริก ภายในผลดิบจะมีเมล็ดสีดำ ที่ถูกหุ้มด้วยรกสีขาว มีรสเปรี้ยว เช่นเดียวกับเสาวรส ชาวบ้านนิยมนำเมล็ดไปคลุกกับเกลือก่อนกิน เพื่อเพิ่มรสชาติ ผลสุกมีสีเหลือง ภายในผลจะมีรสชาติเหมือนกะทกรก แต่มีรสหวาน หอมกว่า

การขยายพันธุ์ โดยใช้เมล็ด จากผลที่สุกจัดนำมาเพาะต้นกล้า ผลสุกสามารถกินได้สดๆ นำผลสุกมาเขย่าให้เนื้อข้างในเข้ากัน แล้วผ่าครึ่งผล ใช้ช้อนตักกินได้เลย มีกลิ่นหอม หวานกว่าเสาวรสมากนัก

มีสรรพคุณทางยา ช่วยลดไขมันในเส้นเลือด หากนำใบมาตากแห้งเป็นชาชงดื่ม แก้ความดันโลหิตสูง เบาหวาน และลดไขมันในเส้นเลือด

(ที่มา: https://www.technologychaoban.com)

ภาพที่15 ต้นหรือเถาเสาวรสยักษ์ ที่มา: https://www.technologychaoban.com

ภาพที่16 ใบเสาวรสยักษ์ ที่มา :https://www.smileconsumer.com

ภาพที่17 ดอกเสาวรสยักษ์ ที่มา: https://www.technologychaoban.com/

ภาพที่18 ผลเสาวรสยักษ์ ที่มา: https://www.technologychaoban.com

5.3.5 เสาวรสกล้วย Banana Passion Fruit

ชื่อวิทยาศาสตร์: *Passiflora tarminiana Coppens* & V.E. Barney

ชื่อวงศ์ : Passifloraceae

ชื่อสามัญ: เสาวรสกล้วย, กล้วยโพคา, เถาเสาวรส, เสาวรสกล้วยสีชมพู

เสาวรสกล้วยมีแหล่งกำเนิด มีถิ่นกำเนิดในอเมริกาใต้เขตร้อน (เช่น โบลิเวีย โคลอมเบีย เอกวาดอร์ เปรูและเวเนซุเอลา) เป็นพืชที่แข็งแรงสามารถเลื้อยเกาะต้นไม้ได้ขึ้นสูงถึง 20 เมตร ใบของมันมีสามแฉก มีขอบฟันและมีขนอ่อน ๆ ด้านล่าง ดอกสีชมพูอ่อนขนาดใหญ่ (ประมาณ 6 ซม.) ห้อยลงมาและมีหลอดดอกไม้สีเขียวอมเขียวยาว ผลรูปไข่หรือผลยาวเล็กน้อย (ยาว 7-14 ซม.) เปลี่ยนเป็นสีเหลืองหรือส้มซีดเมื่อโตเต็มที่ ลำต้นและใบ ลำต้นที่อายุน้อยกว่ามีลักษณะกลมและมีขน เส้นเอ็นขดอยู่ในส้อมใบ ใบเรียงแบบสลับ ยาว 7-16 ซม. เป็นพูสามแฉกลึกและมีขนตามก้าน ยาว 1.5-4 ซม. มีขอบฟัน และแฉก พื้นผิวด้านบนของใบไม่มีขนหรือแทบไม่มีขนเลย ในขณะที่ด้านล่างของมันมีขนอ่อน ๆ ดอก ดอกสีชมพูอ่อนขนาดใหญ่ ยาวประมาณ 6 ซม. และยาว 9-10 ซม. เกิดเดี่ยว ๆ ส้อมก้านช่อดอกยาว 3-10 ซม. ดอกห้อยลงมาและที่ฐานของแต่ละดอกจะมีกาบคู่ ยาว 3-4 ซม. และกว้าง 2-3 ซม. ซึ่งอาจทำให้เข้าใจผิดว่าเป็นกลีบเลี้ยง กลีบเลี้ยงทั้งห้าและห้ากลีบมีขนาดและสีใกล้เคียงกันมาก ยาว 4.5-6 ซม. และกว้าง 1.2-2.5 ซม. ฐานถูกรวมเข้าด้วยกันกลายเป็นหลอดดอกไม้สีเขียวที่ยาวและแคบมาก ยาว 6-8 ซม. และกว้าง 7-10 มม. ดอกแต่ละดอกมีเกสรตัวผู้ห้าอันและรังไข่มีขนปกคลุมด้วยลักษณะสีขาวสามแบบที่ลงท้ายด้วยสีเขียว การออกดอกสามารถเกิดขึ้นได้ตลอดทั้งปี ผล เป็นผลเบอร์รี่ยาวหรือรูปไข่ ที่เปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองหรือสีส้มซีดเมื่อโตเต็มที่ ผลยาว 7-14 ซม. และกว้าง 3.5-4.5 ซม. มีขนเมื่อยังอ่อนและมีเมล็ดจำนวนมากเป็นเนื้อสีส้ม เมล็ดมีสีน้ำตาลแดงเมื่อแห้งโดยมีพื้นผิวที่มีลวดลาย การขยายพันธุ์ พืชชนิดนี้ขยายพันธุ์โดยการเพาะเมล็ดและอาศัยนกและสัตว์อื่นๆ ที่กินผลไม้ขยายพันธุ์

(ที่มา: http://www.skyscraperseeds.com)

การปลูกเสาวรสกล้วยในประเทศไทย

สำหรับประเทศไทยการปลูกเสาวรสกล้วยยังไม่เป็นที่รู้จักแพร่หลาย ส่วนใหญ่ที่ปลูกนั้นจะปลูกเป็นไม้ประดับเพราะเสาวรสกล้วยนั้นออกดอกสวย ลูกยาวรีคล้ายกล้วยดูแปลกตา กินได้ รสชาติเปรี้ยวหวาน

วิธีการเพาะเสาวรสกล้วย

แบบที่1 นำเมล็ดพันธุ์แช่น้ำอุ่นทิ้งไว้ 1 คืน เพื่อให้เมล็ดสะอาดและช่วยการงอกดีขึ้นแล้วนำเมล็ดมาหยอดลงในกระบะเพาะหรือถุงพลาสติก ลึกประมาณ 1 เซนติเมตร แล้วกลบเมล็ด ข้อควรระวังคืออย่าหยอดเมล็ดลึกเกินไปเพราะจะทำให้เมล็ดเน่าได้ แต่ถ้าตื้นเกินไปเมล็ดจะไม่งอก

แบบที่2 นำเมล็ดพันธุ์เพาะในทิชชู หากล่องพลาสติกที่มีฝาปิด แล้วใส่ทิชชูลงไป พรมน้ำหรือใช้ขวดสเปรย์พ่นให้พอชุ่ม จัดวางเมล็ดให้ห่างกันตามความเหมาะสม เอาทิชชูวางทับด้านบนอีกรอบแล้วพรมน้ำอีกหน่อย เรียบร้อยแล้วปิดฝา พอเริ่มงอกก็นำย้ายลงดิน เมล็ดเสาวรสกล้วยจะเริ่มงอกประมาณ 7-14 วัน

ภาพที่19 ต้นหรือเครือเสาวรสกล้วย

ที่มา:https://keyserver.lucidcentral.org

ภาพที่20 ใบเสาวรสกล้วย ที่มา:https://keyserver.lucidcentral.org

ภาพที่21 ดอกเสาวรสกล้วย ที่มา: https://keyserver.lucidcentral.org

ภาพที่22 ผลเสาวรสกล้วย ที่มา: https://keyserver.lucidcentral.org

5.3.6 เสาวรสฮาวาย

เสาวรสฮาวาย ผลสีเหลืองใช้กินเป็นผลไม้ น้ำเชื่อมรสเสาวรสใช้แต่งหน้าน้ำแข็ง ไอศกรีม และใช้เป็นส่วนผสมในเค้ก คุกกี้ แยม เยลลี่ เนยหรือจะรับประทานสดๆก็อร่อย เป็นเสาวรสเปลือกหนาเหมาะแก่การขนส่งทางไกล เป็นเสาวรสเน้นทานผลสดได้เป็นอย่างดี เสาวรสฮาวาย ลูกกลมมนเหมือนไข่ไก่สีเหลืองสวย กลิ่นหอมหวาน น้ำเสาวรสกินคล้ายกินน้ำผึ้ง เสาวรสฮาวายเป็น ไม้เลื้อย เหมาะขึ้นซุ้มนั่งเล่น ใบดกเลื้อยไกลกว่า 10 เมตร. ดอกสีแดง เป็นสายพันธุ์เสาวรสที่โตดีมากในไทย ไม่ติดไวรัสเหมือนเสาวรสทั่วๆไป รสชาติหวานนำ เปรี้ยวตามนิดๆ ในส่วนที่ติดเมล็ดเริ่มมีผลตั้งแต่อายุ 8 เดือน ถึง 1 ปี

ภาพที่23 ต้นเสาวรสฮาวาย

ที่มา: Saithong phuetSamunphrai

ที่มา:https://www.kaidee.com

ภาพที่24 ดอกเสาวรสฮาวาย ที่มา:https://pixabay.com

ภาพที่25 ผลเสาวรสฮาวาย ที่มา:https://www.facebook.com/Secret789Farm

5.4 การขยายพันธุ์

5.4.1 ขยายพันธุ์โดยการใช้เมล็ดสด เมล็ดเสาวรสที่เพิ่งเก็บสดๆ จะงอกเร็วกว่าเมล็ดที่แก่ๆ แห้งๆ เมล็ดที่แก่แห้งต้องใช้เวลาหลายเดือนกว่าจะงอก หรือไม่ก็ไม่งอกเลย การเก็บเมล็ดสดนั้นหลังจากเก็บหรือซื้อผลสุกจากร้านแล้ว ต้องมาทำการผ่าคว้านเมล็ดออก แล้วนำเมล็ดที่คว้านออกนำไปกระจายลงบนกระสอบหรือภาชนะอื่นๆ ที่ผิวไม่ลื่น ถูจนกว่าถุงน้ำจะแตกแล้วล้างเมล็ดให้สะอาด จากนั้นผึ่งไว้ในที่ร่ม เมล็ดแห้งแล้วสามารถนำไปเพาะได้เลย แต่ถ้าต้องเก็บเมล็ดไว้ก่อน ให้เก็บไว้ในถุงพลาสติกที่อากาศสามารถเข้าได้ แช่ตู้เย็นไว้ได้ไม่เกิน 6 เดือน

ภาพที่26 ภาพประกอบการขยายพันธุ์โดยการใช้เมล็ดสด

ที่มา: ภาพการขยายพันธุ์โดยการใช้เมล็ดโดยฝ่ายปรับปรุงและพัฒนาพันธุกรรมพืชสัตว์สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตรมหาวิทยาลัยแม่โจ้ มีนาคม 2557

ภาพที่27 ภาพประกอบการขยายพันธุ์โดยการใช้เมล็ดสด (ต่อ)

:

ที่มา: ภาพการขยายพันธุ์โดยการใช้เมล็ดสด โดยฝ่ายปรับปรุงและพัฒนาพันธุกรรมพืชและสัตว์สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ มีนาคม 2557

ภาพที่28 ภาพประกอบการขยายพันธุ์โดยการใช้เมล็ดสด (ต่อ)

ที่มา: ภาพการขยายพันธุ์โดยการใช้เมล็ดสด: โดยฝ่ายปรับปรุงและพัฒนาพันธุกรรมพืชและสัตว์ สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ มีนาคม 2557

5.4.2 การปักชำ การปักชำเสาวรสสามารถใช้ได้ตั้งแต่กิ่งอ่อนไปจนถึงกิ่งแก่ โดยตัดกิ่งให้มีข้อติด 3 ข้อ ปักชำลงในกระบะเพาะ โดยใช้ทรายหยาบผสมแกลบอัตราส่วน 1:1 หรือปักชำลงในดินผสม โดยใช้ดินผสมแกลบดำ อัตราส่วน 1:1 ตัดกิ่งยาวประมาณ 20 ซม. กิ่งอ่อนปลายยอดให้ตัดออกไป 3 ข้อ เนื่องจากอ่อนเกินไปจะเหี่ยวเฉาง่าย ส่วนล่างสามารถนำไปปักชำได้ทั้งหมด เมื่อกิ่งชำแตกรากและตั้งตัวได้แล้วจึงย้ายลงชำในถุงพลาสติกประมาณ 1-2 เดือน หลังจากนั้นจึงย้ายต้นกล้าลงปลูกในแปลงได้

ภาพที่29 ภาพการปักชำ

ภาพที่30 ภาพการปักชำ (ต่อ)

ภาพที่31 ภาพการปักชำ (ต่อ)

5.4.3 การเสียบยอด เสาวรสสามารถเสียบยอดได้ทั้งบนต้นตอขนาดเล็กที่มีอายุน้อย หรือต้นตอขนาดใหญ่ที่มีอายุมาก เหตุผลของการขยายพันธ์โดยวิธีนี้เนื่องมาจากพันธุ์ลูกผสมผลสีม่วงเป็นพันธุ์ ที่ค่อนข้างอ่อนแอต่อโรคไวรัส ในขณะที่พันธุ์ผลสีเหลืองมีการเจริญเติบโตเร็ว แข็งแรงและค่อนข้างทนทานต่อโรคไวรัส จึงนิยมนำพันธุ์สีเหลืองมาเพาะเมล็ดเพื่อทำเป็นต้นตอ แล้วนำยอดพันธุ์ดีของพันธุ์ผลสีม่วงมาเสียบยอดลงบนต้นตอ คลุมยอดพันธุ์ดีด้วยถุงพลาสติก เพื่อลดการคายน้ำและการเหี่ยวเฉาของยอดหลังเสียบยอดประมาณ 30-45 วัน รอยแผลจะประสานสนิท ก็สามารถเปิดถุงคลุมได้

ภาพที่ 32 ภาพการเสียบยอด

ภาพที่ 33 ภาพการเสียบยอด (ต่อ)

ภาพที่ 34 ภาพการเสียบยอด (ต่อ)

ภาพที่ 35 ภาพการเสียบยอด (ต่อ)

5.5 การปลูกเสาวรสโดยทั่วไป

5.5.1 การปลูกและการบำรุงรักษา

เสาวรสจะออกดอกและให้ผลผลิตเมื่อมีอายุประมาณ 5-7 เดือนหลังปลูกด้วยเมล็ด สำหรับเสาวรสหวานนั้นจะติดผลเร็วกว่านี้ เนื่องจากต้นกล้าที่เปลี่ยนยอดพันธุ์ดีแล้ว แต่อายุที่เหมาะสมจะให้ติดผลไม่ควรน้อยกว่า 5 เดือน เพื่อให้ต้นแข็งแรงเพียงพอและขึ้นค้าง ปกติแล้วเสาวรสจะให้ผลผลิตได้ตลอดปีถ้าไม่ขาดน้ำ แต่ในสภาพที่ปลูกโดยอาศัยน้ำฝน เสาวรสจะให้ผลผลิตได้ดีในช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนกุมภาพันธุ์ ดังนั้นการปลูกเสาวรสจึงมี 2 แบบคือ การปลูกแบบอาศัยน้ำฝนและการปลูกแบบให้น้ำ

การปลูกโดยอาศัยน้ำฝน

เนื่องจากเสาวรสจะให้ผลผลิตได้ดีในช่วงเดือนสิงหาคมถึงกุมภาพันธุ์ ในการโดยอาศัยน้ำฝนจะต้องตัดแต่งในเดือนกุมภาพันธุ์ทุกปี ดังนั้นจะต้องวางแผนการปลูกก่อนเดือนอย่างน้อย 7 เดือน ซึ่งมี 2 ช่วง คือ ระหว่างเดือนตุลาคมถึงเดือนมกราคม ซึ่งเป็นช่วงปลายฤดูฝนถึงฤดูหนาว แต่หลังจากปลูกแล้วจะต้องให้น้ำเพื่อให้ต้นเสาวรสสามารถเจริญผ่านฤดูแล้งไปก่อน สำหรับอีกช่วงหนึ่ง คือ การปลูกในช่วงฤดูฝนในเดือนพฤษภาคมช่วงนี้ไม่ต้องให้น้ำ แต่ในปีแรกช่วงระยะเวลาให้ผลผลิตจะสั้นแค่ 3-4 เดือนเท่านั้น โดยจะเริ่มให้ผลผลิตในเดือนพฤศจิกายนถึงกุมภาพันธุ์

การปลูกแบบให้น้ำ

พื้นที่ปลูกที่สามารถให้น้ำได้ในฤดูแล้ง จะทำให้เสาวรสให้ผลผลิตได้ทันทีเมื่ออายุประมาณ 3.5-7 เดือนหลังจากปลูก และให้ผลผลิตได้ตลอดปี ดังนั้นจึงสามารถปลูกได้ทุกช่วงเวลา แต่ต้องคำนึงถึงความสะดวกในการปฏิบัติดูแลรักษาด้วย ตัวอย่างเช่นถ้าปลูกในช่วงฤดูฝนจะประหยัดในเรื่องการให้น้ำแต่จะต้องเพิ่มงานกำจัดวัชพืชมากขึ้น ถ้าหากจะปลูกในช่วงฤดูแล้งจะต้องลงทุนในการให้น้ำแต่ปัญหาเรื่องวัชพืชจะน้อยลงมาก

ภาพที่ 36 ใช้สปริงเกอร์ให้น้ำ

5.5.2 ขั้นตอนการปลูก

ขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ปลูก

การเตรียมพื้นที่ปลูกเสาวรสนั้น เริ่มจากต้องมีการไถพรวนพื้นที่ก่อน ระหว่างที่ไถพรวนพื้นที่ปลูกก็สามารถหว่านปุ๋ยอินทรีย์หรือปุ๋ยคอกได้เลย เนื่องจากรากของเสาวรสนั้นจะมีการแผ่กว้างและตื้น จากนั้นจึงขุดหลุมปลูกโดยให้มีระยะปลูก 3x3 เมตร จำนวน 177 ต้นต่อไร่ ขุดหลุมปลูกขนาด 30x30x30 เซนติเมตร รองก้นหลุมด้วยปุ๋ยอินทรีย์อีกครั้งใส่ลงในหลุมพร้อมปลูก

ภาพที่ 37 หลุมปลูก ที่มา: http://nanakaset.blogspot.com

ขั้นตอนการคัดเลือกและเตรียมต้นกล้า

การปลูกเสาวรสหวานต้องมีการเตรียมต้นกล้าไว้ล่วงหน้าให้พอดีกับช่วงเวลาที่จะปลูก เพื่อไม่ให้ต้นกล้าอ่อนแอหรือแก่เกินไปซึ่งจะมีผลให้ระบบรากไม่ดี เพราะการผลิตต้นกล้าเสาวรสส่วนใหญ่จะใช้ถึงปลูกขนาดเล็กเพื่อให้สะดวกต่อการขนส่ง จึงไม่สามารถเลี้ยงต้นกล้าไว้ในถุงปลูกนานได้และที่สำคัญต้นกล้าที่จะนำมาปลูกต้องคัดเลือกให้มีความสมบูรณ์สม่ำเสมอกัน และไม่แสดงอาการเป็นโรคไวรัส ถ้าหากเป็นต้นกล้าที่นำมาจากแหล่งอื่นควรนำมาเลี้ยงไว้ระยะหนึ่ง เพื่อให้ต้นกล้าฟื้นตัวจากการกระทบกระเทือนที่เกิดจากการขนส่ง

ภาพที่ 38 กล้าเสาวรส ที่มา: https://hkm.hrdi.or.th

5.5.3 วิธีการปลูก

หลังจากเตรียมหลุมปลูกแล้วก็สามารถนำกล้าลงปลูกได้เลย ในกรณีที่ปลูกด้วยต้นที่เปลี่ยนยอดแล้วต้องให้รอยต่อของยอดพันธุ์กับต้นตออยู่สูงกว่าระดับดินเพื่อป้องกันเชื้อโรค เมื่อปลูกต้นกล้าแล้วใช้หลักไม้ไผ่ขนาดเล็กความสูงถึงระดับค้างปักและผูกเถาติดกับหลักหรือเสาค้างก็ได้เพื่อให้ยอดของต้นตั้งตรงตลอดเวลาต้นจึงจะเจริญเติบโตได้เร็ว

ภาพที่ 39 การปลูกเสาวรส ที่มา: https://hkm.hrdi.or.th/

5.5.4 การทำค้าง

เนื่องจากเสาวรสเป็นไม้ผลประเภทเถ้าเลื้อยการปลูกจึงต้องมีค้างรองรับต้นและผลผลิต ค้างเสาวรสนั้นต้องแข็งแรงเพียงพอสามารถใช้งานได้อย่างน้อย 3 ปี ต่อการปลูก 1 ครั้ง และต้องทำก่อนปลูกหรือทำทันทีหลังปลูกเพื่อให้ทันกันการเจริญเติบโตของต้นเสาวรสสามารถเลี้ยงเถาได้ทันทีเมื่อเถาเจริญถึงค้าง ซึ่งปกติจะใช้เวลาประมาณ 3 เดือน ค้างเสาวรสมีอยู่ 2 ระบบคือค้างแบบรั้วตั้งและค้างแบบเป็นผืนที่ยังแยกออกเป็นอีก 2 แบบคือ แบบเป็นผืนใหญ่เต็มพื้นที่และแบบตัวที แต่ค้างแบบรั้วตั้งและแบบตัวทีค้างประกอบด้วย 2 ส่วน

1. เสาค้าง สามารถใช้ได้ทั้งเสาคอนกรีตกรณีที่ผู้ปลูกต้องการเป็นระยะเวลานานแต่การใช้เสาคอนกรีตจะเป็นการเพิ่มต้นทุนให้กับเกษตรกร แต่ข้อดีสามารถใช้ได้นาน เสาไม้หรือเสาไม้ไผ่ การจะใช้เสาไม้หรือเสาไม่ไผ่นั้นเป็นการประหยัดต้นทุนแต่ระยะเวลาในการใช้งานใช้ได้ไม่หลายปี จึงต้องเปลี่ยนบ่อยกว่าการใช้คอนกรีต ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อม การใช้ไม้หรือไม้ไผ่

2. ค้างส่วนบน เป็นพื้นที่เลื้อยของเถาเพื่อไม่ให้เถาห้อยตกลงมา เกษตรกรสามารถใช้ไม่ไผ่ลวดสังกะสีหรือเชือกไนล่อนก็ได้ แต่วิธีที่แนะนำให้เกษตรกรใช้คือใช้ลวดสังกะสีเบอร์ 14 สานเป็นโครงสร้างและใช้เชือกไนล่อนสานเป็นตารางขนาด 40×50 เซนติเมตร วิธีนี้จะทำให้น้ำหนักค้างส่วนบนลดลงในแต่ละปีต้องมีการซ่อมแซมค้าง ที่เสียหายให้แข็งแรงอยู่เสมอ

ภาพที่ 40 ค้างเสาวรส

5.5.5 การจัดทรงและการเลี้ยงเถา

เสาวรสเป็นพืชเช่นเดียวกับพืชเลื้อยเถาชนิดอื่นๆ ที่จะต้องจัดทรงต้นให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตโดยเริ่มตั้งแต่หลังปลูกจนกระทั่งขึ้นค้าง คือจะต้องให้เสาวรสมีลำต้นเดียวตั้งแต่ระดับพื้นดินจนถึงค้างในระยะนี้จะต้องคอยดูแลตัดหน่อที่งอกจากต้นตอกิ่งข้างของต้นออกให้หมดรวมทั้งต้องมัดเถาให้เลื้อยขึ้นตั้งตรงอยู่ตลอดเวลา เพราะถ้ายอดของเถาห้อยลงจะทำให้ยอดชะงักการเจริญเติบโต

ภาพที่ 41 การจัดทรงและการเลี้ยงเถา

5.5.6 การใส่ปุ๋ย

เสาวรสเป็นพืชที่ออกดอกติดผลตลอดทั้งปี ดังนั้นจึงจำเป็นต้องได้รับปุ๋ยอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ จึงจะให้ผลผลิตได้ดีและมีคุณภาพโดยเฉพาะเสาวรสรับประทานสดนั้นยิ่งมีความจำเป็นมาก ปุ๋ยที่ใช้ในการปลูกเสาวรสรับประทานสดมี 2 ชนิดคือ

1. ปุ๋ยอินทรีย์ มีประโยชน์ช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดินทำให้ต้นเสาวรสมีความแข็งแรงขึ้น ซึ่งได้แก่ปุ๋ยคอกและปุ๋ยหมัก ต้องใส่ให้อย่างน้อยปีละ 1 ครั้งคือใส่พร้อมกับการเตรียมดินก่อนปลูกและหลังจากสิ้นสุดช่วงเก็บเกี่ยวแล้ว โดยอาจจะใช้วิธีโรยเป็นแถวระหว่างต้นหรือรอบต้นแล้วไถพรวนหรือดินกลบ

2. ปุ๋ยเคมี มีความจำเป็นต่อเสาวรสรับประทานสดมาก โดยทั่วไปแล้วแนะนำให้ใช้อย่างต่อเนื่อง ครั้งละจำนวนน้อยแต่บ่อยครั้งเพราะเสาวรสมีช่วงการให้ผลผลิตตลอดปีและพื้นที่สูงมักจะมีปัญหาการชะล้างของฝนทำให้เกิดการสูญเสียของปุ๋ยได้ง่าย

ภาพที่ 42 ปุ๋ยเสาวรส

5.5.7 การให้น้ำและกำจัดวัชพืช

เสาวรสสามารถทนแล้งได้ดีพอสมควร สามารถปลูกโดยอาศัยน้ำฝนได้ แต่การปลูกเสาวรสรับประทานสดแบบให้น้ำเพื่อให้มีผลผลิตตลอดปีนั้นจำเป็นต้องให้น้ำในฤดูแล้งประมาณ 7 วันครั้ง ซึ่งสามารถให้ได้โดยหลายวิธี เช่น น้ำพ่นฝอย น้ำหยด หรือรดน้ำ ควรให้น้ำ 1-2 ครั้ง / สัปดาห์ เป็นต้น สำหรับวัชพืชนั้นต้องหมั่นกำจัดอยู่เสมอโดยอาจจะใช้วีการตัดหรือพ่นด้วยสารเคมีได้แต่ต้องไม่ใช้ประเภทดูดซึมหลังจากที่เถาเต็มค้างแล้วปัญหาเรื่องวัชพืชจะน้อยลง

ภาพที่ 43 การกำจัดวัชพืช

5.5.8 การปลิดผล

โดยธรรมชาติแล้วเสาวรสจะออกดอกและติดผลได้ง่ายโดยจะเกิดที่ทุกข้อบริเวณโคนก้านใบของกิ่งใหม่ หากไม่มีการปลิดผลออกจะทำให้ผลผลิตคุณภาพต่ำ ดังนั้นเกษตรกรจำเป็นต้องปลิดผลที่ไม่มีคุณภาพออก เหลือลูกที่สมบูรณ์ไว้

ภาพที่ 44 เก็บเกี่ยวผลผลิต

ที่มา: http://treehistory.blogspot.com/

5.5.9 การเก็บเกี่ยวและการบ่ม

เสาวรสสายพันธุ์สีเหลืองโดยปกติแล้วจะมีรสชาติเปรี้ยวกว่าสายพันธุ์สีม่วง การเก็บเกี่ยวโดยส่วนมากแล้วจะปล่อยให้ผลร่วงเอง เมื่อเก็บเกี่ยวจะไม่นิยมนำมาบ่มส่วนมากแล้วจะส่งโรงงานเพื่อนำไปแปรรูป เสาวรสสายพันธุ์สีม่วง จะเก็บเกี่ยวบนต้นโดยไม่ปล่อยให้ร่วงเหมือนกับเสาวรสพันสีเหลือง ผลเสาวรสจะสุกเมื่ออายุ 50-70 วันหลังดอกบาน ระยะเวลาที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยว คือ เมื่อผลเปลี่ยนเป็นสีม่วงแล้วประมาณ 70-80 เปอร์เซ็นต์ โดยสีของผลจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีแดงอมม่วง เก็บเกี่ยวโดยใช้กรรไกรตัดขั้วผลจากต้นให้ขั้วผลสั้นติดผลแล้วจึงนำมาบ่มเพื่อให้สีของผลสวยและมีรสชาติดีขึ้น โดยทั่วไปแล้วจะทำการเก็บเกี่ยวทุกๆ 2-3 วันต่อครั้ง ในการบ่มแนะนำให้ใช้แคลเซียมคาร์ไบด์หรือถ่านแก๊ส ซึ่งทำได้หลายวิธี เช่น ใส่ผลเสาวรสลงในภาชนะ เช่น กล่องกระดาษแล้วนำแคลเซียมคาร์ไบด์หรือถ่านแก๊สใส่ภาชนะ

ภาพที่ 45 การบ่มเสาวรส ที่มา:https://twitter.com/patty_1137/

5.5.10 โรคของเสาวรส

โรคและแมลงศัตรูของเสาวรส ปกติเสาวรสจะมีโรคและแมลงหลายชนิดรบกวนแต่เนื่องจากเป็นพืชที่ค่อนข้างจะแข็งแรงทนทานต่อโรคแมลงการปลูกส่วนใหญ่จึงไม่นิยมใช้สารเคมีป้องกันกำจัดโรค โรคและแมลงศัตรูที่สำคัญของเสาวรสมีดังนี้

โรคใบด่าง (Mosaic) โรคนี้เป็นโรคที่สำคัญที่สุดของเสาวรสเมื่อเกิดการระบาดแล้วจะทำให้ผลผลิตลดต่ำลงทั้งปริมาณและคุณภาพโดยในเสาวรสรับประทานสดนั้นส่วนใหญ่มีการติดโรคนี้เนื่องจากมีการขยายพันธุ์โดยใช้กิ่งพันธุ์ดีจากต้นแม่เดิมที่เป็นโรคอยู่ก่อนแล้ว

สาเหตุและอาการ โรคใบด่างเกิดจากเชื้อไวรัส 2 ชนิด คือ Passion fruit Woodiness Virus (PWV) ลักษณะต้นที่เป็นโรคจะแสดงอาการใบด่าง เส้นใบใส ผลด่างทั่วผลและมีอาการด่างแบบวงแหวน ผิวเปลือกไม่เรียบ เปลือกหนากว่าปกติ ผลจะมีลักษณะบิดเบี้ยวและขนาดเล็กลง เชื้อไวรัสอีกชนิดหนึ่งคือ Cucumber Mosaic Virus (CMV) อาการที่พบคือใบด่างเหลือง ใบยอดบิดและหงิกงอ ผิวใบไม่เรียบ ผลบิดเบี้ยว

ภาพที่ 46 ภาพโรคของเสาวรส

ที่มา: https://www.svgroup.co.th/

โรคจุดสีน้ำตาลที่ผล (Brown fruit spot) โรคนี้พบมากในแปลงปลูกที่ปลูกถี่เกินไปทำให้เถาแน่นทึบแสงแดดส่งไม่ถึง

สาเหตุและอาการ เกิดจากเชื้อ Collectotrichum sp. ทำให้ผลเป็นจุดสีน้ำตาลทั่วผล หลังจากนั้นแผลดังกล่าวจะพัฒนาเป็นกระเกิดนูนสีน้ำตาล

ภาพโดย https://www.svgroup.co.th/

ภาพที่ 47 โรคของเสาวรส ที่มา://www.svgroup.co.th/

โรครากเน่าและโคนเน่า (Damping off} Root rotand footrot) มักจะเกิดกับต้นกล้าหรือต้นที่ปลูกในพื้นที่ระบายน้ำไม่ดี ซึ่งเกิดจากเชื้อราในดิน โดยต้นจะแสดงอาการเหี่ยวบางครั้งลำต้นบวมพองและแตกเมื่อดูระบบท่อน้ำท่ออาหาร บริเวณรากและโคนต้นเป็นสีน้ำตาล

การป้องกันกำจัด

1. ในพื้นที่ที่เคยพบการแพร่ระบาดควรทำการไถดินตากแดด ประมาณ 2 สัปดาห์ เพื่อลดปริมาณของเชื้อโรคในดิน

2. ควรนำเชื้อราไตรโคเดอร์ม่ามาใช้รองก้นหลุมก่อนปลูกเพื่อป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อโรคในดินและควรใช้อย่างสม่ำเสมอ

3. หากเริ่มพบการเกิดโรคควรกำจัดแหล่งของเชื้อโรคโดยการเผาทำลาย

ภาพที่ 48 โรคของเสาวรส

ที่มา: https://www.palangkaset.com/

ที่มา: http://www.narinpoon.lnwshop.com

5.5.11 แมลงศัตรูเสาวรส

ไรแดงและไรสองจุด

เข้าทำลายพืชบริเวณใต้ใบทำให้ใบมีสีซีด การระบาดจะมีมากในช่วงฤดูแล้ง แมลงทั้งสองชนิดนี้เป็นแมลงปากดูด

การป้องกันกำจัด

ไรแดง หากมีการระบาดในปริมาณมากให้ใช้สารไดโคโฟล (dicofol) ฉีดพ่นบริเวณใต้ใบ การใช้สารเคมีนี้ให้ผสมสารจับใบในการพ่นทุกครั้งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเกาะติดที่ใบของสารเคมี

ไรสองจุด

ที่มา :http://www.hort.ezathai.org/

ภาพที่ 49 โรคของเสาวรส

5.5.12 เพลี้ยไฟ

เพลี้ยไฟมีปากเขี่ยดูดมักเข้าทำลายที่ใบอ่อนและผลอ่อน โดยส่วนของพืชที่ถูกเพลี้ยไฟเข้าทำลายจะมีลักษณะเป็นขีดสีน้ำตาล เพลี้ยไฟมักจะระบาดในช่วงฤดูแล้งหรือช่วงที่ฝนทิ้งช่วง หากพบการระบาดของเพลี้ยไฟควรทำการป้องกันกำจัดพร้อมกับบำรุงต้นพืชให้แข็งแรง

สารเคมีที่ใช้ป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟ

1. คาร์บาริล (เซฟวิน 85 ดับบิวพี) 20-30 กรัม/น้ำ 20 ลิตร
2. โพรดไทโอฟอส (โตกุไธออน) 20-30 มิลลิลิตร/น้ำ 20 ลิตร
3. ฟลูเฟนนอกซูรอน (แคสเดด) 20-40 มิลลิลิตร/น้ำ 20 ลิตร

ที่มา: https://www.nfc.or.th/content/7450 สภาเกษตรแห่งชาติ

ภาพที่ 50 โรคของเสาวรส ที่มา: https://www.facebook.com/aforch.center/photos/

6. ประโยชน์ของเสาวรส

6.1 เมล็ดพร้อมเยื่อหุ้มเมล็ดนำมาคั้นหรือปั่นเป็นน้ำผลไม้ดื่ม ให้รสเปรี้ยวจัด หรือปั่นผสมกับผลไม้อื่นที่มีรสหวาน เพื่อเพิ่มความหวาน อาทิ ประเทศทางแถบอเมริกาใต้นิยมนำเยื่อหุ้มเมล็ด และเปลือกมาปั่นผสมกับน้ำตาล ได้เครื่องดื่มที่เรียกว่า refresco

6.2 เปลือกเสาวรสใช้รับประทานสดหรือนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ อาทิ เปลือกเสาวรสแช่อิ่ม และเปลือกเสาวรสดอง เป็นต้น นอกจากนั้น ทั้งเปลือก และเยื่อหุ้มเมล็ดยังแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ อาทิ เสาวรสผง แยมเสาวรส และเยลลี่เสาวรส เป็นต้น

6.3 น้ำคั้นเสาวรสมีรสเปรี้ยวจัด ซึ่งให้รสเปรี้ยวมากกว่าน้ำส้มคั้นถึง 3 เท่า ดังนั้น อุตสาหกรรมผลิตน้ำผลไม้จึงนำน้ำเสาวรสมาเป็นส่วนผสมของน้ำผลไม้ชนิดอื่นเพื่อเพิ่มความเปรี้ยว อาทิ น้ำสับปะรด น้ำสตรอเบอรี่ น้ำมะละกอ และน้ำฝรั่ง เป็นต้น

6.4 เปลือกเสาวรสมีคาร์โบไฮเดรต และโปรตีน สามารถนำมาตากแห้งหรือใช้สดเป็นอาหารเลี้ยงโค กระบือ แกะ แพะ และหมู เป็นต้น

6.5 น้ำเสาวรสมีสาร Spermicidal จึงนำมาใช้ป้องกันการตั้งครรภ์ได้

6.6 เสาวรสนำมาสกัดสารสำหรับเป็นส่วนผสมของเครื่องสำอาง โดยเฉพาะครีมบำรุงผิว เพราะประกอบด้วยสารที่สามารถสะท้อนรังสียูวีได้

6.7 ต้านโรคมะเร็ง อาทิ มะเร็งทรวงอก และมะเร็งลำไส้

6.8 เสาวรสมีวิตามินซีสูง ช่วยต้านทานโรคหวัด และเสริมสร้างภูมิคุ้มกัน

6.9 เสาวรสมีสารประกอบฟีนอลิก ช่วยต้านอนุมูลอิสระ ลดการเสื่อมของเซลล์ ช่วยให้ผิวพรรณสดใส และแลดูอ่อนเยาว์

6.10 ช่วยขับปัสสาวะ

6.11 ช่วยขับพยาธิ

6.12 แก้โรคท้องเสีย

6.13 ช่วยลดความดัน

6.14 ป้องกันโรคต่างๆของวัยทอง

(ที่มา: วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, USDA Nutrient Database , https://medthai.com)

ประโยชน์ของเสาวรส(ต่อ)

6.15 บำรุงสายตา

เสาวรสอุดมไปด้วยวิตามินเอ และมีสารฟลาโวนอยด์อย่างเบต้าแคโรทีน (Betacarotene) ซึ่งถือเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพสูง ช่วยป้องกันเซลล์ประสาทตาถูกทำลาย และช่วยบำรุงสายตาได้เป็นอย่างดี

6.16 กระตุ้นระบบขับถ่าย

เสาวรสมีฤทธิ์ในการกระตุ้นระบบขับถ่าย เนื่องจากอุดมไปด้วยไฟเบอร์หรือกากใยอาหาร ทั้งยังมีส่วนช่วยในการขจัดคอเลสเตอรอลชนิดไม่ดีที่อยู่ในร่างกาย รวมทั้งสามารถขจัดสารพิษ จึงเหมาะสำหรับใช้ในการดีท็อกซ์ของเสียออกจากร่างกาย นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันมะเร็งลำไส้ได้ด้วย

6.17 เสริมภูมิคุ้มกันร่างกายให้แข็งแรง

ใครที่เจ็บป่วยบ่อยๆ แนะนำให้รับประทานผลไม้ชนิดนี้เป็นประจำ เพราะในเสาวรส 100 กรัม มีวิตามินซีสูงถึง 30 มิลลิกรัม คิดเป็น 36% ของปริมาณวิตามินซีที่ควรได้รับต่อวัน จึงช่วยให้ร่างกายได้รับวิตามินซีในปริมาณที่เพียงพอ ซึ่งจะช่วยส่งเสริมระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายให้แข็งแรง ป้องกันหวัด และป้องกันการกำเริบของโรคภูมิแพ้ได้

6.18 บำรุงหัวใจ

เสาวรส 100 กรัม มีโพแทสเซียมสูงถึง 348 มิลลิกรัม ซึ่งแร่ธาตุชนิดนี้เป็นสารอาหารที่มีบทบาทสำคัญต่อเซลล์และของเหลวในร่างกาย นอกจากนี้เมื่อร่างกายได้รับโพแทสเซียมในปริมาณที่พอเหมาะก็จะช่วยให้การทำงานของหัวใจและความดันโลหิตเป็นปกติ

6.19 ป้องกันกระดูกพรุน

เสาวรสมีสรรพคุณในการป้องกันโรคกระดูกพรุน เนื่องจากมีแคลเซียมและฟอสฟอรัสสูง วิธีการรับประทาน ให้คั้นเอาน้ำจากผลแก่จัด ใส่เกลือหรือน้ำตาลลงไปตามชอบ สามารถดื่มเรื่อยๆ ได้ทั้งวัน นอกจากนี้น้ำเสาวรสยังช่วยป้องกันโรคเหงือกอักเสบและช่วยให้ฟันแข็งแรงอีกด้วย

(ที่มา: https://www.khampo.com/)

7. สำรวจและรวบรวมข้อมูลจากนักวิชาการเกษตร

7.1 สัมภาษณ์นักวิชาการเกษตร สถานีพัฒนาเกษตรที่สูงอำเภอเขาค้อ

เสาวรสเป็นพืชจำพวกไม้เถาเลื้อย ที่มีความยาวถึง 15 เมตร มีถิ่นกำเนิดในประเทศ บราซิล ปารากวัย และตอนเหนือของประเทศอาร์เจนตินา่ เสาวรสได้ถูกนำมาปลูกในประเทศไทยเมื่อประมาณไม่เกิน 10 ปี มานี่เอง ปลูกมากในเขตภาคเหนือ และได้ขยายพื้นที่ออกไปทั่วทุกภาคของไทย เพราะสามารถขึ้นได้ดี ทั้งการเจริญเติบโตใช้เวลาในการดูแลรักษาเพียง 5-6 เดือน ก็สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ และสามารถเก็บผลผลิตเก็บผลผลิตได้ถึง 7 วัน โดยไม่เน่าเสียทำให้สามารถขนส่งไปขายยังต่างจังหวัดและที่ไกลๆได้ ทำให้เกษตรกร มีความสนใจและตื่นตัวที่จะปลูกกันมากขึ้น ตลาดและบริษัทอุตสาหกรรมก็มีการขยายตัวกันมากขึ้น ในส่วนของอำเภอเขาค้อซึ่งบริษัทอุตสาหกรรมการเกษตร เขาค้อ จำกัด มีความต้องการเสาวรสจำนวน 4,000,000 กิโลกรัม หรือใช้พื้นที่ปลูก 2,000 ไร่ ราคาประกันรับซื้อที่หน้าโรงงาน กิโลกรัมละ 4 บาท ในพื้นที่เขาค้อที่ปลูกกันอย่างไม่เพียงพอ กับความต้องการของตลาดและโรงงาน สถานีทดลองเกษตรที่สูงเขาค้อ จึงมีนโยบายที่จะส่งเสริมการปลูกเสาวรสในเขตพื้นที่เขาค้อให้มากขึ้น โดยจะให้ความรู้ในเรื่องการปลูก การดูแลรักษา การใส่ปุ๋ย การใช้สารกำจัดศัตรูพืช และแนวทางในการแก้ปัญหาในด้านอื่นๆ

7.1.1 ระยะการปลูก

ไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับสภาพของดินและความลาดเทของพื้นที่ หากสภาพดินดี ต้นเสาวรสก็จะสมบูรณ์ ปกติระยะปลูกใช้ 2x3 2.5x2.5 หรือ 3x3 เมตร ใน 1 ไร่ จะปลูกได้ 178 -267 ต้น

7.1.2 การเตรียมหลุมปลูก

ขุดหลุมปลูกให้มีขนาด กว้าง ยาว ลึก 30x30x30 โดยใส่ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอกในอัตราหลุมละ 1-2 กิโลกรัม และใส่ฟูราดานรองก้นหลุม ประมาณ 1 ช้อนชา กับปุ๋ยรองพืช 15-15-15 หลุมละ 1-2 ช้อนโต๊ะ

คลุกให้เข้ากัน ถมดินที่ผสมให้เต็มหลุม รดน้ำให้เปียกแล้วเอาต้นเสาวรสลงปลูกกลบดินบริเวณรอบๆ ต้นกล้าให้แน่นและให้น้ำทุกวัน ในการช่วงแรกจนอายุได้ 4 อาทิตย์ ต้นเสาวรสตั้งตัวไดแล้วให้น้ำวันเว้นวัน หรือ 3 วันครั้ง หรืออาทิตย์ละ 2 ครั้ง ทั้งนี้ต้องดูความชื้นในดินด้วย หลังจากปลูกได้ 4-5 เดือนก็จะออกดอกออกผล

7.1.3 การทำค้าง

ในระยะแรก ควรใช้หลักไม้ไผ่ช่วยพะยุงลำต้น เนื่องจากเสาวรสยังไม่มีมือจับ สำหรับเสาหลักนั้นควรเป็นเสาไม้เนื้อแข็งหรือเสาปูนขนาด 3x3 นิ้ว ยาวประมาณ 2.5 เมตร เพราะต้องฝังลึกลงไป 50 เซนติเมตร แล้วใช้ลวดซึ่งผ่านตรงหัวเสาแต่ละต้นโดยตอกตะปูที่หัวเสาพยายามขึงให้ตึงแล้วทำสมอบก เพื่อ

ป้องกันการเอนหรือตกท้องช้าง หลังจากนั้นใช้เชือกถักเป็นรูปตารางสี่เหลี่ยมผืนผ้าแต่ละช่องห่าง 25-30 เซนติเมตร ควรเว้นช่องทางเดินประมาณช่องละ 1 เมตร หรือ 50 เซนติเมตร

7.1.4 การให้น้ำ

ในระยะแรกที่เริ่มปลูกใหม่ๆจะต้องให้น้ำอย่างสม่ำเสมอโดยเฉพาะในช่วงหน้าแล้งต้องให้น้ำอย่างถั่วถึงและเพียงพอ ถ้าขาดน้ำในช่วงแรกของการเจริญเติบโตจะจะทำให้ต้นแคระแกรนและขาดการเจริญเติบโตในทันที ซึ่งจะมีผลต่อเนื่องของโรคและแมลงมารบกวนได้

7.1.5 การใส่ปุ๋ยเสาวรส

ช่วงที่เป็นต้นกล้าควรใส่ปุ๋ยรองพื้น 15-15-15 รองก้นหลุมก่อน และเมื่อต้นกล้าตั้งตัวได้แล้วจึงให้ใช้ปุ๋ย สูตร 20-20-20 อัตรา 100 กรัม ต่อต้น ทุก 15 วัน 4 ครั้ง เมื่อต้นโตแล้วให้ใช้ปุ๋ยสูตร 12-24-12 หรือ 13-13-21 อัตรา 100 กรัม/ต้น ใส่เดือนละครั้งสลับกับปุ๋ยยูเรียเดือนเว้นเดือน ใส่ให้ห่างจากต้น 25 เซนติเมตร และขยายวงกว้างออกเรื่อยๆ เดือนละ 5-10 เซนติเมตร ขณะเดียวกันปุ๋ยคอกก็ควรเติมอยู่เสมอ ครั้งละ ¼ บุ้งกี๋ ทุก 2-3 เดือน

7.1.6 การตัดแต่งกิ่งเสาวรส

ปกติแล้วเสาวรสมีการเจริญเติบโตเป็นเถาเลื้อยและจะมีกิ่งแขนงเกิดขึ้นตามข้อ ควรเด็ดทิ้งเพื่อให้มีต้นเสาวรสที่แข็งแรง 2-3 กิ่ง ซึ่งจะทำให้ได้ลำต้นที่โตแข็งแรง เมื่อต้นเสาวรสขึ้นค้างและทอดยอดไปตามค้างได้ยาว 1 เมตร ให้ทำการตัดยอดหรือเด็ดยอด เพื่อให้แตกแขนงที่กิ่งหลัก จะทำให้ยอดเสาวรสมีจำนวนมากขึ้นและมีกิ่งมากทำให้ผลผลิตต่อต้นมากขึ้นด้วยและในส่วนของต้นที่อยู่ใต้ค้างถ้ามีกิ่งแขนงแตกออกมาให้ตัดทิ้งให้หมด

7.1.7 พื้นที่ปลูกเสาวรสในเขตเขาค้อ

เกษตรกรผู้ปลูกเสาวรสที่สถานีทดลองเกษตรที่สูงเขาค้อส่งเสริมมีทั้งหมด 250 ครอบครัว พื้นที่ 1,600 ไร่

ผลิตเฉลี่ย ปีที่ 1 = 1,500 ก.ก/ไร่

ปีที่ 2 = 3,500 ก.ก/ไร่

ปีที่ 3 = 1,500 ก.ก/ไร่

การปลูกและการดูแลรักษาเสาวรส

ฤดูกาลปลูก โดยปกติในภาคเหนือ จะเริ่มออกดอกติดผลประมาณเดือน มิถุนายน เป็นต้นไปจนหมดฤดูฝนดังนั้นฤดูกาลปลูกที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ดอนที่ใช้น้ำฝน เป็นหลักควรลงกล้าปลูกตั้งแต่เดือนมีนาคม – พฤษภาคม แต่ถ้าสามารถให้น้ำได้ ควรปลูกตั้งแต่เดือน มกราคม-กุมภาพันธ์ ได้ยิ่งดี

7.1.8 การเพาะกล้า

ควรเริ่มเพาะกล้าตั้งแต่เดือน ธันวาคม-มกราคม และย้ายลงชำในถุงในเดือน มกราคม-กุมภาพันธ์ จะได้สมบูรณ์ พร้อมที่จะลงแปลงปลูกได้

7.1.9 การเตรียมหลุมปลูก

ระยะปลูกที่เหมาะสม ควรอยู่ในระยะ 2×3 หรือ 3×3 เมตร จะได้ต้นปลูกระหว่าง 180-270 ต้น/ไร่ การเตรียมควรขุดหลุมกว้าง 50 เซนติเมตร และลึก 30 เซนติเมตร เมื่อได้หลุมที่ต้องการแล้วควรใช้ดินที่ขุดจากส่วนบนกลบบนลงไปเกือบเต็มหลุม และใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยเทศบาลหรือมูลสัตว์) ลงในหลุม หลุมละ 1-2 กิโลกรัม ใส่ปูนขาว หลุมละ 50-100 และปุ๋ยวิทยาศาสตร์ สูตร 15-15-15 หรือ 13-13-21 หลุมละ 50-100 กรัม แล้วจึงคลุกดินในหลุมให้เข้ากันดีทั่วหลุม ก็พร้อมที่จะลงต้นกล้าได้ การเตรียมหลุมนี้ถ้าเพิ่มยาฟูราดานลงไปในหลุมประมาณ 10 กรัม (1ช้อนโต๊ะ) ก็จะช่วยป้องกัน แมลงได้ดีมาก

7.1.10 การสร้างค้าง

การปลูกเสาวรสต้องมีค้างเพราะเป็นพืชเถา ให้ใช้หลักปักค้างต้นทุกต้น อาจใช้ไม้ไผ่ ไม้รวก หรือไม้ชนิดอื่นๆ ให้มีความสูง 2 เมตร จากพื้นดิน เสาหลักต้องแข็งแรง มีเส้นผ่าศูนย์กลางเสาประมาณ 2-3 นิ้วขึ้นไป ในระยะเสาวรสเลื้อยให้คอยผูกต้นไว้ให้ขึ้นไปตามหลักที่ปักต้นเสาวรส 1 หลุมควรมีต้นเดียว ขึ้นไปตามหลักถ้ามีตาแตกออกมาระยะล่างๆให้ปลิดออกให้หมด เมื่อต้นเสาวรสขึ้นสูงถึงปลายหลักแล้วให้เด็ดยอดทิ้งเพื่อให้แตกกิ่งแขนง ควรเลี้ยง 3-4 แขนง/1 ต้น และจัดกิ่งแขนงให้เรียงแผ่กระจายไปรอบๆ แผงค้างไม่รวมเป็นกระจุกทิศทางเดียวกัน เมื่อยยอดแขนงเลื้อยยาวพอสมควร ประมาณ 1.5-2 เมตร ให้เด็ดปลายยอดทิ้งเพื่อให้แตกกิ่งแขนงมากขึ้น ถ้ามีกิ่งแขนงมากก็จะติดผลมาก

7.1.11 การดูแลรักษา

หลังจากปลูกแล้วประมาณ 3-4 สัปดาห์ ลำต้นเริ่มตั้งตัวได้ดีแล้ว ให้ใส่ปุ๋ยเร่ง ดังนี้

ครั้งที่1 ใช้สูตร 21-0-0 ผสมกับสูตร 15-15-15 หรือ 13-13-21 ในอัตราส่วนเท่ากัน (1:1)

ครั้งที่2 ให้ใส่ห่างจากครั้งแรก 1 เดือน โดยใส่ปุ๋ยสูตรเดิมอีกต้นละ 50 กรัม โดยใช่วิธีเดียวกันกลบดินแต่งหลุมให้เรียบร้อย การใส่ปุ๋ยครั้งหลังนี้อาจจะเพิ่มปุ๋ยอีกเล็กน้อยก็ได้ถือว่าเป็นการใส่ปุ๋ยครั้งสุดท้ายในฤดูการแรก ข้อควรระวังถ้าสังเกตเห็นมีใบมากหรือดกเกินไป ควรงดให้ปุ๋ยหรือลดน้ำจำนวนลงโดยเฉพาะปุ๋ยไนโตรเจน

7.1.12 การกำจัดวัชพืช

ถ้าใช้ยากำจัดวัชพืชให้ใช้ชนิดถูกหญ้าตายได้เช่น การใช้สารพาราควอท (กรัมม๊อกโซน) แต่ต้องระมัดระวังไม่ให้ละอองยาไปโดนต้นและใบเสาวรส ถ้ามีแรงงานควรใช้จอบถากแต่ต้องระวังไม่ขุดลึกจนไปกระเทือนโคนและราก อาจทำให้ต้นเสาวรสอาจทำให้ต้นเสาวรสเฉาและตายได้

7.1.13 การเก็บผล

ปกติเสาวรสจะเริ่มออกดอกติดผลในราวเดือน มิถุนายนถึงกรกฎาคม(ถ้าต้นสมบูรณ์) และจะติดไปเรื่อยๆ จนถึงฤดูหนาวช่วงระยะออกดอกจนถึงผลแก่ประมาณ 2 เดือน ฤดูที่ติดผลดกมากคือเดือนสิงหาคม –กันยายน และพฤศจิกายน-มกราคม การเก็บผลจะเก็บเกี่ยวเฉพาะผลที่แก่และหล่นลงเองเท่านั้น ไม่ได้ปลิดจากต้นเพราะถ้าแก่เต็มที่แล้วผลเสาวรสจะหล่มร่วงเอง

7.1.14 โรคและแมลงศัตรูเสาวรส

โรคจุดสีน้ำตาล เชื้อของโรคจะเข้าทำลายลำต้น ข้อ ใบ และผลของเสาวรส ถ้าทำลายทางใบจะเห็นใบเป็นจุดสีน้ำตาลต่อมาจะร่วง ถ้าทำลายทางต้น,ข้อ จำทำให้ต้น,ข้อ เปลี่ยนเป็นสีดำ และแห้งตายถ้าทำลายผลจะเห็นเป็นรอยฉ่ำน้ำที่ผิงของผลต่อมาจะเป็นโพรงสีน้ำตาล

การป้องกันกำจัด

ตรวจพบให้ใช้ยาที่มีสารประกอบทองแดงอ๊อกซี่คลอไรด์ 0.2-1 ฉีดพ่นสลับกับไซแนบ 0.3% หรือไทแรม 0.12% ฉีดให้ทั่วแปลงถ้าระบาดมากๆก็ทำการรื้อแปลงเผาทำลายเพื่อไม่ให้ระบาดไปยังแปลงอื่น

โรคโคนเน่า,คอเน่า เกิดจากเชื้อลาชนิดหนึ่งซึ่งเชื้อราชนิดนี้จะทำลายโคนของต้นในสภาพดินมีน้ำขังแฉะหรือระบายน้ำได้ดี

การป้องกันกำจัด

ระบายน้ำไม่ให้น้ำขังแฉะ ในขณะทำการเตรียมหลุดปลูกควรใส่ยากันเชื้อราลงไปด้วย ถ้าหากมีโรคนี้เกิดขึ้นในแปลงปลูกให้ใช้ยาโดนิลของทีเจซีหรืออาลีเลท หรือ ริดโดมิล 5 จี หรือ ไฮลิมิล ผสมกับทองแดงซัลเฟต ในอัตราส่วน1/1 ส่วนทาบริเวณที่เกิดโรคนี้

โรควุ้ดดิเนส เกิดจากไวรัส พาหะคือเพี้ยอ่อน มักระบาดช่วงที่มีอากาศเย็น ทำให้เกิดใบด่าง หงิกงอ และบิดและผลจะมีขนาดเล็กลงเรื่อยๆเปลือกผลแข็งเหมือนเนื้อไม้ ผลเนื้อน้อยลง

การป้องกันกำจัด

ปัจจุบันยังไม่มีตัวยามารักษาโรคนี้ ดังนั้นจึงต้องทำการป้องกันเอาไว้ก่อน ควรตรวจดูแปลงปลูกอยู่เสมอ หากพบมีอาการของโรคนี้ระบาดให้ทำการตัดและเผาทิ้งเสีย เพื่อป้องกันไม่ให้ลุกลามไปยังต้นอื่น

โรครากเน่า พบได้บ่อยๆ พบได้ไม่ว่าปลูกพืชไร่ชนิดใดก็ตาม สาเหตุเกิดเกิดจากเชื้อราชนิดเดียวกันกับโรคโคนเน่าหรือคอเน่าหรืออาจเกิดจากดินในแลงระบายน้ำไม่ดี มีน้ำขังแฉะซึ่งก็เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดโรครากเน่าได้ ทำลายรากที่อยู่ในดิน หากขุดดูจะเห็นรากเน่าเละ

การป้องกันกำจัด

คล้ายกับโรคโคนเน่า คือจะต้องมีการจัดการให้ดินมีการระบายน้ำได้ดี เพื่อป้องกันไม่ให้แฉะและในเวลาเตรียมทำการปลูกควรใส่ยากันราผสมลงไปด้วยเพื่อป้องไม่ให้เกิดโรคเน่า ถ้าตรวจพบว่าโรคนี้ระบาดให้ทำการถอนต้นที่เป็นโรคทิ้ง แล้วจึงทำการปลูกใหม่หรืออาจปลูกพืชอื่นก่อนฤดู แล้วค่อยกลับมาปลูกใหม่

โรคบวมตามข้อหรือกิ่งแขนง เกิดจากเชื้อรา อาการตามกิ่งตามข้อจะบวมเป่งออกมา ทำให้ต้นแห้งตายการป้องกันถาพบให้ยากันราทาที่บริเวณที่เป็นโรค ถ้าเป็นกับกิ่งให้ตัดกิ่งทิ้งเสีย ระวังอย่าให้กิ่งหักพับจะทำให้เกิดโรคนี้ได้ง่าย

แมลงศัตรู

ด้วงปีกแข็ง เป็นแมลงทำลายต้นเสาวรสในระหว่างเจริญเติบโตทั้งกัดกิน ในเวลากลางวันและกลางคืน จะกัดกินใบตั้งแต่เริ่มแตกจนถึงใบอ่อนตลอดจนยอดเสาวรสด้วย ได้แก่ ด้วงแรด ด้วงกุหลาบ แมลงค่อม

การป้องกันกำจัด

ใช้เซฟวิน 85 ฉีดพ่น 3-5 วัน/ครั้ง ฉีดช่วงเย็นถึงค่ำจะได้ผลมากที่สุด

แมงมุมแดง จัดเป็นแมลงชนิดหนึ่งที่คอยทำลายเสาวรส มีอยู่หลายชนิดมีขนาดตัวเล็กมากจนเกือบมองไม่เห็นมีขาอยู่ 8 ขา มักอาศัยอยู่ใต้ใบ คอยดูดน้ำเลี้ยงจากใบ และยอดอ่อน เมื่อฝนตกชุกจะทำให้จำนวนลดลงส่วนมากโดยจะหนีลงไปอยู่ในดิน

การป้องกันกำจัด

ถ้าตรวจพบว่าแมงมุมแดงระบาดอยู่ใต้ใบเสียเป็นส่วนใหญ่ให้ใช้ยาฆ่าแมลงฉีดพ่น

หนอนเจาะกิ่งหรือลำต้น เกิดจากหนอนผีเสื้อตัวเต็มวัยมาไข่ทิ้งไว้บริเวณแกนกลางของกิ่งหรือลำต้น เมื่อฟักเป็นตัวหนอนจะกินเข้าไปในกิ่งแล้วอาศัยและหากินบริเวณแกนกลางของกิ่งหรือลำต้นไปตามความยาวของกิ่ง

การป้องกันกำจัด

ใช้ยาฆ่าแมลงชุบสำลีอุดตามรูที่หนอนเจาะทำให้หนอนตายได้และต้นเสาวรสจะเฉาอยู่ 2-3 วันจะฟื้นได้ หรือใช้ยาเพมาลาไธออนและนำกิ่งที่หนอนเจาะไปเผาทำลายเสีย

เพลี้ยหอย เพลี้ยแป้ง ดูดกินน้ำเลี้ยงตามใบ กิ่ง ยอด ก้านใบหากระบาดมากเสาวรสเจริญเติบโตไม่เต็มที่ทำให้ผลผลิตลดลง

การป้องกันกำจัด

ใช้ยาบ้านฉุน 1 กิโลกรัม ต่อน้ำ 20 ลิตร สบู่ 180 ผสมกัน เข้าฉีดพ่นให้ถูกตัวเพลี้ยหรือใช้ โพลิดอนอี 605 หรือลูซาไธดอนอัตรา 1/1.5,2.5 ฉีดขณะไม่มีแสงแดด

ใบและยอดสั้น เกิดจากปลวกหรือมดที่อาศัยในดินบริเวณโคนต้นคอยกัดกินรากภายในดิน ทำให้ต้นเสาวรสเจริญเติบโตไม่เต็มที่ ปลวกเข้าทำลายรากทำให้รากดูดน้ำและอาหารได้ไม่สะดวก ถ้าเป็นมากต้นอาจตาย หรือบางครั้งเกิดเพราะอากาศแห้งแล้งจัดไม่มีฝน สามารถเกิดอาการใบและยอดสั้นได้เหมือนกัน

การป้องกันกำจัด

ใช้ฟูราดานโรยหรือยาฆ่าแมลงผสมน้ำราดไปที่โคนสามารถกำจัดมดปลวกที่ทำลายได้

(ทีมา: เกษตรที่สูงอำเภอเขาค้อ)

ตารางที่1 ตารางแสดงยอดผู้ปลูกเสาวรสในพื้นที่อำเภอเขาค้อ

ลำดับ	อำเภอ	ครัวเรือน	พื้นที่เพาะปลูก	พื้นที่เก็บเกี่ยว
1	ทุ่งเสมอ	3	13	13
2	แคมป์สน	4	7.5	7.5
3	เขาค้อ	14	61.25	61.25
4	ริมสีม่วง	4	19	19
5	สะเดาะพง	1	3	3
6	หนองแม่นา	41	142	142
7	เข็กน้อย	0	0	0
รวมทั้งอำเภอ		67	246.50	246.50

(ที่มา: เกษตรอำเภอเขาค้อ)

7.2 สำรวจและรวบรวมข้อมูลจากเกษตรกรผู้มีอาชีพปลูกเสาวรส

จากการสำรวจและรวบรวมข้อมูลจากเกษตรกรผู้มีอาชีพปลูกเสาวรส ได้ข้อมูลพื้นฐานการปลูกเสาวรสในพื้นที่อำเภอเขาค้อ ซึ่งส่วนใหญ่แล้วขั้นตอนการปลูกและขั้นตอนอื่นๆ เหมือนการปลูกในพื้นที่อื่น การปลูกเสาวรสบนเขาค้อจะเริ่มปลูกตั้งแต่เดือนเมษายนเป็นต้นไปของทุกปี

7.2.1 สายพันธุ์ที่นิยมปลูกบนพื้นที่อำเภอเขาค้อ

สายพันธุ์สีม่วง มีรสเปรี้ยวอมหวาน

สีเหลือง มีรสเปรี้ยวจัด

7.2.2 การขยายพันธุ์

การหว่านเมล็ดลงกระบะเพาะ ระยะเวลาในการงอกของเมล็ด 1-4 สัปดาห์ หลังจากเมล็ดงอกแล้วต้องย้ายชำลงถุงเพาะ เมื่อต้นกล้ายาวได้ 15-30 ซม. จึงสามารถนำไปปลูกในแปลงได้

เพาะเมล็ดในถุงเพาะโดยตรง ระยะเวลาในการงอกของเมล็ด 1-4 สัปดาห์ เมื่อต้นกล้ายาวได้ 15-30 ซม. จึงสามารถนำไปปลูกในแปลงได้

7.2.3 การเตรียมพื้นที่ปลูก

ไถดินตากแดดทิ้งไว้เพื่อฆ่าเชื้อในดิน และโรยปูนขาวเพื่อปรับสภาพดิน

พรวนดินพอประมาณ

กำจัดลูกวัชพืชโดยการฉีดยาฆ่าหญ้า

7.2.4 การปลูก

ทำค้างโดยใช้ไม้ไผ่เป็นเสาและขึงเชือกด้านบน ระยะห่าง 2 x 2 เมตร

ขึงเชือกไขว้เป็นตาข่ายตลอดพื้นที่ปลูก

ขุดหลุมระหว่างเสา 1 หลุม

รองขี้ไก่ก้นหลุมและดินปิดขี้ไก่พอประมาณ ก่อนจะลงกล้าปลูก

นำกล้าที่เพาะใส่ถุงไว้ลงหลุมปลูก

7.2.5 การให้น้ำ

น้ำฝน

ใช้สปริงเกอร์ให้น้ำช่วงฝนทิ้งช่วง

7.2.6 การให้ปุ๋ย

ช่วงแรกของการปลูกต้นกล้ายังมีขนาดเล็ก ให้ปุ๋ยยูเรียเร่งการเจริญให้ต้นใบในปริมาณที่เหมาะสม

ช่วงออกดอกและผลให้ปุ๋ยสูตร 13-13-21 บำรุง 2-3 ครั้ง

ใช้ฮอร์โมนเขียว ฉีดพ่นเร่งการเจริญเติบโต

7.2.7 การออกดอก/ผล

หลังจากปลูกได้ 1-2 เดือน หากต้นเสาวรสได้รับน้ำและได้รับการดูแลดีจะออกดอกและติดลูก

7.2.8 การเก็บเกี่ยวผลผลิต

หลังจากปลูกแล้วประมาณ 4-5 เดือน จะเริ่มเก็บผลผลิตได้ และเก็บผลผลิตได้อีก 3-4 เดือน ต้นเสาวรสก็จะเริ่มโทรม วายและหมดอายุ

7.2.9 โรคและแมลง

หนองแดง เจาะลำต้นทำให้ต้นตาย

เชื้อรา ทำให้ต้นไม่สมบูรณ์และผลไม่สวย ใช้แอนทราโคล ฉีดพ่นป้องกัน

แมลงวันทอง เจาะผลเสาวรสทำให้ลูกหงิก เหี่ยว แห้ง

ไรแดง เจาะยอดและใบทำให้ยอดหดและใบหงิก

เพลี้ยไฟ เจาะยอดและใบทำให้ยอดหดและใบหงิก

จิ้งหรีด เจาะรากต้นทำให้ต้นตาย ใช้หลอดดูดชามูกห่อโคนต้นป้องกัน

2.2.10 ราคาผลผลิต

ราคาอยู่ที่ 8-11 บาท/กิโลกรัม

ได้ผลผลิตเฉลี่ย 2-4 ตัน/ไร่

7.3 สำรวจและรวบรวมข้อมูลจากผู้แปรรูปเสาวรส

7.3.1 ราคาผลิตภัณฑ์จากเสาวรสพื้นที่อำเภอเขาค้อ

- แปรรูปเป็นน้ำเสาวรส ราคา 1 ขวด/10 บาท
- แปรรูปเป็นสบู่อาบน้ำ 1 ก้อน/35 บาท
- แปรรูปเป็นโลชั่นบำรุงผิว 1 ขวด/50 บาท
- แปรรูปเป็นแยม ราคา 50/กระปุก
- แช่แข็ง 5 กิโลกรัม/ถุง ราคา 200-250 บาท/ถุง

เสาวรสนั้นนอกจากจะรับประทานผลสดๆ ได้แล้ว ยังสามารถนำมาแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าและเป็นการถนอมอาหารได้หลากหลาย เช่น นำมาทำเป็นเครื่องดื่มเสาวรส แยมเสาวรส กรานิต้าเสาวรส ครีมบูเล่เสาวรส สมูทตี้เสาวรสนมสด เค้กเสาวรส ทาร์ตเสาวรส และไอศกรีมเสาวรส เป็นต้น

แยม คือ การแปรรูปแยมเป็นการถนอมอาหารโดยการใช้น้ำตาลความเข้มข้นสูงเพื่อลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (water activity) และมีค่า pH ต่ำเพื่อป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ จัดอยู่ในกลุ่ม intermediate moisture foodการเกิดเจล (gel) ของแยมเกิดจาก กรด น้ำตาล และเพกทิน (pectin) ผสมกันในสัดส่วนที่เหมาะสม โดยกรด น้ำตาล และเพกทิน เป็นส่วนประกอบที่มีอยู่แล้วในผลไม้ แต่อาจมีสัดส่วนที่ไม่เหมาะสม

น้ำเสาวรส ประโยชน์ของน้ำเสาวรส หากดื่มน้ำเสาวรสเป็นประจำก็จะช่วยทำให้นอนหลับสบายขึ้น เพราะเสาวรสมีสารเซโรโทนินซึ่งเป็นสารที่มีหน้าที่ควบคุมการนอนหลับ ช่วยลดความเครียดและอาการซึมเศร้า เมื่อกินเสาวรสแล้วจึงทำให้ร่างกายหลับง่ายขึ้น โดยมีผลการทดลองว่าเพียงแค่ดื่มชาเสาวรสก็ช่วยให้นอนหลับสบายขึ้น

7.3.2 รายชื่อเกษตรกรผู้ให้ข้อมูลจากการลงพื้นที่

นางดวงทิพย์ สายโสภา และนายประมาณ บ้านสนสวย 64 ม.2 ต.หนองแม่นา อ.เขาค้อ จ.เพชรบูรณ์ เบอร์โทรศัพท์ 089-5685242

นายประสิทธิ์ ทิศพรม บ้านทานตะวัน 99 ม.5 ต.หนองแม่นา อ.เขาค้อ จ.เพชรบูรณ์ เบอร์โทรศัพท์ 086-2142383

นายสมศักดิ์ ชุ่มดา บ้านหนองรางช้าง 12 ม.4 ต.หนองแม่นา อ.เขาค้อ จ.เพชรบูรณ์

นายคำนึง เสวิสิทธิ์ บ้านสนสวย 4 ม.6 ต.หนองแม่นา อ.เขาค้อ จ.เพชรบูรณ์

นายรุ่งเพชร ทองคำ บ้านสนสวย 30 ม.6 ต.หนองแม่นา อ.เขาค้อ จ.เพชรบูรณ์

นายช้อน มีชัย บ้านสนสวย 16 ม.6 ต.หนองแม่นา อ.เขาค้อ จ.เพชรบูรณ์

7.3.3 การแปรรูปเสาวรส

การแปรรูปเสาวรสอำเภอเขาค้อกลุ่มแม่บ้าน บ้านหนองแม่นา อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ ได้แปรรูปเสาวรสโดยการนำมาทำเป็นแยมเสาวรส

แยมเสาวรส

ส่วนผสมแยมเสาวรส

1. เนื้อเสาวรส

2. เปลือกเสาวรส

3.น้ำตาลทราย

4.เพกติน

5.เกลือ

วิธีทำแยมเสาวรส

1. นำเสาวรสมาล้างน้ำให้สะอาด

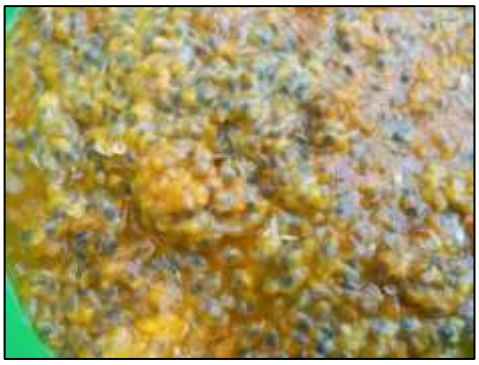
2. หลังจากล้างเสาวรสสะอาดแล้ว ตัดส่วนหัวหรือผ่าครึ่งควักเนื้อเสาวรสออก ใช้ผ้าขาวบางหรือกระชอนแยกเอาแต่เนื้อ

3. ปอกเปลือกนอกออก นำเปลือกที่ปอกแล้วมาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ

4. เอาเปลือกไปต้มกับน้ำให้สุกนิ่ม ประมาณครึ่งชั่วโมง

5.เอาเปลือกเสาวรสใส่หม้อหรือกระทะ ใส่น้ำตาลทราย/เกลือลงไปตามลงไป แล้วเคี่ยวไปเรื่อยๆจนน้ำเชื่อมเข้าเนื้อ ใส่เนื้อเสาวรส/เพกตินตามลงไป น้ำเริ่มงวดปิดไฟตักใส่ภาชนะปิดฝาเก็บไว้กินได้นาน

ภาพที่ 51 ภาพการทำแยมเสาวรสของกลุ่มแม่บ้าน บ้านหนองแม่นา



น้ำเสาวรส

ส่วนประกอบ

เสาวรส 5 กิโลกรัม

น้ำ 2.5 ลิตร

น้ำตาลทราย 600 กรัม

เกลือ 10 กรัม

ภาพที่ 52 น้ำเสาวรส ที่มา: https://sistacafe.com

วิธีทำ

1. ตั้งหม้อต้มน้ำให้เดือด เมื่อเดือดแล้วปิดแก๊สพักน้ำให้เย็น
2. นำเสารสผ่าครึ่ง ตักเอาแต่เนื้อในออกมา จะได้ประมาณ 2,600 กรัม
3. นำเนื้อในที่ได้มาขยำพร้อมกับน้ำต้มสุกที่เย็นแล้วด้วยผ้าขาวบาง
4. เติมน้ำตาลทรายและเกลือปรุงรสคนให้น้ำตาลและเกลือละลาย
5. กรองด้วยผ้าขาวบางอีกรอบ รับประทานได้ทันที โดยเสริฟกับน้ำแข็ง

อเมริกาโน่เสาวรสน้ำผึ้ง

ส่วนประกอบ

เนื้อเสาวรส 1 ลูก

ผงกาแฟเย็น 2 ซอง

น้ำผึ้ง 2 ช้อนโต๊ะ

น้ำเปล่า 1/3 แก้ว

น้ำอุ่น 1/3 แก้ว

น้ำแข็ง 1 แก้ว

ภาพที่ 53 อเมริกาโน่เสาวรสน้ำผึ้ง ที่มา: https://cookpad.com/

วิธีทำ

1. ส่วนที่ 1 น้ำเสาวรสน้ำผึ้ง : ละลายน้ำผึ้งกับน้ำอุ่นเล็กน้อย ใส่เสาวรสลงไปคนให้เข้ากัน พักไว้

2. ส่วนที่ 2 กาแฟ : ละลายผงกาแฟเย็น ในน้ำเย็นประมาณ 1/3 แก้ว พักไว้

3. นำน้ำเสาวรสที่ผสมแล้ว (ส่วนที่ 1) ใส่ลงในแก้วเป็นชั้นล่างสุด เติมน้ำแข็งให้เต็มแก้ว เทกาแฟที่ละลายแล้ว (ส่วนที่ 2) ลงไป พร้อมเสิร์ฟ

น้ำเสาวรสมะม่วงน้ำผึ้งปั่น

<u>ส่วนประกอบ</u>

มะม่วงน้ำดอกไม้สุก 1 ลูก

เนื้อเสาวรส 5 ช้อน

น้ำผึ้ง 2 ช้อนชา

น้ำแข็ง 1 ถ้วยตวง

ภาพที่ 54 น้ำเสาวรสมะม่วงน้ำผึ้งปั่น ที่มา: https://www.wongnai.com

<u>วิธีทำ</u>

1. นำน้ำแข็งใส่โถปั่น
2. หั่นมะม่วงสุกใส่โถ ตามด้วยเสาวรส
5. ตักน้ำผึ้งใส่โถ
6. ปั่นส่วนผสมทุกอย่างให้เข้ากันละเอียด
7. ใส่แก้วพร้อมดื่ม

น้ำเสาวรสผสมแครอท

<u>ส่วนประกอบ</u>

เสาวรสสุก 2-3 ลูก

น้ำต้มสุก 1 ถ้วยตวง

แครอทสด 1 หัว

ภาพที่ 55 น้ำเสาวรสผสมแครอท ที่มา: บริษัท ฟาร์มสด จำกัด

<u>วิธีทำ</u>

ล้างเสาวรสแล้วควักเอาเมล็ดออกให้หมด ปั่นด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้กับน้ำ แล้วกรองเอาแต่น้ำ ล้างแครอทให้สะอาดปอกเปลือกแครอทออก ผ่าเป็นชิ้นแล้วนำไปคั้นน้ำด้วยเครื่องคั้นน้ำแยกกาก นำส่วนผสมน้ำแครอทที่ได้ไปผสมกับน้ำเสาวรส จากนั้นผสมให้เข้ากันแล้วดื่มสดๆ หรือถ้าชอบหวานเติมน้ำเชื่อมกับเกลือป่นเล็กน้อย ดื่มชื่นใจ

โยเกิร์ตเสาวรส

<u>ส่วนประกอบ</u>

1. โยเกิร์ตรสธรรมชาติ
2. เสาวรส
3. เกลือ
4. น้ำผึ้งตกแต่ง
5. ใบสะระแหน่

ภาพที่ 56 โยเกิร์ตเสาวรส ที่มา: https://www.facebook.com/siriphirom.farm/

<u>วิธีทำ</u>

1. ล้างผลเสาวรส และผ่ากลาง เอาช้อนตักเนื้อด้านในออกมาใส่ชามไว้
2. เติมเกลือและน้ำผึ้งลงไป ใช้ช้อนตักชิมรสชาติ ให้ได้รสชาติที่ชื่นชอบ
3. ตักโยเกิร์ตใส่ถ้วยหรือแก้วใสให้ได้ความสุขระดับหนึ่ง ตักเสาวรสทับลงไป แล้วใส่โยเกิร์ตอีกชั้น ตกแต่งหน้าด้วยเสาวรสเล็กน้อย และใบสะระแหน่

เสาวรสน้ำผึ้งมะนาวโซดา

<u>ส่วนประกอบ</u>

1. เสาวรส 2 ลูก
2. มะนาว1/4ลูก
3. น้ำตลทราย 80-100 กรัม
4. น้ำเย็น 300 cc
5. น้ำผึ้ง

ภาพที่ 57เสาวรสน้ำผึ้งมะนาวโซดา ที่มา: https://www.facebook.com/siriphirom.farm/

<u>วิธีทำ</u>

1. ผ่าเสาวรสออกเป็น 2 ซีก นำมะนาวที่เตรียมไว้หั่นเป็นแผ่นบางๆ
2. บีบมะนาวที่เหลือใส่ภาชนะ
3. ใช้ช้อนขูดเนื้อเสาวรสใส่ภาชนะที่เตรียมไว้
4. ใส่น้ำผึ้ง
5. เติมน้ำเย็นลงในแก้ว
6. ใช้ช้อนผสมให้เข้ากันแล้วใส่มะนาวที่ฝานเตรียมไว้

น้ำเสาวรส&สับปะรดปั่น

ภาพที่ 58 น้ำเสาวรส&สับปะรดปั่น ที่มา: http://patampatan.com/

ส่วนประกอบ

1. เสาวรส 2 ลูก
2. สับปะรดแช่แข็งหั่น 1 ถ้วย
3. เกลือเล็กน้อย

วิธีทำ

1. หั่นสับปะรดแช่แข็ง 1 ถ้วย ใส่ลงในโถปั่น ตักเสาวรสตามลงไป 2 ลูก ใส่เกลือเล็กน้อย
2. ปั่นให้เข้ากันจนได้เนื้อเนียนๆ เทใส่แก้วพร้อมดื่ม

น้ำเสาวรสใบเตยวุ้นว่านหางจระเข้

ภาพที่59 น้ำเสาวรสใบเตยวุ้นว่านหางจระเข้ ที่มา: http://www.pholfoodmafia.com

ส่วนประกอบ

1. ว่านหางจระเข้ ครึ่งก้าน
2. เสาวรส 2 ลูก
3. ใบเตยหอม 2 ใบ
4. น้ำผึ้ง 2 ช้อนชา
5. น้ำดื่ม 1/2 ลิตร

วิธีทำ

1. ล้างใบเตยหอมให้สะอาดใส่หม้อน้ำต้มจนเดือด
2. นำว่านหางจระเข้ปอกเปลือกออกให้หมดเอาแต่วุ้นแช่น้ำล้างเมือกเหลืองๆออกให้หมดก่อน แล้วหั่นเป็นชิ้นเต๋าเล็กๆ
3. ใส่น้ำผึ้ง 2 ช้อนชาลงในน้ำใบเตยที่ต้มไว้แล้วและใส่เสาวรสลงไป ใส่วุ้นว่านหางลงไปดื่มได้ทิ้งแบบอุ่นๆและแช่เย็นแล้วแต่สะดวก

น้ำมะเขือเทศเสาวรส

ส่วนประกอบ

1. มะเขือเทศท้อสด 3 ผล
2. เสาวรส 3 ผล
3. น้ำแข็ง หรือ น้ำสะอาด

ภาพที่ 60 น้ำมะเขือเทศเสาวรส ที่มา: MaiYomAuon

วิธีทำ

1. มะเขือเทศล้างสะอาดหั่นเป็นชิ้นแล้วแช่แข็งไว้เอามาปั่นจะเย็นชื่นใจมาก หรือใช้สดๆ เลยก็ได้
2. เสาวรสผ่ากรองเอาแต่น้ำ หรือใช่ทั้งหมดก็ได้จ้า จะได้เคี้ยวเม็ดกรุบๆ
3. จับทุกอย่างใส่เครื่องปั่นเลยค่ะ ปั่นให้ละเอียด เสร็จแล้วทานได้เลย

น้ำเสาวรสโซดา

ส่วนประกอบ

1. เสาวรส 3 ลูก
2. น้ำผึ้ง 2 ช้อนชา
3. เกลือปรุงรส เล็กน้อย
4. โซดาสิงห์
5. น้ำอุ่น

ภาพที่ 61 น้ำเสาวรสโซดา ที่มา: https://campus.campus-star.com/

วิธีทำ

1. ใส่น้ำอุ่นเล็กน้อยแล้วตามด้วยน้ำผึ้ง เพื่อละลายน้ำผึ้ง
2. ผ่าเสาวรสแบ่งครึ่ง แล้วตัดเอาเนื้อออกใช้ช้อนบี้เนื้อเสาวรสให้มีน้ำออกมา
3. นำแก้วที่ละลายน้ำผึ้งไว้แล้วผสมกับแก้วเสาวรสแล้วใส่เกลือเล็กน้อย คนให้เข้ากัน ใส่น้ำแข็ง แล้วตามด้วยโซดา

แยมมะละกอเสาวรส

<u>ส่วนประกอบ</u>

1. มะละกอสุก 1 ลูก
2. ฝักวานิลลา 1 ฝัก
3. น้ำตาลทราย 1 ถ้วย
4. เนื้อเสาวรส (เกือบๆ) 1 ถ้วย

<u>วิธีทำ</u>

1. ปอกเปลือกมะละกอแล้วหั่นเป็นชิ้นใส่ลงในหม้อที่จะใช้กวน ตามด้วยฝักวานิลลาที่ขูดเม็ด (ใส่ฝักลงไปด้วยค่อยตักออกทีหลัง) เติมน้ำตาลทรายลงไป ตามด้วยเนื้อเสาวรส (ใครชอบรสชาติไหนชิมเองเองเลย เปรี้ยวนำ หวานน้อย หวานมาก จัดไปแบบโฮมเมดตามใจเราเลย)

2. นำขึ้นตั้งไฟปานกลางจนเริ่มเดือด ค่อย ๆ ใช้ช้อนไม้บดเนื้อมะละกอให้ละเอียด เคี่ยวไปเรื่อย ๆ แล้วลดเป็นไฟอ่อน พอข้นได้ที่ก็ตักใส่ขวดแก้วที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วในขณะที่ยังร้อน ๆ

ภาพที่ 62 แยมมะละกอเสาวรส ที่มา: https://www.facebook.com/Passion.Gac

แยมส้มเสาวรส

<u>ส่วนประกอบ</u>

1. ส้มวาเลนเซีย (ลูกละ 330 กรัม) 2 ผล
2. เนื้อเสาวรสปั่นและกรอง 320 กรัม
3. น้ำตาลทราย 300 กรัม
4. เพกติน 10 กรัม
5. เกลือป่น 1/8 ช้อนชา
6. น้ำมะนาว 1/2 ช้อนโต๊ะ

<u>วิธีทำ</u>

1. เตรียมขวดแก้วโดยต้มขวดแก้วในน้ำเดือดประมาณ 5 นาทีนำ ไปอบในเตาอบอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส จนแห้งสนิทพักไว้

2. ล้างส้มให้สะอาด ผ่าครึ่งคั้นเอาน้ำออกจนหมด (ได้น้ำส้มประมาณ 200 กรัม) ใช้ช้อนขูดเอาเนื้อส้มที่ติดเปลือกออก (ได้ประมาณ 207 กรัม) นำ ไปปั่นกับน้ำส้มจนละเอียด ใส่หม้อพักไว้ สไลซ์เยื่อสีขาวด้านในเปลือกส้มทิ้งไป หั่นเปลือกส้มเป็นชิ้นเล็กๆ (ได้ประมาณ 140 กรัม) เตรียมไว้

3. ตั้งหม้อน้ำจนเดือด ใส่เปลือกส้มลงลวกประมาณ 3 นาทีตักขึ้นสะเด็ดน้ำ ใส่ส่วนผสมเนื้อส้มปั่นลงในหม้อ ตามด้วยเนื้อเสาวรส น้ำตาล เพกติน และเปลือกส้มลวก คนให้เข้ากัน ยกขึ้นตั้งบนไฟกลาง เคี่ยวจนแยมข้น ทดสอบโดยตักขึ้นมาแล้วเนื้อแยมไหลจากทัพพีช้าๆ จึงใส่เกลือและน้ำมะนาว เคี่ยวต่ออีกประมาณ 3 นาที ปิดไฟ

4. กรอกแยมขณะที่ยังร้อนใส่ขวดแก้วที่แห้งสนิทแล้ว ปิดฝาทันที เก็บที่อุณหภูมิห้องได้นาน 3 เดือน หรือเก็บเข้าตู้เย็นช่องธรรมดาได้นาน 1 ปี

ภาพที่ 63 แยมส้มเสาวรส ที่มา: https://cleans-s.blogspot.com/

แยมเสาวรสและกูสเบอร์รี่

<u>ส่วนประกอบ</u>

1. กูสเบอร์รี่ ปลอกเปลือกแล้ว 270กรัม
2. น้ำและเม็ดเสาวรส 550 กรัม
3. เจลตินแมส 15 กรัม
4. น้ำตาลไอซิ่ง 56 กรัม
5. น้ำตาล 70 กรัม
6. เกลือ 3 กรัม
7. แป้งข้าวโพด 1 ช้อนชา
8. น้ำเย็น 2 ช้อนชา

<u>วิธีทำ</u>

1. เตรียมน้ำเดือดและโถใส่น้ำแข็งกับน้ำ
2. ใช้มีดเล็กผ่าเปลือกกูสเบอร์รี้เป็นรูป ตัว x แล้วใส่ลงในน้ำเดือดประมาณ 20 วินาที ช้อนกูสเบอร์รี่ออกมาใส่น้ำเย็น แล้วแกะเปลือกกับหั่นคั่วออก
3. ในหม้อต้มใส่กูสเบอร์รี่กับเสาวรส เคี่ยวจนได้ 410 กรัม
4. ผสมน้ำเย็นกับแป้งข้าวโพดคนจนแป้งละลาย
5. ใส่แป้ง 2 ช้อนชา น้ำตาลไอซิ่ง น้ำตาล เกลือ และเจลตินลงหม้อ คนให้ทุกอย่างละลายและเดือด
6. นำแยมใส่ในขวดโหลที่สะอาดและฆ่าเชื้อแล้ว พักให้เย็นสนิทก่อนใส่ตู้เย็น

ภาพที่ 64 แยมเสาวรสและกูสเบอร์รี่ ที่มา: https://www.facebook.com/livelifelinda2017/

แยมมะม่วงเสาวรส

<u>ส่วนประกอบ</u>

ภาพที่ 65 แยมมะม่วงเสาวรส ที่มา: https://twitter.com/popnewslive/

1. มะม่วงสุกหั่นชิ้น 350 กรัม
2. เสาวรส 150 กรัม
3. น้ำตาลทราย 250 กรัม
4. เกลือป่นหยาบ 1 ¼ ช้อนชา
5. น้ำเปล่า ¼ ถ้วยตวง
6. น้ำมะนาว 1 ½ ช้อนโต๊ะ

<u>วิธีทำ</u>

1. ใส่มะม่วงสุก เสาวรสลงในหม้อ
2. เติมน้ำตาลทราย เกลือป่น น้ำเปล่า น้ำมะนาว
3. เปิดไฟอ่อนคนพอเข้ากัน พอเดือดเบาไฟ เคี่ยวจนส่วนผสมงวดมีลักษณะเหนียว
4. เทใส่ภาชนะ พักไว้ให้เย็น นำไปทาขนมปัง หรืออื่น ๆ ตามชอบ

แยมเสาวรส

<u>ส่วนประกอบ</u>

1. น้ำเสาวรส 500 กรัม
2. น้ำตาลทรายแดง (ปรับลดได้ตามความชอบ) 1 ถ้วยตวง
3. เกลือ 1 ช้อนชา

<u>วิธีทำ</u>

1. นำน้ำเสาวรสใส่หม้อตั้งไฟ ไฟกลาง จนเริ่มเดือด
2. ใส่น้ำตาล เกลือ คนให้เข้ากัน คนไปเรื่อยๆจนเริ่มรู้สึกว่าเหนียวจนพอใจ ปิดไฟ
3. ใส่ในภาชนะที่เตรียมไว้

วุ้นเสาวรสสด

ภาพที่ 66 วุ้นเสาวรสสด ที่มา: Joy Atom

ส่วนประกอบ

1. น้ำตาลทราย 20 กรัม
2. ผงวุ้น 5 กรัม
3. น้ำเปล่า 100 ml
4. น้ำเสาวรส 100 ml
5. นม 50 ml
6. น้ำส้มเข้มข้น 2 ช้อนโต๊ะ

วิธีทำ

1. นำน้ำเปล่า + ผงวุ้นมาผสมกันพักไว้ 15 นาทีให้วุ้นอิ่มน้ำก่อน

2. แล้วนำไปตั้งไฟ แล้วใส่น้ำเสาวรส+น้ำส้มเข้มข้น+น้ำตาลทราย3. ตามด้วยนมสดคะ ตั้งไฟให้เดือดสัก 5 นาที แล้วพักให้เย็นลงเล็กน้อย

4. แล้วนำมาใส่พิมพ์ตามที่ต้องการเลย แล้วใส่ตู้เย็นประมาณ 1 ชั่วโมงก็รับประทานได้

กรานิต้าเสาวรสอัญชัน

ภาพที่ 67 ที่มา: https://www.wongnai.com/Nickktwf

ส่วนประกอบ

1. เสาวรส 2 ลูก
2. ดอกอัญชัน 1 กำ
3. น้ำผึ้ง 3 ช้อนโต๊ะ
4. น้ำเปล่า 100 มิลิลิตร

วิธีทำ

1. ต้มดอกอัญชัน กรองเอาเฉพาะน้ำ
2. ผสมน้ำผึ้ง 3 ช้อนโต๊ะ ละลายให้เข้ากัน
3. แช่ฟรีซ 1 ชั่วโมง
4. ปั่นเสาวรส นำมาเทในน้ำอัญชัน แช่ฟรีซต่ออีก 1 ชั่วโมง
5. นำออกมาใช้ส้อมขูด
6. จัดใส่ถ้วย ตกแต่งด้วยดอกไม้พร้อมเสริฟ

กรานิต้าฟักข้าวเสาวรส

ภาพที่ 68 กรานิต้าฟักข้าวเสาวรส ที่มา: https://cooking.kapook.com/

ส่วนประกอบ

1. ฟักข้าวสุก
2. น้ำเสาวรส
3. น้ำตาลทรายป่น

วิธีทำ

1. เริ่มจากการแยกเม็ดกับเนื้อฟักข้าวออกจากกัน ใช้ช้อนตักได้เลย
2. เทรวมกันแล้วนำไปปั่น ใช้เครื่องปั่นอะไรก็ได้ เพราะเนื้อฟักข้าวจากผลสุกเขาค่อนข้างเละ อยู่แล้ว จากนั้นก็นำไปต้มให้เดือด 1 ครั้ง
3. หลังจากต้มเสร็จแล้ว เติมน้ำตาลทรายลงไปเล็กน้อย แล้วก็เติมน้ำเสาวรสลงไป ใช้อัตราส่วน ฟักข้าว 1 ลูก ต่อ น้ำเสาวรส 1 ลิตร สำหรับท่านที่ชอบทานเปรี้ยวไม่ต้องเติมน้ำตาลทรายก็ได้ เมื่อเติมน้ำเสาวรสแล้วก็นำใส่ภาชนะที่จะแช่เย็นได้เลยครับ
4. นำไปแช่เย็นจนเริ่มเป็นเกล็ดน้ำแข็ง แต่ยังไม่ต้องแข็งมาก เราก็เอาออกมาคน ยิ่งนำออกมาคนบ่อย เนื้อจะยิ่งเนียน
5. พอได้ที่แล้วเอาออกมา พร้อมเสิร์ฟ

เสาวรสนมสดสมูทตี้

ภาพที่ 69 เสาวรสนมสดสมูทตี้ ที่มา: https://video.mthai.com

ส่วนประกอบ

1. เสาวรส 2 ลูก
2. นมสด 1/2 แก้ว
3. เกลือป่น เล็กน้อย
4. น้ำแข็ง 1 แก้ว

วิธีทำ

1. ตักเนื้อเสาวรส นมข้นจืด เกลือป่นเล็กน้อยลงในเครื่องปั่น ปั่นผสมจนเข้ากัน เติมน้ำแข็งลงปั่นจนเป็นเนื้อเนียน เทใส่แก้ว พร้อมดื่ม

สมูทตี้เสาวรสนมสดสีม่วง

ส่วนประกอบ

1. เสาวรส 3 ผล
2. น้ำหวานเข้มข้นกลิ่นองุ่น 2-3 ช้อนโต๊ะ
3. นมข้นจืด 1/2 ถ้วยตวง
4. เกลือป่นละเอียด 1/8 ช้อนชา
5. น้ำแข็งบด 1 ถ้วยตวง

วิธีทำ

1. นำเนื้อเสาวรส นมข้นจืด น้ำหวานเข้มข้นกลิ่นองุ่น และน้ำแข็งบดปั่นให้เข้ากันจนละเอียด ชิมรสให้ได้เปรี้ยวอมหวาน อาจเพิ่มเกลือป่นอีกนิดหน่อย เพื่อตัดรสเปรี้ยว รินใส่แก้ว พร้อมเสิร์ฟ

เต้าฮวยนมสดซอสเสาวรส

ส่วนประกอบ

1. โยเกิร์ตรสธรรมชาติ 1 กระปุก
2. ฝรั่ง 3 ชิ้น
3. องุ่น 4 ลูก
4. เสาวรส 1 ลูก
5. น้ำทับทิมสด 6 ช้อนโต๊ะ
6. Cacao Nibs 1 ช้อนชา
7. น้ำแข็ง 5 ก้อน
8. เมล็ดฟักทองอบไม่ใส่เกลือ 1 ช้อนชา

ภาพที่ 70 เต้าฮวยนมสดซอสเสาวรส ที่มา: ImAiw Wattanakorn

วิธีทำ

1. นำโยเกิร์ต ฝรั่ง องุ่น เสาวรส น้ำทับทิม Cacao Nibs และ น้ำแข็ง ใส่ลงในโถปั่น
2. ปั่นให้ละเอียดตามใจชอบ เทใส่แก้ว โรยหน้าด้วยเมล็ดฟักทองอบ พร้อมเสิร์ฟ

เปลือกเสาวรสเชื่อม

ส่วนประกอบ

1. เปลือกเสาวรส 1 กก
2. น้ำตาลทราย 800 กรัม
3. น้ำเปล่า 500 มล
3. เกลือ 1/2 ชช
4. น้ำมะนาว

วิธีทำ

1. เสาวรสที่ควักเนื้อออกแล้ว ให้นำไปปอกเปลือกนอกออก
2. จากนั้นล้างให้สะอาด แล้วหั่นเป็นชิ้นๆ ขนาดไม่เล็กไม่ใหญ่เกินไป
3. นำไปแช่น้ำปูนใสครึ่งชั่วโมง
4. ครบเวลาล้างออก
5. นำไปต้มกับน้ำเปล่าจนเดือด. แล้วเทน้ำทิ้งไป
6. เอาน้ำ น้ำตาลทรายครึ่งหนึ่ง เกลือใส่หม้อตั้งไฟ
7. ใส่เปลือกเสาวรสที่ต้มไว้ลงไป เคี่ยวไฟกลางค่อนไปทางอ่อนไปเรื่อยๆ ทยอยเติมน้ำตาลลงไปจนหมด
8. บีบน้ำมะนาวลงไปเพื่อให้น้ำเชื่อมสีสวยและตัดรสชาตินิดหนึ่ง เชื่อมไปจนเปลือกเสาวรสใส ก็ปิดไฟและพักให้เย็น นำไปรับประทานได้

ภาพที่ 71 เปลือกเสาวรสเชื่อม ที่มา: แม่ลูกตาล

7.3.4 แปรรูปเสาวรสเป็นผลิตภัณฑ์บำรุงผิว

ผลิตภัณฑ์บำรุงผิวจากเสาวรส

โลชั่นเสาวรส หอมสดชื่น คืนผิวนุ่มนวล (เสาวรส/อัลมอนด์ ออยล์/วิตามิน บี3 Passion Fruit Body Lotion โลชั่นเสาวรส กลิ่นหอมสดชื่นอันเป็นเอกลักษณ์ อุดมไปด้วยวิตามิน C ที่ช่วยบำรุงผิวให้สดชื่นแลดูอ่อนเยาว์อยู่เสมอ ฟื้นฟูผิวพรรณจากการทำลายของแสงแดดและมลภาวะ ผิวจึงเรียบเนียนสม่ำเสมอ พร้อมเสน่ห์ กลิ่นหอมหวานอมเปรี้ยว ช่วยเพิ่มความสดใส ทั้งกลางวันและกลางคืน

ภาพที่ 72 โลชั่นเสาวรส ที่มา: phutawanorganic

เซรั่มน้ำมันเมล็ดเสาวรส หรือ ปัณนา แอนตี้ออกซิเดนท์ แพชชั่น ฟรุท ออยล์ สุดยอดเซรั่มระดับพรีเมี่ยมจากธรรมชาติ ที่ตอบโจทย์เทรนด์การดูแลผิวด้วย Natural Face Oil ซึ่งกำลังเป็นที่นิยมของคนทั่วโลก! เพราะอุดมไปด้วย 3 สุดยอดอาหารผิว อย่างสารต้านอนุมูลอิสระ หรือ แอนตี้ออกซิเดนท์, โอเมก้า 3, 6 และ 9 ที่ช่วยล็อคผิวให้ดูสวยสุขภาพดี ปลุกผิวให้ตื่นคืนความสดใส เปล่งปลั่ง มีชีวิตชีวา อ่อนกว่าวัย บำรุงผิวให้เนียนนุ่มชุ่มชื่น พร้อมสารสกัดวิตามิน C และ E ช่วยลดรอยแดง-ดำ ปรับให้ผิวกระจ่างใส และ Essential Fatty Acid (กรดไขมันจำเป็น) ที่จะช่วยปรับสมดุล ควบคุมความมัน เผยผิวที่แข็งแรงถึงขั้นเซลล์ แม้ผิวแพ้ง่ายก็ใช้ได้หายห่วง

ภาพที่ 73 เซรั่มน้ำมันเมล็ดเสาวรส ที่มา: https://women.mthai.com/

ครีมอาบน้ำเสาวรสแท้ คัดเฉพาะผลสุกงอมสีเหลืองอร่ามที่อุดมไปด้วยวิตามิน C วิตามิน B2 วิตามิน B3 และแร่ธาตุนานาชนิด ช่วยลดเลือนจุดด่างดำและความหมองคล้ำ บำรุงผิวพรรณนวลเนียนสม่ำเสมอทั้งยังมีสารแอนตี้ออกซิแดนท์จากผลมะปรางสีเหลืองอมส้ม ช่วยให้สีผิวแลดูกระจ่างใสอย่างเป็นธรรมชาติมาพร้อมสครับสับปะรดช่วยทำความสะอาดหมดจด ไม่ทำลายความชุ่มชื่นผิว

ภาพที่ 74 ครีมอาบน้ำเสาวรส ที่มา: http://www.reunrom.com/

สบู่เสาวรสหัตถยา" สบู่ตัวนีมีสรรพคุณ ช่วยลดความมันบนใบหน้า ลดสิว ฝ้า กระและจุดด่างดำ (เพราะวิตามินซีในเสาวรส เป็นตัวช่วยให้ผิวใส ไร้รอยจุดด่างดำ) - สบู่เสาวรส เน้นความใส เพราะสกัดวิตามินซีมาจากเสาวรสออแกนิคแบบเข้มข้น

ภาพที่ 75 สบู่เสาวรส ที่มา: http://up2bybaifern.blogspot.com/

สครับขัดผิวเสาวรส พร้อมอาบน้ำ มิสทีน แพสชั่นฟรุ๊ต ช่วยผลัดเซลล์ผิวหนังชั้นนอกที่เสื่อมสภาพ เผยผิวใหม่กระจ่างใสยิ่งขึ้น ชุ่มชื่น เนียนนุ่มน่าสัมผัส ตั้งแต่ครั้งแรกที่ใช้ พร้อมบอกลาความแห้งกร้านของผิวคุณมหัศจรรย์ผลไม้ดูแลผิว เสาวรส ช่วยในเรื่องการบำรุงผิวพรรณ ลดรอยเหี่ยวย่น ลดการอักเสบของผิว ช่วยลดจุดด่างดำ เนื่องจากมีวิตามินซีสูงและวิตามินเอ ช่วยสมานผิวรักษาเยื่อบุผิวหนัง

ภาพที่ 76 สครับขัดผิวเสาวรส ที่มา: https://shopee.co.th

8. งานวิจัยเกี่ยวกับเสาวรส

8.1 เรื่อง เสาวรส ผลไม้สำหรับผู้รักสุขภาพ

เสาวรสเป็นผลไม้ที่นิยมในวงการอุตสาหกรรมการแปรรูปน้ำผลไม้เนื่องจากในผลมีน้ำมาก มีรสเปรี้ยวและมีกลิ่นหอมเฉพาะตัว ผลสุกของเสาวรสทั้งชนิดผลสีเหลืองและสีม่วงมีคุณค่าทางอาหารมาก จึงเหมาะสำหรับการนำมาบริโภคเพื่อเป็นอาหารสุขภาพ สามารถรับประทานได้ทั้งแบบรับประทานสด โดยผ่าผลสุกแล้วเติมเกลือหรือน้ำตาลเล็กน้อย สามารถรับประทานได้ทั้งเมล็ด หรือนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆเพราะน้ำคั้นจากส่วนเนื้อหุ้มเมล็ดของเสาวรสมีกลิ่นหอมและมีรสชาติที่ดีในต่างประเทศจึงมักนิยมนำไปใช้เพื่อแต่งกลิ่นและรสชาติเช่น แยมผลไม้ไอศครีม ขนมเค้ก และเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพต่างๆ ซึ่งกำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในปัจจุบัน

ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของน้ำเสาวรส / 100 กรัม

สารอาหาร/100 กรัม	พันธุ์ผลสีม่วง	พันธุ์ผลสีเหลือง
น้ำ (กรัม)	85.62	84.21
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	13.6	14.45
ใยอาหาร (กรัม)	0.2	0.2
น้ำตาล (กรัม)	13.4	14.25
โปรตีน (กรัม)	0.39	0.67
ไขมัน (กรัม)	0.05	0.18
แร่ธาตุ		
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	4	4
เหล็ก (มิลลิกรัม)	0.24	0.36
แมกนีเซียม (มิลลิกรัม)	17	17
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	13	25
โพแทสเซียม (มิลลิกรัม)	278	278
โซเดียม (มิลลิกรัม)	6	6
สังกะสี (มิลลิกรัม)	0.05	0.06
วิตามิน		
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	29.8	18.2
วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม)	0.13	0.10
วิตามินบี 3 (มิลลิกรัม)	1.46	2.24

ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของน้ำเสาวรส / 100 กรัม (ต่อ)

สารอาหาร/100 กรัม	พันธุ์ผลสีม่วง	พันธุ์ผลสีเหลือง
วิตามินบี 6 (มิลลิกรัม)	0.05	0.06
วิตามินอี (มิลลิกรัม)	0.01	0.01
โฟเลต (ไมโครกรัม)	7	8
วิตามินเอ (ไมโครกรัม)		36
วิตามินเค (ไมโครกรัม)	0.4	0.4
พลังงาน	51 กิโลแคลลอรี่	60 กิโลแคลลอรี่

ที่มา : USDA, National Nutrient Database for Standard Reference (2016) 26 Aug 2018

การศึกษาทางคลินิก

การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำคั้นเสาวรสในกลุ่มอาสาสมัครผู้สูงอายุ (อายุ 60 ปีขึ้นไป) ที่มีสุขภาพแข็งแรงและไม่มีภาวะของโรคร้ายแรงจำนวน 60 คน ทั้งเพศชายและหญิง โดยให้อาสาสมัครดื่ม น้ำคั้นเสาวรสทั้งจากพันธุ์ผลสีม่วงและผลสีเหลืองวันละ 1 แก้ว (ประมาณ 125 มล.) หลังจากรับประทานอาหารมื้อกลางวัน นานติดต่อกัน 4 สัปดาห์เก็บตัวอย่างเลือดของอาสาสมัครทั้งช่วงก่อนและหลังดื่มน้ำคั้นเสาวรส เพื่อตรวจวัดค่าทางชีวเคมีในเลือดและเปรียบเทียบผลการเปลี่ยนแปลง ผลจากการศึกษาพบว่าการดื่มน้ำคั้นเสาวรสทั้งชนิดผลสีม่วงและสีเหลืองมีผลทำให้ ปริมาณวิตามินเอและวิตามินอีในร่างกายเพิ่มสูงขึ้นและมีผลเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการต้านการเกิดอนุมูลอิสระ ได้แก่superoxide dismutase (SOD) และ catalase นอกจากนี้ยังมีผลยับยั้งการแสดงออกของโปรตีนที่เกี่ยวข้องในกระบวนการอักเสบคือ interleukin-6 (IL-6) และ tumor necrosing factor-α (TNF-α) อีกด้วย (1)

การศึกษาฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา

ในการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในหลอดทดลอง (in vitro) พบว่า สารสกัดเอทานอล 80% จากเนื้อหุ้มเมล็ดของเสาวรสทั้งชนิดผลสีม่วงและผลสีเหลืองมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเมื่อทดสอบด้วยวิธี 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) decolorization assay (ABTS assay), H2O2 scavenging assay และ 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging capacity assay (DPPHassay) จากผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า น้ำเสาวรสมีคุณค่าทางโภชนาการและมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเหมาะสำหรับใช้เป็นเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพใยอาหารส่วนที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble fiber-rich fraction)จากเมล็ดเสาวรสมีฤทธิ์ลดไขมันในเลือดเมื่อทดลองผสมลงในอาหารที่มีไขมันสูง (hypercholesterolemic diet) ปริมาณ 5% แล้วใช้เลี้ยงหนูแฮมสเตอร์นาน 30 วันพบว่า ไตรกลีเซอไรด์

และคอเลสเตอรอลในเลือดและในตับหนูลดลงอย่างมีนัยสำคัญและพบว่ามีไขมันในน้ำดีและในอุจจาระที่ขับถ่ายออกมามากขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (3) และในการป้อนน้ำคั้นเสาวรสพันธุ์เปลือกสีเหลืองให้แก่หนูแรทขนาด 1,000 มก./กก. วันละ 2 ครั้ง นานติดต่อกัน 28 วันมีผล ลดค่าไขมัน แ ล ะ LDL (low-density lipoprotein) ในเลือดและเพิ่มค่า HDL (high-density lipoprotein) นอกจากนี้ยังมีผลลดค่า thiobarbituric acid reactive substance (TBARS) ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (lipid peroxidation) แสดงให้เห็นว่า เมล็ดเสาวรสรวมถึงน้ำจากส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดมีฤทธิ์ลดไขมันในเลือด และต้านการเกิดอนุมูลอิสระที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้(4)นอกจากนี้การป้อนส่วนเนื้อหุ้มเมล็ดของเสาวรสชนิดเปลือกสีเหลืองให้แก่หนูแรทที่มีภาวะความดันโลหิตสูง ขนาดวันละ 5 – 8 ก./กก. นานติดต่อกัน 5 วัน มีผลทำให้ค่าความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวลดลง และพบว่าระดับ glutathione ในเนื้อเยื่อไตสูงขึ้น และสามารถยับยั้งการเกิดสาร TBARS ได้ผลการทดสอบดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าส่วนเนื้อหุ้มเมล็ดของเสาวรสมีฤทธิ์ลดความดันโลหิตและฤทธิ์ต้านการเกิดอนุมูลอิสระ (5)

ข้อควรระวัง/การเกิดอันตรกิริยาต่อยาแผนปัจจุบัน

การศึกษาผลของน้ำคั้นเสาวรสต่อเอนไซม์ cytochrome P450 (CYP450) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีบทบาทสำคัญ ในกระบวนการเผาผลาญยาพบว่า จากการทดสอบในหลอดทดลอง (in vitro) น้ำคั้นเสาวรสมีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ CYP450 ชนิด CYP3A4 เมื่อทดสอบบนเซลล์human liver microsomes ดังนั้นจึงควรระมัดระวัง การดื่มน้ำคั้นเสาวรสร่วมกับกลุ่มแผนปัจจุบันที่ต้องอาศัยเอนไซม์ดังกล่าวในกระบวนการเผาผลาญยา (6-7)

(ที่มา: http://medherbguru.gpo.or.th/articles/d51_Passion.pdf)

8.2 การพัฒนาผลิตภัณฑ์เปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้ง และการศึกษาความพึงพอใจของผู้บริโภค ในเขตชุมชน เทศบาลตำบลแม่คำ อำเภอแม่จัน จังหวัดเชียงราย

บทนำ

เสาวรส พบการปลูกทุกภาคในไทย เมื่อสุกมีสีเหลืองส้มหรือสีม่วงเรื่อเป็นมัน เปลือกแข็ง ภายในมีเมล็ดแบนสีดำจำนวนมากหุ้มด้วยเยื่อเมือกสีเหลือง ปัจจุบันเสาวรสที่ปลูกในไทยมี 3 สายพันธุ์คือ พันธุ์สีม่วง ผลสุกมีสีม่วงเข้ม รสเปรี้ยวอมหวานกลมกล่อม ปริมาณกรดต่ำ และสีสวยกว่าพันธุ์ผลสีเหลือง เหมาะสำหรับกินผลสด แต่เป็นพันธุ์ที่อ่อนแอต่อโรค พันธุ์ผลสีเหลือง ผลสุกสีเหลืองขมิ้น มีปริมาณกรดสูงจึงมีรสเปรี้ยวกว่าพันธุ์สีม่วง เหมาะสำหรับนำมาแปรรูปเป็นน้ำผลไม้ และเป็นพันธุ์ที่แข็งแรงทนทานกว่าพันธุ์สีม่วง พันธุ์ลูกผสม เป็นลูกผสมของพันธุ์ผลสีม่วงและสีเหลือง ผลที่ได้จึงมีสีม่วงและสีเหลือง ให้ผลดกและมีขนาดใหญ่กว่าพันธุ์แรก มีเยื่อหุ้มเมล็ดบาง แข็งแรงทนต่อโรคและออกผลได้ตลอดปีจึงเหมาะสำหรับส่งเข้าโรงงานทำเครื่องดื่มบรรจุกระป๋อง (Urai, 2004) ในกระบวนการผลิตน้ำเสาวรส เสาวรสทั้งผลจะถูกส่งเข้าเครื่องสกัดน้ำผลไม้ โดยผลจะถูกบีบให้แตกออกทำให้แยกส่วนเปลือกออกจากส่วนรกหุ้มเมล็ดได้จากนั้นเครื่องจักรกรอง เอาเมล็ดและกากออกจากส่วนที่เป็นน้ำเสาวรส ในการวิจัยพบว่า ส่วนที่เป็นเปลือกและกากซึ่งเป็นของเหลือทิ้งมีสัดส่วนมากถึงร้อยละ 60 เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักผลทั้งหมด (Rebello and team, 2007 cited in Natcha, 2007) ซึ่งโดยปกติแล้วเปลือกเสาวรสจะถูกนำไปเป็นปุ๋ยหมักหรืออาหารสัตว์ ทั้งที่ของเหลือทิ้งเหล่านี้ เมื่อได้ศึกษาในงานวิจัยแล้ว พบว่ามีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญอยู่ในปริมาณสูง ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเพกติน โดยเฉพาะเพกตินที่พบในเปลือกของเสาวรสนั้นสามารถนำไปผลิตเป็นเพกติน ที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำได้ (Yapo and Koffi, 2006)ประเทศไทยเป็นประเทศที่โชคดีมากในเรื่องของผักผลไม้ต่าง ๆ ที่อุดมสมบูรณ์ซึ่งบางครั้งทำให้มีจำนวนมากเกินการบริโภคจึงทำให้มีการคิดค้นหาวิธีการเก็บผักผลไม้นั้น ไว้รับประทานนาน ๆ หรือในช่วงที่ไม่มีผักผลไม้ดังนั้น การแช่อิ่มเป็นการถนอมอาหารจำพวกผักผลไม้ที่นิยมมากวิธีหนึ่ง การแช่อิ่มเป็นการถนอมอาหารโดยใช้น้ำตาลเป็นเครื่องช่วยรักษาอายุของอาหารผักและผลไม้ให้เก็บไว้ได้นานมากขึ้น ลักษณะการทำต้องค่อย ๆ เพิ่มปริมาณน้ำตาทีละน้อยจนกระทั่งผักผลไม้นั้นอิ่มตัว ทำให้ไม่เหมาะกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ การแช่อิ่มที่นิยมทำกันแบ่งออกเป็น 2 วิธีคือการแช่อิ่มแบบเร็ว และวิธีการแช่อิ่มแบบช้า (Praewphan,n.d.) จากการลงพื้นที่สำรวจในเขตพื้นที่เทศบาลตำบลแม่คำ อำเภอแม่จัน จังหวัดเชียงราย มีการปลูกเสาวรสจำนวนมาก และมีเปลือกเสาวรสเหลือทิ้งในชุมชน และส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมในชุมชน ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการแปรรูปผลิตภัณฑ์เหลือทิ้ง จากการแปรรูปเสาวรส โดยนำเปลือกของเสาวรสมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้ง โดยเลือกใช้เปลือกเสาวรสที่มีอายุประมาณ 50-70 วัน ที่เหลือจากการแปรรูป

ผลิตภัณฑ์ อีกทั้งศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์และศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้งในเขตชุมชน เทศบาลตำบลแม่คำ อำเภอแม่จัน จังหวัดเชียงราย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการผลิตเปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้ง
2. เพื่อศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์เปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้ง
3. เพื่อศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้งในเขตชุมชน เทศบาลตำบลแม่คำ อำเภอแม่จัน จังหวัดเชียงราย

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. เครื่องมือที่ใช้ดำเนินการวิจัย

วัตถุดิบและสารเคมี

1. เปลือกเสาวรสพันธุ์สีเหลือง
2. น้ำตาลทรายขาว
3. น้ำสะอาด
4. น้ำปูนใส
5. เกลือแกง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมวัตถุดิบและการผลิต

1. อุปกรณ์เครื่องครัว
2. เตาแก๊ส
3. ตู้อบลมร้อนแบบถาด
4. เครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 2 ตำแหน่ง
5. นาฬิกาจับเวลา
6. Thermometer
7. polyethylene zipper bag
8. Malic acid

เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพและเคมี

1. เครื่องวัดสี
2. เครื่องวัดค่าเนื้อสัมผัส
3. เครื่องวิเคราะห์ค่าความชื้นด้วยระบบสุญญากาศ

การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

วิธีการวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่1 จุลินทรีย์และวิธีการวิเคราะห์

จุลินทรีย์	วิธีการวิเคราะห์
Total Viable count	BAM (2001), Chapter 3
Salmonella spp.	ISO 6579 (2002)/ AMD 1:2007
Staphyłococcus aureus	BAM (2001), Chapter 12
Eschenichia coli	APHA (2012), 9221 F
Yeast and Mold	BAM (2001), Chapter 18

อุปกรณ์ที่วิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

1. แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสแบบให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-Point Hedonic Scale) พร้อมปากกา 1 ชุด

2. แบบประเมินคุณภาพทางสัมผัส แบบการทดลองเปรียบเทียบตัวอย่างคู่ paired test

3. ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ทดลองบรรจุ2 กรัมต่อ 1 ตัวอย่าง

การทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์

1. แบบทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์จากผู้บริโภค (Consumer test) พร้อมปากกา คนละ 1ชุด

2. ผลิตภัณฑ์เปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้ง ขนาดบรรจุ20 กรัม ต่อ 1 ผลิตภัณฑ์

วิธีการดำเนินการตามขั้นตอน ดังนี้ ศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการผลิตเปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้ง

ขั้นตอนที่ 1 คัดเลือกเปลือกเสาวรสที่มีอายุการเก็บเกี่ยวที่ 50-70 วัน หรือผิวเปลือกไม่เหี่ยวย่น ล้างเปลือกเสาวรสให้สะอาด ปอกเปลือกชั้นนอกที่มีสีเหลืองออก ให้เหลือแต่ส่วนที่เป็นสีขาว แล้วนำมาหั่นเป็นชิ้นให้มีขนาดโดยประมาณกว้าง 1 เซนติเมตร ยาวประมาณ 5 เซนติเมตร นำไปแช่น้ำปูนใส ความเข้มข้นร้อยละ 5 เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ตักขึ้นล้างน้ำสะอาด ผึ่งให้แห้ง นำเปลือกเสาวรสไปลวกในน้ำเดือด ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสพอสุก ตักใส่น้ำเย็นจัดให้เปลือกเสาวรสเย็นตัว ตักขึ้นพักให้สะเด็ดน้ำ นำเปลือกเสาวรสเรียงใส่ขวดโหล (Bendingfrom Preeda ,2009) เตรียมน้ำเชื่อมความเข้มข้นร้อยละ 30, 40, 50, และ65 โดยนำน้ำใส่หม้อขึ้นตั้งไฟให้เดือดใส่น้ำตาลคนให้ละลายยกลงพักให้เย็น ปริมาณของวัตถุดิบ ตามตาราง ที่1 เทใส่ขวดโหลให้ท่วมเปลือกเสาวรสปิดฝาพักไว้ 24 ชั่วโมง เทน้ำเชื่อมออกมาอุ่นเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำตาล เทใส่ขวดโหลให้ท่วมเปลือกเสาวรส ปิดฝาทำเช่นนี้จนกระทั่งน้ำเชื่อมมีความเข้มข้น ร้อยละ 65 (Bending from Laddawan and Saowanee, 2011) แสดง ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณวัตถุดิบและสารละลายที่ใช้ในการแช่อิ่ม

วัตถุดิบ	ปริมาณความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการแช่อิ่ม(ร้อยละ)				
	การแช่อิ่มแบบช้า			การแช่อิ่มแบบเร็ว	
	30	40	50	50	65
เปลือกเสาวรส (กรัม)	100	100	100	100	100
น้ำตาลทรายขาว (กรัม)	90	120	150	150	195
น้ำสะอาด (มิลลิลิตร)	210	180	150	150	105
เกลือ (กรัม)	5	5	5	5	5
น้ำปูนใส (มิลลิลิตร)	250	250	250	250	250

ภาพที่ 1 เปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้งความเข้มข้นเริ่มต้นร้อยละ 30

ภาพที่ 2 เปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้งความเข้มข้นเริ่มต้นร้อยละ 40

ภาพที่ 3 เปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้งความเข้มข้นเริ่มต้นร้อยละ 50

นำเปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้งที่ได้นำไปทำการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส ทำการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยให้ผู้ที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน ด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale คุณลักษณะที่พิจารณาคือ ลักษณะปรากฏ สีของผลิตภัณฑ์ ความหวาน ความนุ่มของผลิตภัณฑ์ และความชอบโดยรวม นำผลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test, DMRT โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป เพื่อคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้ง

ขั้นตอนที่ 2 ทำการเปรียบเทียบกระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตเปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้งระหว่างกระบวนการแช่อิ่มแบบเร็วและกระบวนการแช่อิ่มแบบช้า โดยใช้วิธีการแช่อิ่มแบบเร็วใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นร้อยละ50 ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเพิ่มความเข้มข้นร้อยละ 15 แช่เปลือกเสาวรสต่ออีกเป็น 24 ชั่วโมง จนได้ความเข้มข้นสุดท้ายที่ร้อยละ 65 และทำการเปรียบเทียบความแตกต่างและกระบวนการแช่อิ่มที่ผ่านการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสและขั้นตอนที่ 1 นำเปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้งที่ได้นำไปทำการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสทำการ ทดสอบ คุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยให้ผู้ที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน ด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale คุณลักษณะที่พิจารณาคือ ลักษณะปรากฏ สีของผลิตภัณฑ์ ความหวาน ความนุ่มของผลิตภัณฑ์ และความชอบ โดยรวม นำผลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test, DMRT โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้ง

ขั้นตอนที่ 3 ศึกษาสูตรมาตรฐานเปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้ง นำเปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้งที่ได้รับคะแนนการยอมรับสูงสุดจากผู้ทดลองรับประทานขั้นตอนที่ 1 ศึกษาอัตราส่วน เวลาและอุณหภูมิในการอบ โดยนำเปลือกเสาวรสแช่อิ่มมาล้างน้ำอุ่น 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที และเคลือบด้วยน้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นร้อยละ 55 ใช้ปริมาณเปลือกเสาวรสแช่อิ่ม 100 กรัม อบด้วย ตู้อบลมร้อนที่

อุณหภูมิ 70, 60, 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 60, 90, 120 นาที ปริมาณอัตราส่วนระหว่าง อุณหภูมิ และเวลาในการอบให้มีความชื้นสุดท้ายต่ำกว่าร้อยละ 18 (Bending from Laddawan and Saowanee, 2011) ผลการทดลองพบว่า การใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที พบค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ร้อยละ 0.82 และ ค่าความชื้น ร้อยละ 11.58 ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณอัตราส่วนระหว่าง เวลา และอุณหภูมิในการอบแห้งผลิตภัณฑ์เปลือกเสาวรสแช่อิ่ม

วัตถุดิบ	อัตราส่วนระหว่างเวลาและอุณหภูมิ	
	นาที	องศาเซลเซียส
เปลือกเสาวรสแช่อิ่ม 100 กรัม	60	70
	90	60
	120	50

1. การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยนำเปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้ง ที่ได้นำไปทำการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส การทดสอบความชอบโดยใช้ผู้ที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 120 คน ด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale คุณลักษณะที่พิจารณา คือ ลักษณะปรากฏ สีของผลิตภัณฑ์ ความหวาน ความนุ่มของ
ผลิตภัณฑ์ และความชอบโดยรวม นำผลที่ได้มาหา ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance,ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test, DMRT โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป เพื่อคัดเลือกวิธีการที่เหมาะสม การผลิตเปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้งที่ได้คะแนนการยอมรับสูงสุดจากผู้ทดลองรับประทาน นำไปศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์เปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้งในขั้นตอนต่อไป

2. การศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์เปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้งนำผลิตภัณฑ์เปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านการคัดเลือกศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพโดยนำตัวอย่างบรรจุลงในถุง Metallic foil ขนาด 100 กรัม เก็บตัวอย่างในห้องที่ระดับอุณหภูมิ 25 - 30 องศาเซลเซียสและทำการตรวจคุณภาพทางจุลินทรีย์ ทุก 4 สัปดาห์ เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ โดยใช้เกณฑ์ข้อกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผักและผลไม้แช่อิ่ม มผช. 161/2558

3. การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้งนำผลิตภัณฑ์เปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้งบรรจุในบรรจุภัณฑ์ประเภทถุง Metallic foil ขนาด 20 กรัม1 ซอง พร้อมแบบทดสอบการยอมรับผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์จำนวน 1 ชุด นำไปทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคจาก

กลุ่มบุคคลทั่วไปจำนวน 120 คนโดยวิธี Central Lotation (CLT) โดยให้ผู้บริโภคทดลองรับประทานเปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้ง คนละ 1 ซอง ปริมาณ 20 กรัม แล้วตอบแบบสอบถามการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์จำนวน 1 ชุด ด้วยการทดสอบความชอบด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale คุณลักษณะที่พิจารณา คือลักษณะปรากฏ สีของผลิตภัณฑ์ ความหวาน ความนุ่มของผลิตภัณฑ์ และความชอบโดยรวมทั้งสอบถามการยอมรับและการตัดสินใจของผู้บริโภค กับผู้บริโภคทั่วไปที่เคยรับประทานผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลทางสถิติทางประชากรศาสตร์ กับการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคด้วยค่า Chi-Square

สรุปผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการผลิตเปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้ง

ตารางที่ 4 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของเปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้ง ที่ผ่านการแช่อิ่มแบบช้าโดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเชื่อมทีแตกต่างกัน 3 ระดับ

คุณภาพทางประสาทสัมผัส	ความเข้มข้นของน้ำเชื่อมที่แตกต่างกัน 3 ระดับ		
	ร้อยละ 30	ร้อยละ 40	ร้อยละ 50
ลักษณะปรากฏ	8.68±0.51[a]	7.90±0.79[b]	7.58±0.99[c]
สี	8.54±0.71[a]	7.62±0.85[b]	7.26±0.96[c]
เนื้อสัมผัส (ความนุ่ม)ns	8.30±0.84[a]	8.84±1.09[b]	7.22±1.09[b]
กลิ่น	8.22±0.79[a]	7.38±0.88[b]	7.24±0.96[b]
รสชาติ ns	8.30±0.84[a]	7.48±1.09[b]	7.22±1.09[b]
ความชอบโดยรวม ns	8.20±0.90[a]	7.34±1.04[b]	7.26±1.19[b]

จากผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส ดังตารางที่ 3 ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้ง ที่ผ่านการแช่อิ่มแบบช้าโดยใช้ความเข้มข้นของน้ำเชื่อมเริ่มต้นที่แตกต่างกัน 3 ระดับพบว่า ระดับความเข้มข้นของน้ำเชื่อมเริ่มต้นที่ความเข้มข้นร้อยละ 30,40 และ 50 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในด้านรสชาติ ความชอบโดยรวม และด้านเนื้อสัมผัสความนุ่มและพบว่า ระดับความเข้มข้นของน้ำเชื่อมเริ่มต้นที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ได้รับคะแนนความชอบทางลักษณะปรากฏ สี กลิ่น มากที่สุด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ95 เมื่อเปรียบเทียบกับระดับความเข้มข้นของน้ำเชื่อมเริ่มต้นที่ความเข้มข้นร้อยละ 40 และ 50 เนื่องจากการแช่เปลือกเสาวรสในน้ำเชื่อมเริ่มต้นที่มีความเข้มข้นต่ำทำให้ เกิดแรงดัน

ออสโมติกที่ต่ำส่งผลให้มีการถ่ายเทมวลสารที่ต่ำ และส่งผลให้เปลือกเสาวรสมีลักษณะการเหี่ยวย่นน้อยกว่าการแช่น้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นสูง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Duang Sudet and team, 2009) ที่พบว่า ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มอบแห้งที่ใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเชื่อมร้อยละ 30 ลักษณะปรากฏที่เหี่ยวย่นและเสียทรงน้อยที่สุด และเมื่อพิจารณาเปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้งที่ใช้ระดับความเข้มข้นเริ่มต้นที่ร้อยละ 40 และ 50 ได้รับคะแนนความชอบแตกต่างจากระดับความเข้มข้น 30 เนื่องจากเปลือกเสาวรสที่แช่ในระดับความเข้มข้น 40 และ 50 เกิดแรงดันออสโมติกที่สูง ส่งผลต่อลักษณะปรากฏและสี ทั้งนี้เนื่องจากผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่มีลักษณะที่ปรากฏที่เหี่ยวย่นแข็งและสีคล้ำกว่าเปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้งที่ใช้ระดับความเข้มข้นเริ่มต้นร้อยละ 30 ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกสภาวะการแช่อิ่มแบบช้าที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกระบวนการแช่อิ่มต่อไป

ตารางที่ 4 การศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตเปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้งระหว่างกระบวนการแช่อิ่มแบบช้าและกระบวนการแช่อิ่มแบบเร็ว

คุณภาพทางประสาทสัมผัส	กระบวนการแช่อิ่มแบบช้า	กระบวนการแช่อิ่มแบบเร็ว
ลักษณะปรากฏ	8.68±0.51[a]	7.58±1.43[a]
สี	8.54±0.71[a]	7.62±1.17[a]
เนื้อสัมผัส (ความนุ่ม)	8.30±0.84[a]	7.16±1.46[a]
กลิ่น	8.22±0.79[a]	7.66±1.24[a]
รสชาติ	8.30±0.84[a]	7.50±1.18[a]
ความชอบโดยรวม	8.20±0.90[a]	7.14±1.48[a]

จากการศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตเปลือกเสาวรสระหว่างกระบวนการแช่อิ่มแบบช้าและกระบวนการแช่อิ่มแบบเร็วผลการทดลอง พบว่า ในทุกคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ได้ทำการประเมินความแตกต่างของผลิตภัณฑ์เปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านกระบวนการแช่อิ่มแบบช้าและกระบวนการแช่อิ่มแบบเร็วมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เนื่องจากในกระบวนการแช่อิ่มแบบเร็วเกิดการหดตัวของตัวผลิตภัณฑ์ เนื่องจากการแช่อิ่มในสารละลายที่มีความเข้มข้นแรกเริ่มสูง ทำให้เกิดแรงดันออสโมติกมากส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างมวลสารอย่างรวดเร็ว เซลล์จึงเกิดการหดตัวมากกว่ากระบวนการแช่อิ่มแบบช้าทำให้ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเหี่ยวย่นผลิตภัณฑ์สีคล้ำ เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างการแช่อิ่มแบบช้าซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Khumsab, 2001) และลักษณะของเปลือกเสาวรสที่แช่อิ่มแบบเร็วมีลักษณะปรากฏที่เหี่ยวย่นหดตัว

เนื่องจากสารละลายซึมผ่านเข้าสู่เซลล์เนื้อเยื่อของเปลือกเสาวรสไม่สม่ำเสมอ และ(Chintana, 2003) ได้รายงานว่าการแช่อิ่มผลไม้ในสารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นสูงจะใช้ระยะเวลาในการแช่อิ่มสั้นส่งผลให้ลักษณะของผลไม้มีลักษณะเหี่ยวย่น มีสีน้ำตาลเข้ม จึงส่งผลให้ลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัสของเปลือกเสาวรสแช่อิ่มแบบเร็วมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของเปลือกเสาวรสแช่อิ่มแบบช้า

2. ผลการศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้งนำเปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้งบรรจุใส่ถุง Metallic foil. ขนาด 100 กรัม เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25-30 องศาเซลเซียส) ระยะเวลา 0 - 4 สัปดาห์ โดยตรวจทุกๆ 4 สัปดาห์ วิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้ เปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 - 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 0-4 สัปดาห์ เมื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดแสดง

ตารางที่ 5 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในผลิตภัณฑ์เปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้งที่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 -30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 0-4 สัปดาห์

ประเภทจุลินทรีย์	สัปดาห์ที่ 0	สัปดาห์ที่ 4	มผช. 161/2558
Total viable count	2.6x103	มีลักษณะปรากฏจุดสีดำ คาดว่าเป็นสปอร์ของเชื้อรา	ต้องน้อยกว่า 1x106
Salmonella spp.	ไม่พบในตัวอย่าง		ต้องไม่พบในตัวอย่าง
Staphylococcus aureus	<10		ต้องน้อยกว่า 10
Escherichia coli	<3		ต้องน้อยกว่า 3
Yeast and Mold	4.0 x 102		ต้องน้อยกว่า 1x103

ผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในผลิตภัณฑ์เปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้งที่บรรจุถุง Metallic foil ขนาดบรรจุ 100 กรัมที่อุณหภูมิ 25 ถึง 30 องศาเซลเซียสในระยะเวลา 0 - 4 สัปดาห์ พบว่าTotalviable count. ในปริมาณ 2.6x103 โคโลนี/กรัม Salmonella spp ไม่พบเชื้อในตัวอย่าง Staphylococcusaureus ในปริมาณ <10 โคโลนี/กรัม Escherichia coli ในปริมาณ <3 และปริมาณ Yeast and Mold ในปริมาณ4.0 x 102 โคโลนี/กรัม และในสัปดาห์ที่ 4 ตัวผลิตภัณฑ์มีลักษณะปรากฏจุดสีดำ คาดว่าเป็นสปอร์ของเชื้อรา จึงไม่วิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในผลิตภัณฑ์เปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้งต่อไป เมื่อทำการเปรียบเทียบกับประกาศสำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2022 (พ.ศ.2558) เรื่องมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผักและผลไม้แช่อิ่ม มผช.161/2558 พบว่า ผลิตภัณฑ์เปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้งมีคุณภาพเป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐานที่อายุการเก็บรักษา 4 สัปดาห์

3. ผลการศึกษาการทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์เปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้งการทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์เปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้ง ในการศึกษาครั้งนี้ ได้นำผลิตภัณฑ์เปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้งไปศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์โดยใช้กลุ่มผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 120 คน ณ เขตพื้นที่เทศบาลตำบลแม่คำ อำเภอแม่จัน จังหวัดเชียงราย โดยวิธี Central Location (CLT) ด้วยการให้ผู้บริโภคทดลองรับประทานผลิตภัณฑ์เปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้งบรรจุในบรรจุภัณฑ์ประเภทถุง Metallic foll ขนาด 20 กรัม 1 ซองแล้วตอบแบบสอบถามการยอมรับผลิตภัณฑ์คนละ 1 ชุด ผลการศึกษาข้อมูลลักษณะทางประชากรศาสตร์ของผู้บริโภค พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบเฉลี่ยด้านรสชาติ ลักษณะปรากฏ กลิ่น สี เนื้อสัมผัส บรรจุภัณฑ์ และความชอบโดยรวมในระดับความชอบปานกลาง และผู้บริโภคมีความสนใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ ร้อยละ100 เพราะความแปลกใหม่ของผลิตภัณฑ์ และข้อมูลทางประชากรศาสตร์ไม่มีอิทธิพลต่อการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์

อภิปรายผลการวิจัย

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้ง มีขั้นตอนในการดำเนินการศึกษา คือ การศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการผลิตเปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้ง การศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ให้เป็นไปตามสำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2022 (พ.ศ.2558) เรื่องมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผักและผลไม้อบแห้ง มผช.161 / 2558 และศึกษาการยอมรับผลิตภัณฑ์เปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้ง จากการดำเนินการศึกษาสามารถสรุปได้ ดังนี้

1. การศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการผลิตเปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้ง พบว่า ความเข้มข้นของน้ำเชื่อมเริ่มต้นร้อยละ 30 ให้ลักษณะของผลิตภัณฑ์สุดท้ายและคะแนนชอบจากผู้ชิมมากที่สุด เมื่อทำการเปรียบเทียบกระบวนการแช่อิ่มแบบเร็วและแบบช้า การแช่อิ่มแบบช้าให้ลักษณะของผลิตภัณฑ์สุดท้ายทางด้านลักษณะปรากฏสี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสความนุ่ม ได้รับคะแนนเฉลี่ย มากกว่า การแช่อิ่มแบบเร็ว และได้รับคะแนนทางด้านรสชาติจากผู้ทดสอบมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Kritsanakan, 2016)

2. การศึกษาอายุการเก็บรักษาในผลิตภัณฑ์เปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้ง ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์จากผลการวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์ พบว่า ผลิตภัณฑ์เปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้งเก็บรักษาที่ระยะเวลา 0-4 สัปดาห์ ที่บรรจุในถุง Metallic foil ขนาด 100 กรัม ที่อุณหภูมิ 25 - 30 องศาเซลเซียส มีปริมาณจุลินทรีย์น้อยกว่ามาตรฐานที่กำหนด ซึ่งเป็นไปตามประกาศสำนักงานมาตรฐาน

ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมฉบับที่ 2022 (พ.ศ.2558) เรื่องมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผักและผลไม้แช่อิ่ม มผช. 161/2558

3. การศึกษาการทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์เปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้ง พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบเฉลี่ยด้านรสชาติ รสชาติชอบปานกลาง ส่วนลักษณะปรากฏ กลิ่น สี เนื้อสัมผัส บรรจุภัณฑ์ และความชอบโดยรวมในระดับความชอบปานกลาง และผู้บริโภคมีความสนใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ร้อยละ 100 เพราะความแปลกใหม่ของผลิตภัณฑ์ และข้อมูลทางประชากรศาสตร์ไม่มีอิทธิพลต่อการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ แนวคิดในการแปรรูปผลิตภัณฑ์เหลือทิ้ง จากการแปรรูปเสาวรส โดยนำเปลือกของเสาวรสมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้ง จึงเหมาะที่ควรพัฒนาให้เป็นสินค้าของชุมชน สร้างความมั่นคงทางอาหาร เพิ่มมูลค่าสินค้าเกษตรและเป็นการเสริมสร้างให้ชุมชนเห็นคุณค่าในความรู้และพฤติกรรมการผลิตอาหารจากทรัพยากรท้องถิ่น และสืบสานภูมิปัญญาวิธีการถนอมอาหารโดยการแช่อิ่ม อย่างยั่งยืนต่อไปมากขึ้น

(ที่มา: ธีรพล ฟ้าคำตัน, ธนภพ โสตรโยม, และน้อมจิตต์ สุธีบุตร. วารสารสังคมศาสตร์วิชาการ 165ปีที่ 13 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2563)

8.4 เรื่อง การผลิตผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสสีม่วง และการประยุกต์ใช้เป็นส่วนผสมของอาหารจำลองสำหรับผู้สูงอายุ (PRODUCTION OF ANTIOXIDANT DIETARY FIBER POWDER FROM PURPLE PASSION FRUIT PEEL AND ITS APPLICATION AS INGREDIENT FOR ELDERLY MODEL FOOD)

1. บทนำ

น้ำเสาวรสจัดเป็นผลไม้เศรษฐกิจของประเทศไทยอีกชนิดหนึ่ง มีการปลูกเพื่อบริโภคสดและแปรรูปในอุตสาหกรรมน้ำผลไม้ โดยมีแหล่งปลูกที่สำคัญได้แก่ เชียงใหม่ เชียงราย น่าน เพชรบูรณ์ ระยอง ตราด ปราจีนบุรี ชุมพร นราธิวาส และสุราษฎร์ธานี เสาวรสเป็นที่นิยมบริโภค เนื่องจากมีรสชาติและกลิ่นหอมที่เป็นเอกลักษณ์ รวมทั้งมีคุณค่าทางโภชนาการโดยพบว่า เสาวรส มีปริมาณวิตามินซีถึง 39.1 มิลลิกรัม/100 กรัม ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าที่พบในน้ำมะนาว นอกจากนี้น้ำเสาวรสยังมีองค์ประกอบของ วิตามินเอ และสารไลโคปีน ซึ่งมีส่วนช่วยในการบำรุง สายตา บำรุงผิว และเป็นแหล่งที่ดีของใยอาหาร (ศุภวัชร สิงห์ทอง, เสนีย์ เครือเนตร และศุภพงษ์ อาวรณ์, 2556) และเนื่องจากผลผลิตเสาวรสเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ทำให้ความต้องการของตลาดมีแนวโน้มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยมูลนิธิโครงการหลวง ได้มีการพัฒนาพันธุ์และส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกเสาวรสมาตั้งแต่ พ.ศ. 2539 (มูลนิธิโครงการหลวง งานพัฒนาและส่งเสริมการ ผลิตไม้ผล, 2544 อ้างถึงใน กมลพรรณ อาสาสรรพกิจ, 2555) ในปี พ.ศ. 2556 มีรายงานปริมาณผลผลิตเฉพาะในพื้นที่ ที่โครงการหลวงรับผิดชอบ รวม 301,760 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่ากว่า 8.21 ล้านบาท (อัจฉรา ภาวศุทธิ์, วิรัตน์ ปราบทุกข์, จิระนิล แจ่มเกิด และณัฐวรรณ ธรรมสุวรรณ์, 2557) เสาวรสพันธุ์สีม่วง มีชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Passiflora edulis Sims* มีลักษณะเปลือกสีม่วงจัดเป็นเสาวรสพันธุ์หวาน และมีกลิ่นหอมที่เป็นเอกลักษณ์ จึงนิยมนำมารับประทานโดยการบริโภคสดและแปรรูป (ณัชชา บุญปลื้ม, 2550) มีรายงานว่า เปลือกเสาวรสพันธุ์สีม่วง มีองค์ประกอบหลักของสารพฤกษเคมีกลุ่มโพลีฟีนอล ฟลาโวนอยด์ และแอนโทไซยานิน ซึ่งมีฤทธิ์ในการ ต้านอนุมูลอิสระ และต้านการอักเสบได้ โดยพบว่าช่วยลดอาการอักเสบในผู้ป่วยโรคข้อเข่าเสื่อม (Farid et al., 2010) นอกจากนี้ยังมีฤทธิ์ช่วยลดความดันโลหิต รวมถึงช่วยลดอาการหอบหืดได้ (Zibadi et al. 2007; Watson et al., 2008) เปลือกเสาวรสเป็นวัสดุเศษเหลือที่ได้จากกระบวนการแปรรูปน้ำเสาวรส คิดเป็นประมาณ 50-60% ของน้ำหนักทั้งผล (Hernandez-Santos et al., 2015) ซึ่งมักถูกทิ้งและนำมาใช้ประโยชน์เป็นเพียงอาหารสัตว์และปุ๋ย ทั้งที่วัสดุเศษเหลือนี้ยังคงมีสารอาหารที่เป็นประโยชน์ โดยเฉพาะการเป็นแหล่งของใยอาหาร รวมทั้งสารพฤกษเคมีที่สำคัญ (ศุภวัชร สิงห์ทอง และคณะ, 2556) จากการตรวจเอกสารยังไม่พบการนำเปลือกเสาวรสพันธุ์สีม่วงมาใช้ประโยชน์

ทางด้านการใช้เป็นส่วนผสมในอาหาร ดังนั้นการเพิ่มมูลค่าให้กับเปลือกเสาวรสพันธุ์สีม่วงจึงเป็นประเด็นที่น่าสนใจ

ใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant dietary fiber) หมายถึง ใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระเป็นองค์ประกอบ หรือกล่าวได้ว่า เป็นใยอาหารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยสามารถยับยั้งหรือชะลอปฏิกิริยาออกซิเดชันทำลายอนุมูลอิสระที่ร่างกายได้รับ ยับยั้งการรวมตัวของเกล็ดเลือด การต้านจุลินทรีย์ และการต้านปฏิกิริยาการอักเสบ จึงมีส่วนช่วยป้องกันโรคต่าง ๆเช่น โรคมะเร็ง โรคหัวใจ และโรคอัลไซเมอร์ เป็นต้น (Saura-Calixto, 1998) โดยทั่วไปการผลิตใยอาหารจากวัสดุเศษเหลือผักผลไม้ มักให้ความสำคัญกับการกำจัดส่วนที่ไม่ใช่ใยอาหารออกจากวัตถุดิบ โดยไม่ได้คำนึงถึงสารพฤกษเคมีที่เป็นองค์ประกอบด้วย (Oreopoulou & Tzia,2007) สำหรับงานวิจัยนี้ต้องการผลิตผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสพันธุ์สีม่วง จึงมีความมุ่งหมายที่จะพัฒนากระบวนการผลิตผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสให้มีการสูญเสียองค์ประกอบของ ใยอาหาร และสารพฤกษเคมีให้น้อยที่สุด โดยสารพฤกษเคมีที่สำคัญในเปลือกเสาวรสพันธุ์สีม่วง ได้แก่ กลุ่มของสารประกอบโพลีฟีนอล แอนไทไซยานิน และฟลาโวนอยด์ (Zibadi et al., 2007; Farid et al., 2010; Zeraik et al., 2011) โดยมีขอบเขตการศึกษาในขั้นตอนการเตรียมขั้นต้น และการหาสภาวการณ์ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่เหมาะสม ในขั้นตอนของการเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้ง มักดำเนินการโดยการใช้ความร้อนและการใช้สารเคมี โดยการใช้ความร้อนมีวัตถุประสงค์สำคัญ คือ การยับยั้งเอนไซม์ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ช่วยให้เนื้อเยื่ออ่อนนุ่มลง ทำให้มีอัตราการทำแห้งเร็วขึ้น จึงช่วยลดเวลาในการทำแห้งรวมถึงเป็นการลดจำนวนจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อน (Larrauri,1999; Nilnakara, 2006; Wachirasiri,Julakarangka, & Wanlapa, 2009; Tanongkankit,2011) สำหรับการเตรียมขั้นต้นโดยการใช้สารเคมีในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการแช่วัตถุดิบในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ ซึ่งสามารถช่วยกำจัดน้ำบางส่วนออกจากเนื้อเยื่อ ทำให้มีอัตราการทำแห้งเร็ว จึงช่วยลดเวลาในการทำแห้งลง และสามารถต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน จึงช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของรงควัตถุระหว่างการทำแห้งนอกจากนี้ยังสามารถช่วยกำจัดสารที่ให้กลิ่นรสที่ไม่ต้องการในวัตถุดิบ เช่น รสฝาดขม ของแทนนิน (Lewicki, 2006; กุลนรี ศาสตร์ประสิทธิ์ และกุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์, 2552; สุภาพร อภิรัตนานุสรณ์, 2554) การทำแห้งเป็นขั้นตอนของการ กำจัดน้ำออก ทั้งยังช่วยยืดอายุการเก็บ และสะดวกกับการนำไปใช้ แต่อย่างไรก็ตามการทำแห้งด้วยสภาวะที่แตกต่างกัน มีผลต่อคุณภาพของใยอาหารผง ด้านสมบัติเชิงหน้าที่ เช่น สมบัติการจับน้ำ (Hydration properties) และความสามารถในการดูดซับน้ำตาล (Glucose adsorption capacity) รวมทั้งการคงอยู่ของสารพฤกษเคมีที่สำคัญด้วย

(Larrauri, 1999; Garau, Simal, Rossello´, & Femenia, 2007; Tanongkankit, 2011) จึงควรมีการศึกษาหาสภาวการณ์ทำแห้งที่เหมาะสม

เนื่องด้วยปัจจุบันประเทศไทยได้กลายเป็นสังคมผู้สูงอายุ (อายุ 60 ปี ขึ้นไป) โดยในปี พ.ศ.2556 ประเทศไทยมีผู้สูงอายุ 9.6 ล้านคน และในปีพ.ศ. 2576 คาดประมาณว่าผู้สูงอายุจะเพิ่มจำนวนเป็น 14 ล้านคน หรือคิดเป็น 1 ใน 4 ของประชากรทั้งหมด (มูลนิธิสถาบันวิจัยและพัฒนาผู้สูงอายุไทย, 2557) ผู้สูงอายุยิ่งมีอายุมากขึ้นก็มักมีความเสี่ยงสูงขึ้นต่อการเป็นโรคเรื้อรังหรือโรคประจำตัว อันเกิดจากพฤติกรรมการรับประทานอาหาร การออกกำลังกาย หรือความเสื่อมถอยของสุขภาพ (สำนักงานสถิติแห่งชาติ,2554) ด้วยปัญหาสุขภาพของผู้สูงอายุ จึงทำให้มีความต้องการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพ (Functional food) มากขึ้น ทำให้ตลาดอาหารเพื่อสุขภาพมีแนวโน้มเติบโตอย่างต่อเนื่อง (สุรอรรถ ศุภจัตุรัส,2554) โดยในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุต้องมีลักษณะพิเศษที่ต้องคำนึงถึงคือผลิตภัณฑ์ต้องอยู่ในรูปแบบ ที่ง่ายต่อการเคี้ยวและกลืน (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2558) ดังนั้นในขั้นตอนสุดท้ายของงานวิจัยนี้ จึงเป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส โดยมีขอบเขตการศึกษาใช้เป็นส่วนผสมของอาหารจำลองสำหรับผู้สูงอายุในรูปแบบของอาหารจำลองประเภทของเหลว (Liquid model food) และอาหารจำลองประเภทเจล (Gel model food)

จุดประสงค์ของงานวิจัย งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาการผลิตผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสสีม่วงเพื่อใช้เป็นส่วนผสมในอาหาร จากการศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นโดยการใช้ความร้อนได้แก่ 1) การลวกด้วยน้ำร้อน 90±2°C 2) การลวกด้วยไอน้ำ 100±2°C และ 3) การลวกด้วยไอน้ำ 121°C ที่ความดัน 15 psi โดยใช้เวลา 3 นาที และ 6 นาที พบว่า วิธีและเวลาการให้ความร้อนมีอิทธิพลร่วมกันต่อคุณภาพของผงใยอาหารด้านปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ($p<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ($p\geq0.05$)จากการนำเปลือกเสาวรสที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยใช้ความร้อนมาแช่ต่อในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ 3% โดยใช้เวลา 10 นาที และ 30 นาที ร่วมกับการแช่โดยใช้และไม่ใช้สภาวะสุญญากาศ ที่ความดัน 50 mbar พบว่า เวลาและสภาวะการแช่มีอิทธิพลร่วมกันต่อคุณภาพของผงใยอาหารด้านปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ($p<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อปริมาณใยอาหารทั้งหมดและปริมาณแอนโทไซยานิน ($p\geq0.05$) ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนโดยจัดสิ่งทดลองแบบ Central Composite Design แปรอุณหภูมิการทำแห้ง 50°C-70°Cและเป็นเวลา 300-420 นาที พบว่า สมการความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพของผงใย

อาหารกับสภาวะการทำแห้งมีความน่าเชื่อถือได้ (R2 0.77-0.95) ผลจากการใช้เทคนิคการซ้อนทับกราฟ Response Surface Plot สามารถหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งได้ จากผลการทดลองได้วิธีการผลิตผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่เหมาะสมที่สุด คือ การเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำร้อน 3 นาที แล้วแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ 3% 10 นาที ทำแห้งที่อุณหภูมิ 62°C 300 นาที ได้ผงใยอาหารที่มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด 76.00 กรัม/100 กรัม ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 60.35 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม ปริมาณแอนโทไซยานิน 15.78 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/100 กรัม สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ 87.89% โดยมีสีม่วงแดงอ่อน จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการนาผงใยอาหารที่ผลิตได้มาใช้เป็นส่วนผสมของอาหารจำลองสำหรับผู้สูงอายุ พบว่า มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อคุณภาพที่ต้องคำนึงถึงดังนี้ปริมาณผงใยอาหาร (1%-5%) และอุณหภูมิการเตรียม (อุณหภูมิห้อง และ 60±1°C) มีอิทธิพลร่วมกันต่อคุณภาพของน้ำเสาวรสพร้อมดื่ม รวมทั้งปริมาณผงใยอาหาร (2%-10%) และการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ต่างชนิดกันมีผลต่อคุณภาพเต้าหู้เย็น ($p<0.05$) โดยผลิตภัณฑ์อาหารจำลองสำหรับผู้สูงอายุต้นแบบที่ผลิตได้นี้ ได้รับการยอมรับจากผู้สูงอายุ โดยมีปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ มากกว่าผลิตภัณฑ์สูตรพื้นฐานที่ไม่เติมผงใยอาหาร ($p<0.05$)

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เสาวรส

2.1.1 คุณค่าทางโภชนาการและประโยชน์ของเสาวรส

เนื้อในหรือรกหุ้มเมล็ดของผลเสาวรสสามารถรับประทานได้ โดยผ่าผลแล้วเติมน้ำตาลทรายเพียงเล็กน้อยก็สามารถรับประทานได้ทั้งเมล็ด หรือสามารถนำไปทำเป็นแยมผลไม้ น้ำคั้นจากส่วนเนื้อมีกลิ่นหอมและมีกรดมาก ใช้ผสมเป็นเครื่องดื่ม หรือผสมกับน้ำผลไม้อื่น ๆ เพื่อเพิ่มรสชาติและกลิ่นหอม ซึ่งกำลังเป็นที่นิยมในต่างประเทศ และเป็นที่ต้องการของอุตสาหกรรมแปรรูปหลายแห่งในประเทศไทย เพราะนอกจากทำ ให้เครื่องดื่มมีรสชาติและกลิ่นดีขึ้นแล้ว น้ำเสาวรสยังมีคุณค่าทางโภชนาการดังตารางที่ 1 พบว่า วิตามินซีที่พบในน้ำเสาวรสมีปริมาณสูง โดยมีรายงานว่าวิตามินซีที่พบในน้ำเสาวรสมีปริมาณสูงกว่าผลไม้หลายชนิด เช่น ส้ม มะม่วง สับปะรด อะโวกาโด เป็นต้น (Vinci,Botré, & Mele, 1995) จากองค์ประกอบทางโภชนาการที่พบ ทำให้ผู้บริโภคจำนวนมากหันมาบริโภคเสาวรสเพิ่มขึ้นนอกจากผลเสาวรสที่นำมารับประทานหรือแปรรูปเป็นน้ำเสาวรสแล้ว ส่วนต่าง ๆ ของเสาวรสยังสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ สำหรับเมล็ดที่ผ่านการคั้นน้ำแล้ว สามารถนำมาสกัดเป็นน้ำมันพืชได้ เนื่องจากในเมล็ดเสาวรสมีน้ำ มันอยู่สูงถึง 27% และคุณภาพใกล้เคียงกับน้ำมันในเมล็ดฝ้าย ซึ่งนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้ เช่น การผลิตน้ำมันพืช เครื่องสำอาง ยา และใช้ทำเนยเทียม นอกจากนี้ Agizzio et al.(2003) รายงานว่าเมล็ดเสาวรสมีสาร albumin-homologous protein ซึ่งสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้สำหรับส่วนเปลือกเสาวรสที่เป็นวัตถุดิบพลอยได้จากการแปรรูปน้ำเสาวรสสามารถนำไปหมักทำเป็นอาหารสัตว์และปุ๋ยหมักได้ (ลพ ภวภูตานนท์, 2545; ศุภวัชร สิงห์ทอง และคณะ, 2556)

ตารางที่ 2-1 คุณค่าทางโภชนาการของน้ำเสาวรสพันธุ์สีม่วง และพันธุ์สีเหลือง ที่ผลิตจากวัตถุดิบ 100 กรัม

ปริมาณคุณค่าทางโภชนาการ	พันธุ์สีม่วง	พันธุ์สีเหลือง
พลังงาน	51 กิโลแคลอรี่	60 กิโลแคลอรี่
ไขมันทั้งหมด	0.050 กรัม	0.180 กรัม
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด	13.60 มิลลิกรัม	14.45 มิลลิกรัม
เส้นใยอาหาร	0.20 มิลลิกรัม	0.20 มิลลิกรัม
น้ำ	85.62 กรัม	84.21 กรัม
วิตามินต่าง ๆ		
วิตามินซี	29.80 มิลลิกรัม	18.20 มิลลิกรัม
ไรโบฟลาวิน	0.13 มิลลิกรัม	0.10 มิลลิกรัม
ไนอะซิน	1.46 มิลลิกรัม	2.24 มิลลิกรัม
วิตามินบี	60.05 มิลลิกรัม	0.06 มิลลิกรัม
โฟเลต	7.00 ไมโครกรัม	8.00 ไมโครกรัม
วิตามินเอ	717 IU	2410 IU
แร่ธาตุ		
แคลเซียม	4.00 มิลลิกรัม	4.00มิลลิกรัม
0.24 มิลลิกรัม 0.36มิลลิกรัม	0.24 มิลลิกรัม	0.36มิลลิกรัม
แมกนีเซียม	17.00 มิลลิกรัม	17.00 มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	13.00 มิลลิกรัม	25.00มิลลิกรัม
โพแทสเซียม	278.00มิลลิกรัม	278.00มิลลิกรัม
โซเดียม	6.00 มิลลิกรัม	6.00 มิลลิกรัม
สังกะสี	0.05 มิลลิกรัม	0.06 มิลลิกรัม
ทองแดง	0.05 มิลลิกรัม	0.05 มิลลิกรัม

ที่มา : Carb Counter (2006)

มีรายงานการศึกษาถึงความสามารถในการเป็นแหล่งใยอาหารของเปลือกเสาวรส โดย Yapo and Koffi (2006) ได้ศึกษาลักษณะของเพกตินที่สกัดได้จากเปลือกเสาวรสชนิดผลสีเหลืองพันธุ์ P.edulis f.flavicarpa Degener พบว่า เพกตินที่ได้มีปริมาณเมทิลเอสเทอร์ต่ำ โดยจากการศึกษาสมบัติเพกตินได้แก่ การเกิดเจลความหนืด เปรียบเทียบกับเพกตินทางการค้าที่ผลิตจากพืชตระกูลส้ม พบว่า เพกตินจากเปลือกเสาวรสมีสมบัติไม่ต่างจากเพกตินทางการค้า ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าเปลือกเสาวรสจัดเป็นแหล่งของเพกตินที่ดี นอกจากนี้ ณัชชา บุญปลื้ม (2550) ได้ประเมินคุณค่าทางโภชนาการและสารต้านโภชนะในวัสดุเหลือทิ้ง

จากการทำน้ำเสาวรส พบว่า เปลือกและกากเสาวรสพันธุ์ผลสีม่วงและพันธุ์ผลสีเหลืองหลังการคั้นน้ำมีปริมาณใยอาหารและวิตามินมากเหมาะที่จะนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเสริมใยอาหารเพื่อบริโภคในคนได้ นอกเหนือจากใช้ในการผสมเป็นอาหารสัตว์ คุณค่าทางโภชนาการและสารต้านอนุมูลอิสระของเปลือกเสาวรสพันธุ์ผลสีม่วง แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2-2 คุณค่าทางโภชนาการและสารต้านอนุมูลอิสระของเปลือกเสาวรสพันธุ์สีม่วง

คุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณที่ตรวจพบ
องค์ประกอบเบื้องต้น	
ความชื้น	79.49 %
เถ้า	1.98 %
ไขมัน	0.30 %
โปรตีน	1.13 %
กากใย	10.43 %
คาร์โบไฮเดรต	6.66 %
ปริมาณใยอาหารทั้งหมด	88.30 %
ปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ	57.60 %
ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ	30.70 %

ตารางที่ 2-3 คุณค่าทางโภชนาการและสารต้านอนุมูลอิสระของเปลือกเสาวรสพันธุ์สีม่วง

คุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณที่ตรวจพบ
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด	0.61 %
สารประกอบฟลาโวนอยด์	0.32 %
เบต้าแคโรทีน	1.42 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง
วิตามินซี	27.23 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง
วิตามินอี	25.07 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง

ที่มา : ณัชชา บุญปลื้ม (2550)

เปลือกเสาวรสซึ่งเป็นวัสดุเศษเหลือจากการแปรรูปน้ำเสาวรส นอกจากจะเป็นแหล่งของใยอาหารแล้ว ยังมีการศึกษาถึงสารสำคัญในเปลือกเสาวรสกันมากขึ้น รวบรวมได้ดังนี้ Zibadi et al. (2007) รายงานว่าเปลือกเสาวรสพันธุ์สีม่วงมีส่วนประกอบของ bioflavonoids, phenolic acids และ anthocyanins สามารถช่วยลดความดันโลหิตได้ Watson et al. (2008) รายงานว่าสารสกัดจากเปลือกของเสาวรสพันธุ์ผลสีม่วง ช่วยลดอาการหอบหืด โดยทำการศึกษาในหลอดทดลอง Farid et al. (2010)

รายงานว่าเปลือกเสาวรสมีองค์ประกอบหลักของ flavonoids และ anthocyanins ซึ่งสารสกัดจากเปลือกเสาวรสนี้มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระและต้านการอักเสบได้โดยทำการศึกษาในผู้ป่วย knee osteoarthritis พบว่าช่วยลดอาการอักเสบ และสามารถใช้แทนยาแก้ปวดชนิด NSAIDs ได้ โดยมีผลข้างเคียงน้อยกว่า Zeraik et al. (2011) รายงานว่าผลของเสาวรสและเปลือกของเสาวรสพันธุ์สีม่วงมีฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันและต้านการอักเสบโดยพบว่าสารสกัดจากเปลือกเสาวรสมีความสามารถในการยับยั้งการสร้างอนุมูลอิสระของเซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดนิวโทรฟิ ล และยับยั้งปฏิกิริยาเพอร์ออกซิเดสของเอนไซม์ MPO ได้มากกว่าสารสกัดจากผลเสาวรส เนื่องจากสาร ฟลาโวนอยด์ที่มีตามธรรมชาติในเปลือกเสาวรส

2.2 ใยอาหาร

ใยอาหาร (Dietary fiber) คือ ส่วนของผนังเซลล์พืชที่ไม่สามารถถูกย่อยด้วยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารและไม่ถูกดูดซึมในบริเวณลำไส้เล็กของมนุษย์ แต่จุลินทรีย์บางชนิดในลำไส้ใหญ่สามารถย่อยส่วนประกอบบางส่วนของใยอาหารได้ (AACC, 2001; Dhingra, Michael, Rajput,& Patil, 2012) แม้ว่าใยอาหารไม่ใช่สารอาหารและไม่ให้พลังงาน แต่มีบทบาทสำคัญต่อภาวะโภชนาการและสุขภาพ มีผลดีทางสรีระวิทยา เช่น ช่วยทำให้ระบบทางเดินอาหารและระบบขับถ่ายทำงานเป็นปกติควบคุมระดับและปริมาณของคอเลสเตอรอลและน้ำตาลในกระแสเลือด (Larrauri,1999; Jimenez-Escrig & Sanchenz-Muniz, 2000; Dhingra et al., 2012) ใยอาหารประกอบด้วยโมเลกุลของคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนที่ไม่ใช่แป้ง เช่น เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส(Hemicellulose) กัม (gums) เพคติน (pectins) และมิวซิเลจส์ (mucilage) เป็นองค์ประกอบหลักรวมถึงสารประกอบที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต เช่น ลิกนิน (lignin) (Dhingra et al., 2012; Yangilar,2013)

2.2.1 ประเภทของใยอาหาร

ใยอาหารสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทตามความสามารถการละลายน้ำ (Jimenez-Escrig & Sanchez-Muniz, 2000; Dhingra et al., 2012) ได้แก่

1) ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble dietary fiber) เป็นพวกคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนที่มีลักษณะเหนียว ส่วนใหญ่เป็นส่วนโครงสร้างของผนังเซลล์พืช สามารถย่อยสลายได้ยาก แต่สามารถอุ้มน้ำ ได้ดี เมื่อจับกับน้ำ แล้วเกิดการพองตัวลักษณะคล้ายฟองน้ำ ทำให้ช่วยเพิ่มปริมาณของกากอาหาร ทำให้กากอ่อนนิ่มส่งผลให้ขับถ่ายได้สะดวกขึ้น

1.1) เซลลูโลสเป็นพอลิแซกคาไรด์สายยาวที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคส (Glucopyranose) ที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกแบบเบต้า 1,4 และมีปริมาณของการ

พอลิเมอไรซ์ (Degree of polymerization, DP) อยู่ในช่วง 300-15,000 หน่วย (Dreher, Dreher, & Berry, 1984; Wongmetinee, 2007; Dhingra et al., 2012; Yangilar, 2013)

1.2) เฮมิเซลลูโลสเป็นพอลิแซกคาไรด์ที่มีน้ำตาลหลายชนิดเป็นองค์ประกอบโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลสประกอบด้วยสายโซ่หลัก ซึ่งแบ่งอย่างกว้าง ๆ ได้ 3 แบบ ได้แก่ไซโลส (Xylose) กลูโคแมนแนน (Glucomannan) และกาแลกแตน (Galactans) และมีสายโซ่กิ่งเป็นน้ำตาลกลุ่มอื่นที่ต่ออยู่กับสายโซ่หลัก ได้แก่ กาแลกโตส (Galactos) อะราบิโนส (Arabinose) และกรดยูโรนิก (Uronic acid) ซึ่งมักถูกเติมหมู่เมทิล (Kimura, 1977; Wongmetinee, 2007; Dhingra et al.,2012; Yangilar, 2013) โดยโมเลกุลของน้ำตาลเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกแบบเบต้า 1,4 และมี DP 50-200 หน่วย ซึ่งต่ำกว่าเซลลูโลส 2012)

1.3) ลิกนิน ประกอบด้วยหน่วยย่อยของแอลกอฮอล์พวกฟีนิลโพรเพนซึ่งเกิดจากกระบวนการ Dehydrogenative polymerization หรือ Condensation ของสารฟีนอลิกแอลกอฮอล์ ได้แก่ Coniferyl, Sinapyl และ p-Coumaryl alcohol โดยการทำงานของเอนไซม์ เกิดเป็นสายโซ่ลิกนินอยู่ในชั้นของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส มีน้ำหนักโมเลกุลสูงประมาณ 1,000-4,000 ดอลตัน(Cummings, 1976; Dhingra et al., 2012; Yangilar, 2013) มักพบลิกนินในพืชที่ค่อนข้างแก่หรือ ผลไม้สุก นอกจากนี้ลิกนินยังมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำไม่สลายทั้งในกรดและด่างแก่ และไม่สามารถย่อยได้ในร่างกายมนุษย์ คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญคือ สามารถดูดซับน้ำดี (bile acid) ได้ดี และอาจมีผลชะลอการดูดซึมสารอาหารบางชนิดในลำไส้เล็ก (ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์ และเบญจวรรณ ธรรมธนารักษ์, 2538)

1.4) คิวตินและแวกซ์ พบร่วมกับส่วนที่เป็นโครงสร้างของพืช โดยมีองค์ประกอบของไขมันที่ไม่รวมกับน้ำปกติจะพบในปริมาณที่น้อย (ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์ และเบญจวรรณขธรรมธนารักษ์, 2538)

2) ใยอาหารที่ละลายน้ำ (Soluble dietary fiber) เป็นใยอาหารที่มีอยู่ในเซลล์ของพืชทั่วๆไป มักปะปนอยู่กับส่วนที่เป็นแป้งในพืช สามารถย่อยสลายได้บ้าง มีคุณสมบัติในการสร้างความหนืด เมื่อรวมตัวกับน้ำ จะเกิดการกระจายโครงสร้างที่อัดแน่นและอาจเปลี่ยนไปให้อยู่ในรูปของเจลทำให้ดูดซับสารที่มีประจุช้าลง เช่น น้ำตาล คอเลสเตอรอล และเกลือแร่บางชนิด ส่งผลให้ชะลอและลดการดูดซึมของสารอาหารดังกล่าวเข้าสู่ร่างกาย (หยาดฝน ทนงการกิจ, 2557) ชนิดของใยอาหารที่ละลายน้ำมีหลายชนิด ได้แก่ เพคติน (Pectin) มิวซิเลจส์ (Mucilage) และกัม (Gum) ใยอาหารประเภทนี้มีรายละเอียดดังนี้

2.1) เพคติน เป็นโพลิแซกคาไรด์ที่อยู่ตรงส่วนกลางของผนังเซลล์ ทำหน้าที่ยึดเซลล์ให้ติดกัน มีโครงสร้างเป็นสายพอลิเมอร์ของกรดกาแล็กทูโรนิก (D-galacturonic acid) ที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกแบบอัลฟา 1,4 และยังประกอบด้วยโซ่กิ่งของน้ำตาลชนิดต่างๆ ได้แก่กาแลกโตส กลูโคส แรมโนส

และอะราบิโนส (Prosky & Devries, 1992; Wongmetinee, 2007;Dhingra et al., 2012; Yangilar, 2013) เพคตินมีน้ำหนักโมเลกุลสูงอยู่ในช่วง 50,000-150,000 เมื่อคิดเป็น DP อยู่ในช่วง 100 - 10,000

2.2) มิวซิเลจส์ เป็นพอลิแซกคาไรด์เชิงซ้อน มักพบอยู่รวมกับโปรตีน และยูราไนด์ (Uranides) ซึ่งอยู่ในส่วนของผนังเซลล์พืช โดยมากพบอยู่ใน Endosperm (Kimura, 1977; Dhingraet al., 2012) มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ตั้งแต่ 200,000 ดอลตัน ขึ้นไป มิวซิเลจส์มีสมบัติทางเคมีใกล้เคียงกับกัมและเพคติน แต่มีสมบัติทางกายภาพต่างกัน

2.3) กัม เป็นพอลิแซกคาไรด์สายยาวที่มีโซ่กิ่งเป็นน้ำตาลโอลิโกแซคคาไรด์ โดยน้ำตาลที่พบบ่อยจะเป็นพวกดี-กลูคูโรนิค (D-Glucuronic) และดี-แมนูโรนิค (D-manuronic) หรือดี-กาแลคทูโรนิค (D-Galacturonic acid) กัมเป็นสารที่มีลักษณะเหนียว เมื่อละลายหรือกระจายตัวอยู่ในน้ำจะทำให้สารละลายมีความหนืดสูง หรือมีลักษณะเป็นเจล ในอุตสาหกรรมอาหารจึงนำกัมมาใช้ประโยชน์ต่าง ๆ เช่น เป็นสารเพิ่มความคงตัว (Stabilizer) สารเพิ่มความหนืด ช่วยให้มีอิมัลชัน ช่วยให้เกิดเจล เป็นต้น (Dhingra et al., 2012) ตัวอย่างกัมชนิดต่าง ๆ เช่น

- วุ้น (Agar) เป็นมิวซิเลจส์ ที่ได้จากสาหร่าย โครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วย Sulfanoated polymer ของ Anhydrogalactose น้ำตาลกาแลกโตสที่อยู่ในรูป D และ L น้ำตาลไซโลส

- แอลจีเนต (Alginate) สกัดได้จากสาหร่ายสีน้ำตาล โครงสร้างประกอบด้วยสายพอลิเมอร์ของกลูโคโรนิก และกรดแอนไฮโดรแมนนูโลนิก (Anhydromanulonic acid) โดยทั่วไปจะอยู่ในรูปของเกลือโซเดียม เกลือโพแทสเซียม หรือเกลือแมกนีเซียม ทำให้สามารถละลายได้ดีทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น

- กัมอะราบิก (Arabic gum) สกัดได้จากต้นอะคาเซีย (Acacia) มีองค์ประกอบที่เป็นน้ำตาลหลัก ๆ คือ น้ำตาลอะราบิโนส น้ำตาลกาแลกโตส น้ำตาลแรมโนสและกลูโรนิก

- คาราจีแนน (Carrageenan) โครงสร้างเป็นสายพอลิเมอร์ของ Sulfanoatedgalactose

- กัวร์กัม (Guar gum) สกัดจากเอนโดสเปิร์มของเมล็ดถั่ว Cyamopsis tetragonobus เป็นพืชตระกูลถั่วที่พบในประเทศแถบอินเดียและปากีสถาน โครงสร้างหลักประกอบด้วยสายพอลิเมอร์ของน้ำตาลแมนโนสและมีน้ำตาลกาแล็กโตสเป็นสาขาเกาะอยู่ที่โครงสร้างหลัก ลักษณะโดยทั่วไป ไม่มีรส ไม่มีกลิ่น สามารถละลายได้ดีในน้ำร้อนและน้ำเย็น

- แซนแทนกัม (Xanthan gum) พบในแบคทีเรียชื่อ Xanthomanas campestrisโดยเกิดจากปฏิกิริยาหมู่อะซิทิลและหมู่ไพรูเวทในน้ำตาลกลูโคส น้ำตาลแมนโนส และกรดกลูโคโลนิกนอกจากนี้ยังมีอินเดียมกัม คารายากัมโลคัสบีนกัม ไซเลียมซีดกัม (Prylium seed gum) เป็นต้น และยังพบว่ามีเฮมิเซลลูโลสบางชนิดสามารถละลายน้ำได้ด้วย แต่มีปริมาณน้อย (ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์และเบญจวรรณ

ธรรมธนารักษ์, 2538) ใยอาหารมีโครงสร้างทางเคมีที่ซับซ้อน ปริมาณและสารประกอบในโครงสร้างจะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับแหล่งที่พบ องค์ประกอบของใยอาหารชนิดต่าง ๆ แบ่งตามโครงสร้างของหมู่น้ำตาลและชนิดของพันธะ

2.2.2 สมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหาร (หยาดฝน ทนงการกิจ, 2557) ใยอาหารแต่ละชนิดมีสมบัติเชิงหน้าที่ที่แตกต่างกัน ซึ่งสมบัติเชิงหน้าที่ของพืชแต่ละชนิดจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ละลายน้ำของพืชชนิดนั้น นอกจากนี้ขนาดของอนุภาคของใยอาหาร และวิธีการผลิตใยอาหาร ก็มีผลต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหารเช่นกัน โดยดัชนีที่สามารถบ่งบอกถึงสมบัติเชิงหน้าที่ที่สำคัญของใยอาหารมีดังนี้

1) สมบัติการจับน้ำ (Hydration propoties) เป็นสมบัติของใยอาหารที่บ่งบอกความสามารถในการเก็บกักน้ำ ไว้ภายในโครงสร้างของใยอาหาร เนื่องจากใยอาหารมีองค์ประกอบของโพลีแซคคาไรด์ซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีหมู่ไฮดรอกซีอิสระเป็นจำนวนมากจึงสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ ดังนั้นทั้งใยอาหารที่ ไม่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ละลายน้ำ จึงสามารถอุ้มน้ำ ไว้ได้ดัชนีที่บ่งชี้สมบัติการจับน้ำของใยอาหาร ได้แก่ ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) ความสามารถในการจับน้ำ (Water binding capacity) ความสามารถในการพองตัว(Swelling capacity) และความสามารถในการละลาย โดยสมบัติในการจับน้ำมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการละลายน้ำ เช่น เซลลูโลสและลิกนินจะมีสมบัติในการอุ้มน้ำ ต่ำจึงไม่สามารถละลายน้ำได้ ส่วนเพคตินกัมและมิวซิเลจส์ มีความสามารถในการอุ้มน้ำ สูงจึงละลายน้ำได้ง่าย

2) ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (Oil holding capacity) เป็นสมบัติของใยอาหารที่ใช้แสดงค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ มันไว้ในโครงสร้างของใยอาหาร ซึ่งใยอาหารที่มีโครงสร้างของโพลีแซคคาไรด์ เช่น อัลจีเนต เพคติน เป็นต้น สามารถจับกับน้ำมันได้ดีจึงมักถูกนำมาใช้ในการเพิ่มความคงตัวของอิมัลชันในอาหาร

3) ความสามารถในการดูดซับน้ำตาล (Glucose adsorption capacity) และความสามารถในการชะลอการดูดซับน้ำตาล (Glucose retardation index) โดยความสามารถในการดูดซับน้ำตาล สามารถวิเคราะห์ได้จากปริมาณของน้ำตาลที่ใยอาหารดูดซับไว้หลังจากที่สภาวะสมดุล ค่านี้มักจะใช้ในการแสดงถึงพฤติกรรมของใยอาหารในการดูดซับน้ำตาลเมื่ออยู่ในลำไส้ส่วนความสามารถในการชะลอการดูดซับน้ำตาลเป็นค่าที่ใช้ในการทำนายถึงการดูดซับน้ำตาลของใยอาหารในระบบทางเดินอาหารที่เวลาต่าง ๆ

4) การชะลอการจับกับกรดน้ำดี (Bile acid retardation index) เป็นดัชนีที่ใช้ในการบ่งบอกถึงผลของใยอาหารต่อการลดคอเลสเตอรอล เนื่องจากกรดน้ำดีเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการย่อยไขมันใน

ลำไส้เล็ก ดังนั้นสมบัติในการดูดซับกรดน้ำดีของใยอาหารจะสัมพันธ์กับประสิทธิภาพในการลดคอเลสเตอรอล เนื่องจากการจับตัวกันระหว่างใยอาหารกับน้ำดีซึ่งมีส่วนประกอบของคอเลสเตอรอลอยู่ ทำให้น้ำดีถูกขับออกสู่ระบบร่างกายโดยการขับถ่ายพร้อมกับใยอาหาร เมื่อน้ำดีถูกขับออกนอกร่างกาย ร่างกายก็นำคอเลสเตอรอลปรับเปลี่ยนแทนที่น้ำดี จึงทำให้ปริมาณคอเลสเตอรอลลดลง จากการศึกษาพบว่าลิกนินจะดูดซับกรดน้ำดีได้มากกว่าเพคตินและเซลลูโลส

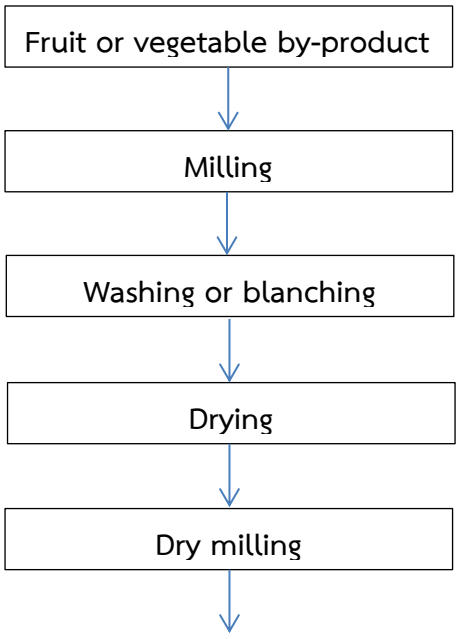
2.2.3 ใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant Dietary Fiber) แหล่งของใยอาหารโดยทั่วไปแล้วได้จาก ธัญพืช เช่น ข้าว ข้าวโพด ข้าวสาลี พืชตระกูลถั่วต่าง ๆ ผัก และผลไม้ ซึ่งใยอาหารในธัญพืชส่วนใหญ่ เป็นใยอาหารชนิดที่ไม่ละลายน้า ส่วนใยอาหารในผลไม้มีทั้งชนิดที่ไม่ละลายน้า และละลายน้า แม้ธัญพืชจะมีปริมาณใยอาหารสูงมาก แต่ใยอาหารในผักและผลไม้มีคุณภาพที่ดีกว่า เนื่องจากมีสารพฤกษเคมีที่สำคัญในปริมาณสูง และมีสมดุลขององค์ประกอบทางเคมีดีกว่า โดยใยอาหารจากผลไม้มีอัตราส่วนของใยอาหารที่ละลายน้าต่อไม่ละลายน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำ และความสามารถในการอุ้มน้ำ มันสูงกว่าใยอาหารจากธัญพืช ให้พลังงานต่ำ และมีกรดไฟติก (Phytic acid) ต่ำกว่าใยอาหารจากธัญพืช (Larrauri,1999;Nilnakara,2006) นอกจากนี้ยังพบว่าใยอาหารจากผลไม้มีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่นฟลาโวนอยด์ โพลีฟีนอล และแคโรทีน เป็นองค์ประกอบ ซึ่ง Saura-Calixto (1998) ได้ให้คำนิยามใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระเป็นองค์ประกอบว่า เป็นใยอาหารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ(Antioxidant dietary fiber) โดยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเหล่านี้มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสามารถยับยั้งหรือชะลอปฏิกิริยาออกซิเดชัน มีฤทธิ์ทำลายอนุมูลอิสระที่ร่างกายได้รับ ยับยั้งการรวมตัวของเกล็ดเลือด การต้านจุลินทรีย์ และการต้านปฏิกิริยาการอักเสบ โดยถือเป็นกลไกการรักษาสุขภาพอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการป้องกันโรค เช่น โรคมะเร็ง โรคหัวใจ และโรคอัลไซเมอร์ เป็นต้น

2.3 การผลิตใยอาหารผงจากวัสดุเศษเหลือผักผลไม้

ใยอาหารที่ผ่านกระบวนการผลิตมักจะอยู่ในรูปแบบผงเพื่อให้ง่ายต่อการใช้และสะดวกต่อการเก็บรักษา ซึ่งขั้นตอนหลักในการผลิตใยอาหารผงแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน (Larrauri, 1999;Oreopoulou & Tzia, 2007) ได้แก่ การบดลดขนาด (Milling) การล้างหรือการลวก (Washing or blanching) การทำแห้ง (Drying) และการบดแห้ง (Dry milling) แสดงดังภาพที่ 2-2

1. การบดลดขนาด (Milling) เป็นการเตรียมวัตถุดิบให้มีขนาดตามที่ต้องการ อาจใช้การบด หรือหั่นในขั้นตอนนี้ขนาดของวัตถุดิบมีผลต่อกระบวนการผลิตขั้นต่อไป หากขนาดวัตถุดิบมีขนาดเล็กเกินไป จะทำให้วัตถุดิบดูดน้ำ มากในขั้นตอนการล้าง ส่งผลต้องทำแห้งนานขึ้น และทำให้ได้ปริมาณผลผลิตต่ำและอาจทำให้สูญเสียองค์ประกอบของใยอาหารที่ละลายน้ำได้ หากขนาดของวัตถุดิบใหญ่เกินไปจะไม่สะดวกใน

การกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ต้องการในขั้นตอนของการล้างได้โดยทั่วไปแล้วขนาดของวัตถุดิบที่ใช้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบและกระบวนการผลิต ซึ่งจะมีขนาดประมาณ 0.6-2.0 เซนติเมตร



ภาพที่ 2-2 ขั้นตอนการผลิตใยอาหารผงจากวัสดุเศษเหลือ (ดัดแปลงจาก Larrauri, 1999)

2) การล้างหรือการลวก (Washing or blanching) เป็นการกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ต้องการ เช่น สารให้สี ไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรตเป็นต้น รวมไปถึงเชื้อจุลินทรีย์ออกจากวัตถุดิบ โดยขั้นตอนนี้มีผลต่อคุณลักษณะและคุณสมบัติของเส้นใยที่ได้ ได้แก่ ความสามารถในการอุ้มน้ำปริมาณเส้นใยที่ละลายน้ำได้ โดยทั่วไปอาจทำได้โดยใช้น้ำร้อน หรือการใช้สารเคมี

3) การทำแห้ง (Drying) ก่อนขั้นตอนการทำแห้งต้องมีการกำจัดน้ำออกบางส่วนก่อน เช่นการสะเด็ด การบีบหรือใช้กระบวนการอื่น ๆ เพื่อลดปริมาณน้ำก่อนทำแห้ง ซึ่งขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนหลัก และสูญเสียค่าใช้จ่ายมากที่สุดในกระบวนการผลิตทั้งหมด แต่การทำแห้งจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของเส้นใยอาหาร อีกทั้งยังช่วยลดต้นทุนค่าขนส่งและค่าบรรจุภัณฑ์ด้วย

4) การบดแห้ง (Dry milling) เป็นการลดขนาดของเส้นใยอาหาร เพื่อให้มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร โดยทั่วไปจะทำการบดให้มีขนาด 0.15-0.43 มิลลิเมตร

2.4 การเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้งในกระบวนการทำแห้งมักมีการเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้งเพื่อช่วยปรับปรุงคุณภาพของอาหารแห้ง วัตถุประสงค์สำคัญของการเตรียมขั้นต้นคือการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ตัวอย่างเช่น โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenoloxidase) เปอร์ออกซิเดส (Peroxidase) และฟีนอเลส (Phenolase) และยังช่วยยับยั้งปฏิกิริยาเคมีที่ไม่พึงประสงค์ซึ่งเป็นต้นเหตุของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารเทคนิคการเตรียมขั้นต้นที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมีหลายวิธี ซึ่งรวมถึง

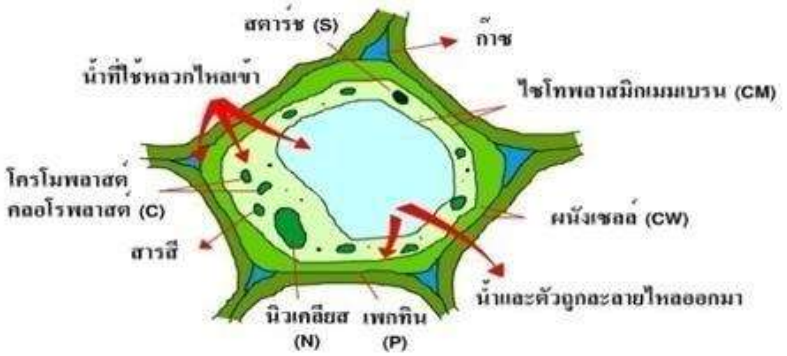
การลวก การใช้กรด และการแช่ในสารละลาย (Prakash,Jha,Datta, 2004; Hiranvarachat,Devahastin, & Chiewchan, 2011)

2.4.1 การลวก (วิไล รังสาดทอง, 2546) การลวกวัตถุดิบประเภทผักและผลไม้ก่อนการแปรรูป มีวัตถุประสงค์เพื่อทำลาย Activity ของเอนไซม์ในผักและผลไม้บางชนิดก่อนที่จะนำไปแปรรูปในขั้นตอนต่อไป การลวกจัดเป็นขั้นตอนหนึ่งที่ใช้ในการเตรียมวัตถุดิบ Fellows (2000) กล่าวว่าการลวกผักก่อนการทำแห้ง มีผลทำให้ลดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บผักแห้งได้ ทั้งนี้ผลจากการลวกผักช่วยลดการทำ งานของเอนไซม์ Polyphenoloxidase ในผักที่เป็นสาเหตุของการเกิดสีน้ำตาลในระหว่างการเก็บรักษาได้ ซึ่งปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการลวก (Blanching time) คือ 1) ชนิดของผักและผลไม้ 2) ขนาดของชิ้น 3) อุณหภูมิ และ 4) วิธีการให้ความร้อน โดย Giannakourou andTaoukis (2003) รายงานว่าความไวในการสูญเสียองค์ประกอบเนื่องจากการลวกผักขึ้นอยู่กับพื้นที่สัมผัสกันระหว่างใบผักกับน้ำที่ใช้ลวก โดยสรุปวัตถุประสงค์ของการลวกมีดังนี้คือ

1) ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ (Enzyme inactivation) มีเอนไซม์อีก 2 ชนิด ที่พบในผักหลายชนิดที่ทนต่อความร้อนได้ดี คือ เอนไซม์แคแทเลสและเพอร์ออกซิเดส ใช้เป็นตัวชี้บ่งประสิทธิภาพของการลวก โดยเฉพาะเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสมีความคงตัวมากกว่าเอนไซม์แคแทเลส หากตรวจวัดเอนไซม์ Activity ในผักที่ผ่านการลวกแล้วไม่พบ Activity ของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส แสดงว่าเอนไซม์อื่น ๆ ถูกทำลายหมดแล้ว Jha and Prasad (1996) รายงานว่าการลวกเป็นขั้นตอนในการเตรียมขั้นต้นผักที่ดีสำหรับการนำไปทำแห้ง การลวกจะช่วยชะลอหรือยับยั้งเอนไซม์ ที่สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ต้องการในรสชาติและเนื้อสัมผัสในระหว่างการเก็บและช่วยป้องกันการสูญเสียของวิตามิน และสีของผลิตภัณฑ์อีกด้วย

2) หน้าที่อื่น ๆ ผลของการลวกยังช่วยทำลายและลดจำนวนจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่บนผิวนอกของอาหาร ช่วยให้เก็บรักษาอาหารได้นานขึ้น ก่อนนำไปใช้แปรรูปในขั้นตอนต่อไป การลวกยังทำให้เนื้อเยื่อของผักนิ่มลง สามารถบรรจุลงในภาชนะบรรจุได้ง่าย และช่วยไล่อากาศออกจากช่องว่างระหว่างเซลล์ของเนื้อเยื่อ ซึ่งจะช่วยลดการเกิด Headspace vacuum ขึ้นภายในกระป๋องให้น้อยลงได้ และลดปริมาณออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุด้วย นอกจากนี้การลวกมีผลต่ออาหารในด้านต่าง ๆ โดยความร้อนจากการลวกมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสและคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร แต่ความร้อนที่ใช้ในการลวกจะต่ำกว่าการทำสเตอริไลเซชันจึงมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นไม่มากนัก วัตถุประสงค์หลักของการลวกเพื่อทำ ลายเอนไซม์ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ร่วมกัน ผลของการ

ลวกต่อเนื้อเยื่อพืช โดยมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น เช่น ผนังเซลล์เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย มีการเปลี่ยนแปลงที่เมมเบรนของไซโทพลาซึม สตาร์ชเกิดเจลาติไนเซชัน โครงสร้างโมเลกุลของเพกตินเปลี่ยนไป โปรตีนในนิวเคลียสและไซโทพลาซึมเสียสภาพธรรมชาติ คลอโรพลาสต์ และโครโมพลาสต์มีรูปร่างเปลี่ยนไป เป็นต้น ดังภาพที่ 1



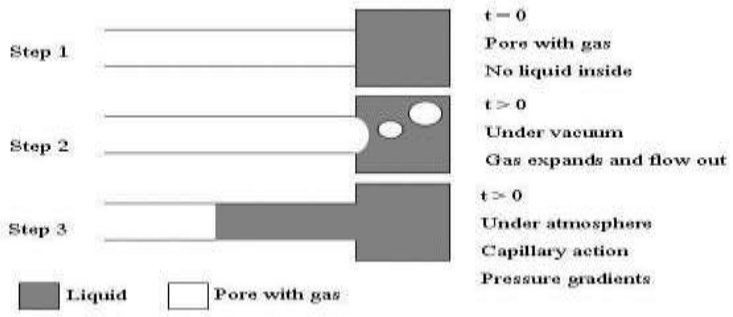
ภาพที่ 1 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเซลล์พืชระหว่างการลวก

(http://courseware.rmutl.ac.th/courses/49/unit802.htm#head1)

2.4.2 การแช่ในสารเคมีสำหรับในงานวิจัยนี้สนใจใช้ตัวถูกละลายในการเตรียมสารละลาย คือ โซเดียมคลอไรด์โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride) มีสูตรโมเลกุลคือ NaCl ในเกลือที่ไม่มีความชื้นอยู่เลยจะมีปริมาณโซเดียมคลอไรด์ 95.5 - 98.5% และมีสารอื่นเจือปนในปริมาณน้อย เช่น แมกนีเซียม (Mg) และซัลเฟต (SO4) เกลือโซเดียมคลอไรด์ มีบทบาทอย่างมากในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากราคาถูกและใช้ได้หลากหลายทั้งในการปรุงอาหารและถนอมอาหาร เช่น การหมักเกลือ (Salt curing) ช่วยลดค่า aw ของน้ำ (Water activity)ทำให้ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย (Microbial spoilage) และจุลินทรีย์ก่อโรค (Pathogen) ในอาหารที่มีปริมาณเกลือสูงเกลือมีสมบัติในการดูดความชื้น (Hygroscopic) การลดความชื้นจึงเป็นการลดค่าแอคติวิตี้ของน้ำในอาหาร เนื่องจากเกลือสามารถละลายได้ในน้ำและน้ำจะถูกแรงดึงตัวเกาะกันกับเกลือเกิดเป็นไฮเดรชันอิออนขึ้น สมบัติหรือความเป็นอิสระของน้ำจึงเปลี่ยนไป ในสารละลายเกลือจะมีการดึงน้ำ ออกจากเซลล์อันเนื่องจากเกิดแรงดันออสโมติกและเป็นสาเหตุให้เซลล์จุลินทรีย์เกิดการเสียน้ำอย่างแรง (Plasmolysis) และหยุดการเจริญเติบโต นอกจากนี้น้ำเกลือยังช่วยลดการแพร่หรือการแทรกซึมของก๊าซออกซิเจน ถ้าหากจำนวนก๊าซออกซิเจนลดลงจุลินทรีย์พวกที่เจริญแบบใช้อากาศ (Aerobic) ก็เจริญไม่ได้ และเกลือยังเป็นตัวทำละลายเอนไซม์บางชนิด เนื่องจากเกลือที่มีความเข้มข้นมากจะสามารถทำให้โปรตีนบางตัวเกิดการแข็งตัว (Denature) และเสียคุณสมบัติได้ Lu, Luo, Turner, and Feng (2007) กล่าวว่าโซเดียมคลอไรด์เป็นสาร Oxidizing agent มี

สมบัติในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสี น้ำตาลในการเติมเพื่อควบคุมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์การใช้โซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่ำ (0.1 g/L) เหมาะสมที่สุดในการยับยั้งปฏิกิริยาสีน้ำตาลในชิ้นแอปเปิ้ล Severini, Baiano, Pilli, Romaniello, and Derossi (2003) ศึกษามันสำปะหลังแผ่นบางโดยการลวกในสารละลาย NaCl หรือ CaCl2 ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ร่วมกับสารละลายกรดแลคติก พบว่าปริมาณ NaCl และ CaCl2 สามารถยับยั้งเอนไซม์ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเนื่องจากคลอไรด์ไอออนอาจเกิดปฏิกิริยาร่วมกับกรดแลคติก

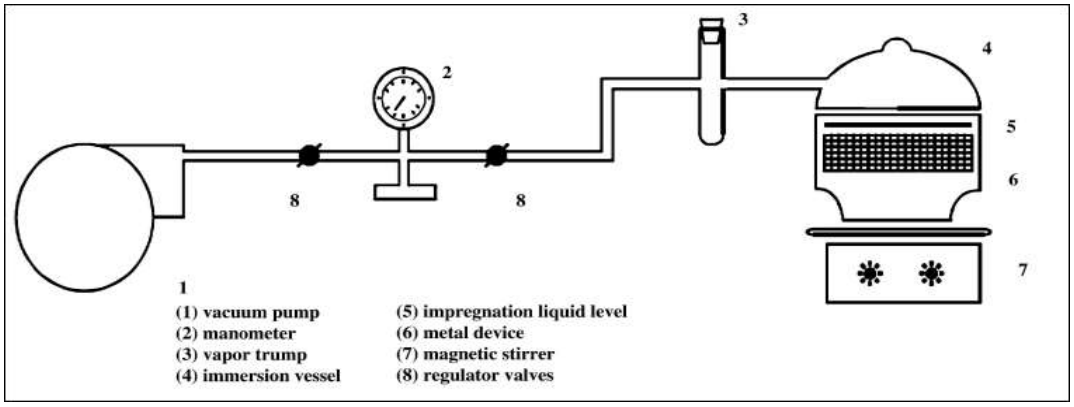
2.4.3 การแช่ในสภาวะสุญญากาศการแช่ในสภาวะสุญญากาศ เป็นการแช่ชิ้นอาหารหรือชิ้นผักผลไม้ในสารละลายในสภาวะสุญญากาศ ทา ให้เกิดการแพร่ของสารละลายเข้าไปในเนื้อเยื่อของผักผลไม้ (Fito et al.,2001)โดยเทคนิคนี้จะทา ให้อากาศและของเหลวตามธรรมชาติในช่องว่างระหว่างเซลล์ของเนื้อเยื่อของชิ้นอาหารหรือชิ้นผักผลไม้ถูกขับออกมาในระหว่างการดูดอากาศ และหลังจากนั้นแช่ต่อที่สภาวะบรรยากาศ สารละลายภายนอกจะแพร่ผ่านเข้าไปแทนที่อากาศที่ถูกขับออกจากช่องระหว่างเซลล์นั้น โดยใช้หลักการของแรงตึงผิวและการเปลี่ยนแปลงความดันบรรยากาศ ซึ่งเรียกกลไกนี้ว่า Hydrodynamic Mechanism (Betoret et al., 2003) โดยกลไก HDM แบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน ขั้นตอนที่ 1 เมื่อเริ่มแช่ชิ้นอาหารหรือชิ้นผักผลไม้ (t=0) ที่สภาวะบรรยากาศ สารละลายภายนอกยังไม่มีการเคลื่อนที่เข้ามาภายในช่องว่างระหว่างเซลล์ ขั้นตอนที่ 2 เมื่อแช่ชิ้นอาหารหรือชิ้นผักผลไม้ที่สภาวะสุญญากาศ (t>0) อากาศที่อยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์จะถูกดูดออกมาด้วย และขั้นตอนที่ 3 เมื่อหยุดการใช้สภาวะสุญญากาศและแช่ชิ้นอาหารหรือชิ้นผักผลไม้ต่อที่สภาวะบรรยากาศเป็นระยะเวลาหนึ่ง (t>0) สารละลายแพร่ผ่านเข้ามาในช่องว่างระหว่างเซลล์ โดยเข้ามาแทนที่อากาศที่ถูกดูดออกไปโดยการแพร่ผ่านรูขนาดเล็ก (Capillary Action) และเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงความดันบรรยากาศ (Pressure Gradients) (Fito,Andres, Pastor, & Chiralt, 1994)



ภาพที่2-4 ลักษณะการเคลื่อนที่ของสารละลายในช่องวางระหว่างเซลล์ตามกลไก่ HDM

(Fito, Andres, Chiralt, & Pardo, 1996)

ลักษณะการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ที่ใช้ในการแช่สภาวะสุญญากาศแสดงดังภาพที่2-5 ซึ่ง อธิบายได้ว่าเมื่อเปิดปั๊มสุญญากาศ ปั๊มจะดูดอากาศออกจากภาชนะซึ่งอยู่ในระบบปิดให้เป็นสภาวะ สุญญากาศในภาชนะที่มีการแช่ชิ้นผักผลไม้ในสารละลายในสภาวะดังกล่าวนี้อากาศในช่องว่าง เซลล์ของผักหรือผลไม้จะถูกขับออกมาด้วย และเมื่อปิดปั๊มหรือแช่ต่อที่สภาวะความดันบรรยากาศ สารละลายจะแพร่เข้าไปในเนื้อเยื่อของผักผลไม้ได้ซึ่งสามารถเกิดการถ่ายเทมวลสารได้อย่างรวดเร็ว (Fito et al., 1994)



ภาพที่ 2-5 ลักษณะการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ที่ใช้ในการแช่ในสภาวะสุญญากาศ (Fito et al., 1994)

สำหรับเทคนิคการแช่ในสภาวะสุญญากาศหากประยุกต์ใช้กับผักผลไม้มีข้อดีคือสามารถปรับปรุงคุณภาพของผักผลไม้ได้ กระบวนการไม่ซับซ้อน ใช้เครื่องมือที่ราคาไม่แพงสามารถกำจัดน้ำบางส่วนออกจากชิ้นอาหารโดยไม่ใช้ความร้อนในกระบวนการ สามารถทำให้โครงสร้างของอาหารมีความเป็นรูพรุนมาก

โดยไม่ใช้อุณหภูมิสูงในกระบวนการที่จะทำลายเนื้อเยื่อของผักผลไม้ นอกจากนี้สามารถรักษาสี กลิ่นรสและสารให้กลิ่นตามธรรมชาติของอาหาร (Escriche, Chiralt, Moreno, & Serra, 2000) นอกจากนี้เทคนิคการแช่ในสภาวะสุญญากาศ ช่วยป้องกันการเปลี่ยนสีของชิ้นผลไม้จากเอนไซม์และปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยมีส่วนช่วยในการกำจัดออกซิเจนจากรูพรุนในชิ้นผลไม้ (Alzamora et al., 2005; Fito et al., 1994)

2.5 การทำแห้ง

การทำแห้ง หมายถึง การลดปริมาณน้ำในอาหาร เพื่อลดค่า aw ลงมาให้อยู่ในระดับต่ำพอที่จะสามารถหยุดยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสียคุณภาพหรือเน่าเสียและทำให้ค่า aw อยู่ในระดับที่ปฏิกิริยาเคมีและการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสียคุณภาพนั้นอยู่ในระดับต่ำที่สุด ดังนั้นการทำแห้งจึงจัดเป็นการถนอมอาหาร เนื่องจากช่วยยืดอายุการเก็บรักษาอาหารให้เสื่อมเสียยากขึ้น สามารถเก็บได้นานขึ้นที่อุณหภูมิห้อง นอกจากนี้การทำแห้งยังทำให้น้ำหนักและปริมาตรของอาหารลดลง จึงช่วยลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งและการเก็บรักษาและเป็นการแปรรูปให้อยู่ในรูปที่สะดวกนำไปใช้ประโยชน์ และบริโภค หรือเพื่อพัฒนาให้เป็นรูปแบบใหม่ของผลิตภัณฑ์อาหารต่อผู้บริโภค ได้แก่ การผลิตอาหารแห้งรูปผง เช่น เครื่องดื่มผง ซุปผง เป็นต้น

2.5.1 กลไกการทำแห้งด้วยลมร้อน (วิไล รังสาดทอง, 2546) เมื่ออากาศหรือลมร้อนพัดผ่านหน้าอาหารที่เปียกความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของอาหารจะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการเกิดไอ ไอน้ำจะแพร่ผ่านฟิล์มอากาศและถูกพัดพาไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่ สภาวะดังกล่าวจะทำให้ความดันไอที่ผิวหน้าของอาหารต่ำ กว่าความดันไอด้านในอาหาร เป็นผลให้เกิดความแตกต่างของความดันไอน้ำอาหารชั้นด้านในจะมีความดัน ไอสูงและค่อยๆ ลดต่ำ ลงเมื่อชั้นอาหารเข้าใกล้อากาศแห้ง ความแตกต่างนี้ทำให้เกิดแรงดันเพื่อไล่น้ำออกจากอาหาร ตามทฤษฎีกระบวนการทำแห้งแบ่งได้เป็น 3 ช่วง คือ

1) ช่วงการปรับสภาวะเริ่มต้น (Initial Adjustment Period) เป็นช่วงที่ความชื้นที่มีอยู่ในอาหารปรับตัวเพื่อมีอุณหภูมิเท่ากับลมร้อน อัตราการทำแห้งจะต่ำและจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น จนกระทั่งถึงช่วงที่อัตราการอบแห้งคงที่

2) ช่วงอัตราการทำแห้งคงที่ (Constant Rate Period) เป็นช่วงที่น้ำในอาหารระเหยเป็นไออย่างต่อเนื่อง คล้ายกับการระเหยของน้ำโดยทั่วไป

3) ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling Rate Period) เป็นช่วงที่ความชื้นในอาหารเหลือน้อยจนแพร่ไปยังผิวหน้าอาหารอย่างไม่ต่อเนื่อง ทำให้ชั้นของเหลวที่ปกคลุมอยู่ไม่สม่ำเสมอ อัตราการทำแห้งจึงลดลง

2.5.2 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการทำแห้ง (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์,ม.ป.ป.)

1) ลักษณะธรรมชาติของอาหาร อาหารที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีความเป็นรูพรุน (Porosity) มาก จะมีอัตราการอบแห้งเร็ว เนื่องจากน้ำในอาหารสามารถเคลื่อนจากภายในออกมาภายนอก ได้ง่าย นอกจากนี้อาหารที่มีพื้นที่ผิวมากก็ทำให้มีอัตราการอบแห้งเกิดได้เร็วเช่นกันเนื่องจากพื้นที่ที่มากขึ้นการระเหยของน้ำในอาหารก็เพิ่มขึ้นมากนั่นเอง

2) ขนาด รูปร่าง ปริมาตร และพื้นที่ผิวของอาหาร ซึ่งเป็นสมบัติทางกายภาพของอาหารที่มีผลต่อการทำแห้ง อาหารที่มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรทำให้มีพื้นที่ในการระเหยน้ำมาก อัตราการทำแห้งก็จะเร็วขึ้นด้วย ดังนั้นอาหารที่มีความหนามาก อัตราการอบแห้งจะช้ากว่าอาหารที่มีความหนาน้อยกว่า เนื่องจากอัตราการอบแห้งเป็นสัดส่วนผกผันกับความหนาของอาหาร

3) ปริมาณของอาหารที่นำมาอบแห้ง อาหารที่นำมาอบแห้งในปริมาณมากจะมีอัตราการอบแห้งที่ช้า เนื่องจากอากาศร้อนไม่สามารถสัมผัสกับอาหารที่นำมาอบแห้งอย่างทั่วถึงจึงไม่สามารถถ่ายเทความร้อนให้กับอาหารได้ จึงทำให้อัตราการอบแห้งช้า

4) ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และความชื้นจำเพาะของอากาศเป็นสิ่งสำคัญมาก การระเหยน้ำออกจะเกิดได้ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับความชื้นของอากาศและความเร็วลม

5) ความดัน เกี่ยวเนื่องกับการระเหยน้ำ เนื่องจากที่ความดันต่ำๆ ลงมา น้ำก็จะเดือดได้ที่อุณหภูมิต่ำลง ดังนั้นการทำแห้งภายใต้ความดันจะทำให้อัตราการทำแห้งเร็วขึ้น

2.6 อาหารสำหรับผู้สูงอายุนิสัยการรับประทานอาหารของคนส่วนใหญ่มักเลือกรับประทานอาหารตามความชอบแต่สำหรับผู้สูงอายุนั้นมีทางเลือกน้อยลงด้วยสุขภาพร่างกายที่เปลี่ยนแปลง ทำให้การเคี้ยวและย่อยอาหารได้น้อยลง ส่งผลให้ร่างกายได้รับสารอาหารไม่เพียงพอ การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารผู้สูงอายุให้เหมาะสมจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจและช่วยตอบสนองผู้บริโภคได้เป็นอย่างดี สำนักนโยบายอุตสาหกรรม (2556) กล่าวว่า การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสำหรับผู้สูงอายุ อาจเรียกว่า Universal design food Universal design food คือนวัตกรรมอาหารที่สามารถตอบโจทย์ในเรื่องของการขบเคี้ยวของผู้สูงอายุแต่ละคน โดยแบ่งลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารให้มีระดับความนุ่มแตกต่างกันออกไปเนื้อสัมผัสของอาหารแบ่งได้เป็น 4 ระดับ ระดับแรกเคี้ยวง่าย ระดับสอง มีเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่มสามารถใช้เหงือกบดอาหารกลืนได้ ระดับสาม สามารถใช้ลิ้นบดอาหารได้ ระดับสี่ กลืนได้เลยโดยไม่ต้องเคี้ยวข้อดีของ Universal design food คือผู้สูงอายุสามารถเลือกระดับความนุ่มของเนื้อสัมผัสที่เหมาะสมกับตัวเองได้ โดยอาหารในระดับแรก คือ สามารถใช้ฟันเคี้ยวเพียงเล็กน้อย ระดับ 2 เหมาะกับผู้ที่ต้องการอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการครบถ้วนใน 1 หน่วยบริโภค ระดับ 3 เป็นอาหารที่ออกแบบมาให้ผู้มีโรคประจำ ตัว เช่น เบาหวาน ความ

ดันโลหิตสูง และระดับ 4 เหมาะกับกลุ่มที่ร่างกายมีปัญหาเรื่องควบคุมการกลืน รับประทานได้เฉพาะอาหารเหลวและเครื่องดื่มแนวโน้มตลาดอาหารแปรรูปสำหรับผู้สูงอายุในประเทศไทย มีข้อคำนึงถึงดังนี้

1) โรคเรื้อรังที่พบบ่อยในผู้สูงอายุได้แก่ โรคความดันโลหิตสูง รองลงมา คือโรคเบาหวาน โรคหัวใจ โรคอัมพาต/อัมพฤกษ์ และโรคหลอดเลือดสมองตีบ ดังนั้นอาหารที่พัฒนาควรช่วยป้องกันหรือลดอาการรุนแรงและไม่ก่อโรค

2) ในเรื่องของการบริโภคอาหารแปรรูปนั้น ประเภทอาหารที่ผู้สูงอายุในประเทศไทยให้ความนิยมมากที่สุดคือ เครื่องดื่มสำเร็จรูปต่าง ๆ ทั้งในรูปแบบน้ำและผง เช่น กาแฟ นม นมถั่วเหลือง น้ำผลไม้ เนื่องจากเป็นสินค้าที่มีจำหน่ายทั่วไปและราคาไม่สูง สะดวกในการรับประทาน

3) ข้อเสนอแนะที่ต้องปรับปรุงของการผลิตอาหารแปรรูปสาหรับผู้สูงอายุคือ

3.1) ดัดแปลงลักษณะอาหาร โดยทำอาหารให้อ่อน นุ่ม เคี้ยวได้ง่าย การหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ หรืออาจต้องบดให้ละเอียดถ้าจำเป็น เพื่อให้ผู้สูงอายุรับประทานได้สะดวก

3.2) ดัดแปลงด้านรสชาติ เนื่องจากผู้สูงอายุจำนวนไม่น้อยที่การรับรสเปลี่ยนแปลงไป ทำให้ความชอบรสอาหารเปลี่ยนไปด้วย ดังนั้นอาหารจึงจำเป็นต้องดัดแปลงรสชาติ และไม่ควรมีรสจัดหรือมีเครื่องเทศมาก เพื่อให้เหมาะสมและเป็นผลดีต่อสุขภาพ

3.3) ดัดแปลงด้านปริมาณ ผู้สูงอายุบางคนเจริญอาหารและมีโรคประจำตัว ซึ่งต้องควบคุมปริมาณอาหารที่รับประทาน เพื่อป้องกันมิให้น้ำหนักตัวเพิ่ม และในกรณีผู้สูงอายุที่ รับประทานอาหารได้น้อย การจัดอาหารในปริมาณไม่มากนัก หรือแบ่งเป็นหลาย ๆ มื้อ จะช่วยตอบสนองการบริโภคได้โดยในปี พ.ศ. 2558 สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้ผลิตภัณฑ์อาหารพร้อมบริโภคสำหรับผู้สูงอายุประกอบด้วย ผลิตภัณฑ์อาหารมื้อหลัก อาหารว่าง และเครื่องดื่ม ที่มีคุณค่าทางโภชนาการ เป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่สะดวกต่อการบริโภค เหมาะกับ 5 โรคที่พบในผู้สูงอายุ ได้แก่ ภาวะโรคเบาหวาน ภาวะโรคหัวใจและหลอดเลือด ภาวะโรคข้อ (เกาต์) ภาวะโรคกระดูกพรุน ภาวะโรคสมองและระบบประสาท ดังนี้

1) ผลิตภัณฑ์อาหารพร้อมบริโภคสำหรับผู้สูงอายุที่มีภาวะโรคเบาหวาน ทำการวิจัยและพัฒนาภายใต้หลักการผลิตอาหารพร้อมบริโภค ที่มีการควบคุมปริมาณพลังงานทั้งหมดให้ได้ไม่ เกิน 1,500 กิโลแคลอรี่ต่อวันลดปริมาณน้ำตาล และปริมาณโซเดียม

2) ผลิตภัณฑ์อาหารพร้อมบริโภคสำหรับผู้สูงอายุที่มีภาวะโรคหัวใจและหลอดเลือด ทำการวิจัยและพัฒนาภายใต้หลักความต้องการโซเดียมต่ำ จากค่า RDI :Thai Recommended Daily Intakes

(ปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคต่อวัน สำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปี ขึ้นไป โดยคิดจากความต้องการพลังงานวันละ 2,000 กิโลแคลอรี่) ปกติ

3) ผลิตภัณฑ์อาหารพร้อมบริโภคสำหรับผู้สูงอายุที่มีภาวะโรคข้อ (เกาต์) ทำการวิจัยและพัฒนาภายใต้หลักความต้องการปริมาณพิวรีนต่ำ

4) ผลิตภัณฑ์อาหารพร้อมบริโภคสำหรับผู้สูงอายุที่มีภาวะโรคกระดูกพรุน ทำการวิจัยและพัฒนาภายใต้หลักความต้องการ แคลเซียม เหล็ก และฟอสฟอรัสสูง

5) ผลิตภัณฑ์อาหารพร้อมบริโภคสำหรับผู้สูงอายุที่มีภาวะโรคสมองและระบบประสาททำการวิจัยและพัฒนาภายใต้หลักความต้องการสารต้านอนุมูลอิสระ

3.วิธีดำเนินการทดลอง

วัตถุดิบและสารเคมี

1) เปลือกเสาวรสพันธุ์สีม่วง รับจากบริษัท ดอยคำ ผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด ประเทศไทย

2) เกลือโซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride) ตราปรุงทิพย์ ประเทศไทย

3) คาราจีแนน (K-carragenan) Kelcogel ประเทศสหรัฐอเมริกา

4) ผงวุ้น (Agar) ตรานางเงือก ประเทศไทย

5) น้ำตาลทราย (Sugar) ตรามิตรผล ประเทศไทย

6) น้ำตาลไอโซมอลทูโลส (Isomaltulose) ตราผึ้ง ประเทศไทย

7) น้ำนมถั่วเหลือง 100% ตราโอฮาโย ประเทศไทย

8) น้ำเสาวรสเข้มข้น ตราดอยคำ ประเทศไทย

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1) ตู้อบลมร้อน Memmert รุ่น ULE 500 ประเทศเยอรมนี

2) ปั๊มสุญญากาศ Buchi รุ่น Vacuum Controller V-800 ประเทศเยอรมนี

3) เครื่องสลัดน้ำ Konion รุ่น XPA75-11P ประเทศจีน

4) เครื่องบดอาหารแห้ง โง้วฮวดหยู รุ่น XS-08B ประเทศไทย

5) เครื่องตัดแต่งผักผลไม้ Hallde รุ่น RG-850 ประเทศสวีเดน

6) อ่างน้ำแบบควบคุมอุณหภูมิ Heto รุ่น CB 60 VS ประเทศเดนมาร์ค

7) หม้อนึ่งความดัน Kokuson รุ่น 99 LL ประเทศจีน

8) เครื่องวัดค่าสี Hunter Lab Colorimeter รุ่น Miniscan XP Plus ประเทศสหรัฐอเมริกา

9) เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส Stable Micro Sysmtem รุ่น TA-XT2 ประเทศอังกฤษ

10) เครื่องวิเคราะห์ไขมัน Gerhardth รุ่น S306 AK ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

11) เครื่องวิเคราะห์เส้นใย Labconco รุ่น 3001 ประเทศสหรัฐอเมริกา

12) เครื่องวิเคราะห์โปรตีน Buchi รุ่น B-323 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

13) อุปกรณ์ในการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส เช่น ถ้วยชิม แก้วน้ำ ช้อน

14) อุปกรณ์เครื่องแก้ว เช่น กระบอกตวง บีกเกอร์ ขวดรูปชมพู่ ขวดปรับปริมาตร

15) อุปกรณ์เครื่องครัว เช่น กะละมัง ถาด ช้อน

16) บรรจุภัณฑ์ เช่น ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ถุงพลาสติก ถ้วยพลาสติก

วิธีดำเนินการทดลอง

2.1 การวิเคราะห์คุณภาพของเปลือกเสาวรสสดและผง

วัตถุดิบเปลือกเสาวรส ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นส่วนเหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูป น้ำเสาวรส รับเปลือกเสาวรสพันธุ์สีม่วง ที่ได้จากเสาวรสสุกอายุประมาณ 60-70 วัน คัดเลือกเอาเฉพาะเปลือกเสาวรสที่มีลักษณะสมบูรณ์ ไม่มีการเน่าเสีย หรือตำหนิ นำมาล้างผ่านน้ำสะอาดสะเด็ดให้แห้ง แล้วบรรจุในถุงพอลิเอทิลีน เก็บรักษาโดยแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียสจนกว่าจะนำมาใช้งาน นำเปลือกเสาวรสแช่แข็งมาทำละลายที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 คืน ก่อนนำไปใช้ (ดัดแปลงจาก ณัชชา บุญปลื้ม, 2550; กมลพรรณ อาสาสรรพกิจ,2555; López-Vargas, Fernández-López, Pérez-Álvarez, & Viuda-Martos, 2014)

ขั้นตอนนี้เป็นการวิเคราะห์คุณภาพของเปลือกเสาวรสสดและผงเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบและพัฒนากระบวนการผลิต โดยศึกษาถึงวิธีการเตรียมขั้นต้นวัตถุดิบและการทำแห้งเปลือกเสาวรสให้ได้เป็นผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระต่อไป

การเตรียมวัตถุดิบ

นำเปลือกเสาวรสมาตัดให้เป็นชิ้นขนาดประมาณ 4×4 เซนติเมตร แล้วสไลด์เป็นชิ้นด้วยเครื่องตัดแต่งผลไม้กำหนดใช้ใบมีดแบบตัดขนาด 0.2 เซนติเมตร ให้ได้เป็นชิ้นขนาดประมาณ 0.5×4×0.2 เซนติเมตร แสดงตัวอย่างดังภาพ

ภาพเปลือกเสาวรสหั่นเป็นชิ้นขนาดประมาณ 0.5×4×0.2 เซนติเมตร

การทำแห้งและบดเป็นผง

นำเปลือกเสาวรสที่เตรียมไว้ มาเกลี่ยลงบนถาดสำหรับการอบ แล้วอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 60±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 400 นาที จนมีปริมาณความชื้นประมาณ 7±1 กรัม/ 100กรัม นำเปลือกเสาวรสแห้งที่ได้มาบดให้เป็นผง โดยใช้เครื่องบดอาหารแห้ง ควบคุมสภาวะการบด ดังนี้ บดเปลือกเสาวรสแห้งครั้งละ 50 กรัม โดยใช้ความเร็วสูงและบดเป็นเวลา 90 วินาที โดยหยุดพักทุก 30 วินาที เพื่อเกลี่ยตัวอย่าง นำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช (ขนาดอนุภาค 0.149 มิลลิเมตร) บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ และปิดผนึกแบบสุญญากาศ เก็บรักษาโดยแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำไปวิเคราะห์ (Hernandez-Santos et al., 2015;Tanongkankit, 2011; Fuentes-Alventosa et al., 2009)

การวิเคราะห์คุณภาพเปลือกเสาวรสสดและผง

1) ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน กากใยเถ้าและคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000)

2) ปริมาณน้ำ ตาลทั้งหมดโดยวิธี Lane and Eynon volumetric method (AOAC,2000 Method 923.09)

3) ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (AOAC, 1995 Method 991.43 & AACC Method 32- 07.01)

4) ปริมาณแอนโทไซยานินโดยวิธี pH differential (ดัดแปลงจากวิธีของอรุษา เชาวนลิขิต และอรัญญา มิ่งเมือง, 2550

5) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ดัดแปลงจากวิธีของ Yu, Zhou, & Party, 2005)

6) สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ โดยการทดสอบประสิทธิภาพการจับกันของอนุมูลอิสระDPPH อิสระ (ดัดแปลงจากวิธีของ Turkmen, Sari, & Velioglu, 2005)

7) ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) และรายงานผลเป็นค่า L* a* b* Hue angle Chroma และ ΔE

2.2 การศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นต่อคุณภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส

โดยทั่วไปการผลิตใยอาหารผงเริ่มจากการนำวัตถุดิบมาทำความสะอาดและลดขนาดให้เล็กลงโดยการหั่นหรือบดเพื่อสะดวกในการอบแห้งโดยมักมีการเตรียมขั้นต้นวัตถุดิบก่อนการนำไปอบแห้งเพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบ (Larrauri, 1999; Nilnakara, 2006) อย่างไรก็ตามในขั้นตอน

ของการเตรียมขั้นต้นนั้นอาจมีผลต่อการสูญเสียปริมาณใยอาหารผง การคงอยู่ของสารพฤกษเคมีที่สำคัญ รวมถึงสมบัติเชิงหน้าที่ (Nilnakara, 2006; Wachirasiri et al., 2009;Tanongkankit, 2011)

ในขั้นตอนนี้เป็นการพัฒนากระบวนการเตรียมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส ให้มีการสูญเสียองค์ประกอบของใยอาหาร สารพฤกษเคมีที่สำคัญในเปลือกเสาวรสพันธุ์สีม่วงได้แก่ กลุ่มของสารประกอบโพลีฟีนอล แอนไทไซยานินและฟลาโวนอยด์ (Zibadiet al., 2007; Farid et al., 2010; Zeraik et al., 2011) ให้น้อยที่สุด เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อสุขภาพรวมถึงปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

การศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นโดยการใช้ความร้อนต่อคุณภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส

แปรปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 วิธีการให้ความร้อน 3 วิธี ดังนี้ การลวกด้วยน้ำ (Water blanching) การลวกด้วยไอน้ำ (Steam blanching) และการลวกด้วยไอน้ำ ภายใต้ความดัน (Autoclave blanching) และปัจจัยที่ 2 เวลาการให้ความร้อน 2 ระดับ ดังนี้ 3 และ 6 นาที จัดสิ่งทดลองแบบ Factorial 3×2 ได้เป็น 6 สิ่งทดลองรายละเอียดสิ่งทดลองแสดงดังตาราง

ตารางที่ 3-1 สิ่งทดลองเพื่อการศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นเปลือกเสาวรสโดยการใช้ความร้อน

สิ่งทดลอง	วิธีการให้ความร้อน	เวลาการให้ความร้อน (นาที)
1	Water blanching (90±2°C)	3
2		6
3	Steam blanching (100±2°C)	3
4		6
5	Autoclave blanching (121°C, 15psi)	3
6		6

การเตรียมขั้นต้นโดยการใช้ความร้อน

ดำเนินการเตรียมวัตถุดิบ โดยนำเปลือกเสาวรสมาตัดให้เป็นชิ้น แล้วนำมาเตรียมขั้นต้นโดยการใช้ความร้อนตามวิธีการให้ความร้อนที่กำหนด 3 วิธี มีรายละเอียดการ ดำเนินการดังนี้

1) การลวกด้วยน้ำ (Water blanching)

ลวกชิ้นเปลือกเสาวรสในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90±2 องศาเซลเซียส ตามเวลาการให้ความร้อนที่กำหนด โดยกำหนดอัตราส่วนเปลือกเสาวรสต่อน้ำเท่ากับ 1: 6 (น้ำหนักต่อปริมาตร) จากนั้นนำเปลือกเสาวรสที่ผ่านการลวกด้วยน้ำแล้วมาแช่ในน้ำเย็นอุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ทันที เป็นเวลา 2 นาที วางบนตะแกรงให้

สะเด็ดน้ำและนำมาปั่นเหวี่ยงแยกน้ำออกโดยใช้เครื่องสลัดน้ำ โดยปั่นเหวี่ยงที่ 400 รอบต่อนาที นาน 5 นาที ก่อนนำไปทำแห้งต่อไป (ดัดแปลงจาก Chantaro et al.,2008)

2) การลวกด้วยไอน้ำ (Steam blanching) ลวกชิ้นเปลือกเสาวรสด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 100±2 องศาเซลเซียส ตามเวลาการให้ความร้อนที่กำหนด ควบคุมความร้อนโดยใช้อ่างควบคุมอุณหภูมิ การลวกทำได้โดยนำชิ้นเปลือกเสาวรส ใส่ในถาดสแตนเลสที่มีลักษณะเป็นรู แล้วนำมาวางลงบนตะแกรงที่อยู่ระดับสูงกว่าปริมาณน้ำจากนั้นนำเปลือกเสาวรสที่ผ่านการลวกด้วยไอน้ำ แล้วมาแช่ในน้ำเย็นอุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ทันที เป็นเวลา 2 นาที วางบนตะแกรงให้สะเด็ดน้ำและนำมาปั่นเหวี่ยงแยกน้ำออกโดยใช้เครื่อง สลัดน้ำโดยปั่นเหวี่ยงที่ 400 รอบต่อนาที นาน 5 นาที ก่อนนำไปทำแห้งต่อไป (ดัดแปลงจาก Tanongkankit, 2011)

3) การลวกด้วยไอน้ำภายใต้ความดัน (Autoclave blanching) ลวกชิ้นเปลือกเสาวรสด้วยไอน้ำภายใต้ความดันที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 psi (1.03 bar) ตามเวลาการให้ความร้อนที่กำหนด โดยเริ่มจับเวลาการลวกเมื่ออุณหภูมิหม้อนึ่งความดัน ถึง 121 องศาเซลเซียส การลวกทำได้โดยนำชิ้นเปลือกเสาวรส ใส่ในตะกร้าสแตนเลสและวางในหม้อนึ่งความดัน จากนั้นนำเปลือกเสาวรสที่ผ่านการลวกด้วยไอน้ำ ภายใต้ความดันแล้วมาแช่ในน้ำเย็นอุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ทันทีเป็นเวลา 2 นาที วางบนตะแกรงให้สะเด็ดน้ำ และนำมาปั่นเหวี่ยงแยกน้ำออกโดยใช้เครื่องสลัดน้ำโดยปั่นเหวี่ยงที่ 400 รอบต่อนาที นาน 5 นาที ก่อนนำไปทำแห้งต่อไป (ดัดแปลงจาก Hernandez-Santos et al., 2015)

ทำแห้งและบดเป็นผง

นำเปลือกเสาวรสที่ผ่านเตรียมขั้นต้น มาเกลี่ยลงบนถาดสำหรับการอบ แล้วอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 60±2 องศาเซลเซียส จนมีปริมาณความชื้นประมาณ 7±1 กรัม/ 100 กรัม นำเปลือกเสาวรสแห้งที่ได้มาบดให้เป็นผง โดยใช้เครื่องบดอาหารแห้ง ควบคุมสภาวะการบดดังนี้ บดใยอาหารจากเปลือกเสาวรสแห้งครั้งละ 50 กรัม โดยใช้ความเร็วสูงและบดเป็นเวลา 90 วินาที โดยหยุดพักทุก 30 วินาที เพื่อเกลี่ยตัวอย่าง นำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช (ขนาดอนุภาค 0.149 มิลลิเมตร) บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ และปิดผนึกแบบสุญญากาศ เก็บรักษาโดยแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำไปวิเคราะห์ (Hernandez-Santos et al., 2015;Tanongkankit, 2011; Fuentes-Alventosa et al., 2009)

การศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์
ต่อคุณภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส

ดำเนินการเตรียมวัตถุดิบ และเตรียมขั้นต้นตามวิธีที่เลือกได้จากข้อ 3.2.1 ซึ่งเมื่อดำเนินการเสร็จในขั้นตอนการปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกน้ำออกแล้ว นำเปลือกเสาวรสมาเตรียมขั้นต้นต่อโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 3% แปรปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ปัจจัยที่ 1 เวลาการแช่ 2 ระดับ ดังนี้ 10 และ 30 นาที ปัจจัยที่ 2 การใช้สภาวะสุญญากาศ 2 ระดับ ดังนี้ ใช้ และ ไม่ใช้ จัดสิ่งทดลองแบบ Factorial 2×2 ได้เป็น 4 สิ่งทดลอง รายละเอียดสิ่งทดลอง แสดงดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 สิ่งทดลองเพื่อการศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นเปลือกเสาวรสโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์

สิ่งทดลอง	เวลาการแช่(นาที)	การใช้สภาวะสุญญากาศ
1	10	ใช้
2		ไม่ใช้
3	30	ใช้
4		ไม่ใช้

การเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ดำเนินการเตรียมวัตถุดิบ และเตรียมขั้นต้นตามวิธีที่เลือกได้จากข้อ 3.2.1 ซึ่งเมื่อดำเนินการเสร็จในขั้นตอนการปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกน้ำออกแล้ว นำเปลือกเสาวรสมาเตรียมขั้นต้นต่อโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 3% ตามเวลาการแช่และตามสภาวะที่กำหนด โดยกำหนดอัตราส่วนเปลือกเสาวรสต่อสารละลายโซเดียมคลอไรด์ เท่ากับ 1: 4 (น้ำหนักต่อปริมาตร) (ดัดแปลงจาก ปรอยฝน เลิศวนวัฒนา, นภาพร เชี่ยวชาญ และภาวดี เมธะคานนท์,2551)สำหรับการแช่ที่สภาวะสุญญากาศ ดำเนินการดังนี้ บรรจุเปลือกเสาวรสในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในขวดรูปชมพู่ขนาด 1,000 มิลลิลิตร ในการแช่แต่ละครั้งกำหนดใช้เปลือกเสาวรสประมาณ 100 กรัม ปิดจุกยางให้แน่นให้เป็นระบบปิด และต่อสายยางเข้ากับปั๊มสุญญากาศกำหนดใช้ความดันที่ 50 มิลลิบาร์ (0.73 psi) (ดัดแปลงจากวิธีของ สุภาพรรณ คงสมเพ็ชร และวิชมณี ยืนยงพุทธกาล , 2557) เมื่อครบกำหนดเวลาการแช่ วางบนตะแกรงให้สะเด็ดน้ำและนำมาปั่นเหวี่ยงแยกน้ำออกโดยใช้เครื่องสลัดน้ำ โดยปั่นเหวี่ยงที่ 400 รอบต่อนาที นาน 5 นาที ก่อนนำไปทำแห้งต่อไป (ดัดแปลงจาก Hernandez-Santos et al., 2015) การทำแห้งและบดเป็นผงนำเปลือกเสาวรสที่ผ่านเตรียมขั้นต้น มาเกลี่ยลงบนถาดสำหรับการอบ แล้วอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส จนมีปริมาณ

ความชื้นประมาณ 7±1 กรัม/ 100 กรัม นำเปลือกเสาวรสแห้งที่ได้มาบดให้เป็นผง โดยใช้เครื่องบดอาหารแห้ง ควบคุมสภาวะการบดดังนี้ บดใยอาหารจากเปลือกเสาวรสแห้งครั้งละ 50 กรัม โดยใช้ความเร็วสูงและบดเป็นเวลา 90 วินาที โดยหยุดพักทุก 30 วินาที เพื่อเกลี่ยตัวอย่าง นำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช (ขนาดอนุภาค 0.149 มิลลิเมตร) บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ และปิดผนึกแบบสุญญากาศ เก็บรักษาโดยแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนาไปวิเคราะห์ (Hernandez-Santos et al., 2015;Tanongkankit, 2011; Fuentes-Alventosa et al., 2009)

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของคุณภาพที่วัดได้โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรม SPSS for Windows Version 23.0

เกณฑ์ในการเลือก

พิจารณาเลือกการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่สามารถกำจัดความฝาดขม ทำให้ได้ผงใยอาหารที่มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดมากที่สุด มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูง และสามารถกำจัดกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ได้ รวมถึงพิจารณาเปรียบเทียบกับคุณภาพของผงใยอาหารที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์

3.3 การศึกษาหาสภาวะในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่เหมาะสมของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสการทำแห้งเป็นขั้นตอนของการกำจัดน้ำออก ทั้งยังช่วยยืดอายุการเก็บ และสะดวกกับการนำไปใช้ แต่อย่างไรก็ตามการทำแห้งด้วยสภาวะที่แตกต่างกัน มีผลต่อคุณภาพของใยอาหารผงและการคงอยู่ของสารพฤกษเคมีที่สำคัญด้วย (Larrauri, 1999; Garau et al., 2007; Tanongkankit,2011) ในขั้นตอนนี้จึงเป็นการศึกษาผลของปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนเพื่อหาสภาวการณ์ทำแห้งที่เหมาะสมของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสในขั้นตอนนี้มีปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 อุณหภูมิการทำแห้ง 50-70 องศาเซลเซียส และปัจจัยที่ 2 เวลาการทำแห้ง 300-420 นาที จัดสิ่งทดลองแบบ Central CompositeDesign (CCD) แบบหุ่นกำลังสองมาตรฐาน ศึกษาปัจจัยละ 5 ระดับ (ค่ารหัส -1.414, -1, 0, 1, 1.414) โดยมีการทำซ้ำ ที่จุดกึ่งกลาง (ค่ารหัส 0) 3 ซ้ำทำให้สามารถจัดสิ่งทดลองได้ทั้งหมด 11 สิ่งทดลอง แสดงค่ารหัสและค่าจริงดังตารางที่ 3-3

การทำแห้งและบดเป็นผง

เตรียมขั้นต้นเปลือกเสาวรสตามวิธีที่เลือกได้จากข้อ 3.2 นำมาเกลี่ยลงบนถาดสำหรับการอบ แล้วอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนตามสภาวะที่กำหนด นำเปลือกเสาวรสแห้งที่ได้มาบดให้เป็นผงโดยใช้เครื่องบดอาหารแห้ง ควบคุมสภาวะการบดดังนี้ บดใยอาหารจากเปลือกเสาวรสแห้งครั้งละ 50 กรัม โดยใช้ความเร็วสูงและบดเป็นเวลา 90 วินาที โดยหยุดพักทุก 30 วินาที เพื่อเกลี่ยตัวอย่างนำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช (ขนาดอนุภาค 0.149 มิลลิเมตร) บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ และปิดผนึกแบบสุญญากาศ เก็บรักษาโดยแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำไปวิเคราะห์ (Hernandez-Santos et al., 2015; Tanongkankit, 2011; Fuentes-Alventosa et al.,2009)

ตารางที่ 3-3 สิ่งทดลองเพื่อการศึกษาหาสภาวะในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่เหมาะสมจากการจัดสิ่งทดลองแบบ CCD แบบหุ่นกำลังสองมาตรฐาน

สิ่งทดลอง	ค่ารหัส		ค่าจริง	
	อุณหภูมิการทำแห้ง	เวลาการทำแห้ง	อุณหภูมิการทำแห้ง (องศาเซลเซียส)	เวลาการทำแห้ง (นาที)
1	-1	-1	53	320
2	-1	+1	53	400
3	+1	-1	67	320
4	+1	+1	67	400
5	-1.414	0	50	360
6	+1.414	0	70	360
7	0	-1.414	60	300

ตารางที่ 3-3 สิ่งทดลองเพื่อการศึกษาหาสภาวะในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่เหมาะสมจากการจัดสิ่งทดลองแบบ CCD แบบหุ่นกำลังสองมาตรฐาน(ต่อ)

สิ่งทดลอง	ค่ารหัส		ค่าจริง	
	อุณหภูมิการทำแห้ง	เวลาการทำแห้ง	อุณหภูมิการทำแห้ง (องศาเซลเซียส)	เวลาการทำแห้ง (นาที)
8	0	+1.414	60	420
9	0	0	60	360
10	0	0	60	360
11	0	0	60	360

การวิเคราะห์ทางสถิติ

1) การวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุ Multiple(regressions) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ ระหว่างตัวแปรตามที่ วิเคราะห์ (Y) และตัวแปรที่ศึกษา (X) (โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$Y_{1\text{-}4} = f(X_1, X_2)$$

เมื่อ $Y_{1\text{-}4}$ คือตัวแปรตามที่วิเคราะห์ได้แก่

Y_1 คือปริมาณความชื้น

Y_2 คือปริมาณแอนโทไซยานิน

Y_3 คือปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทังหมด

Y_4 คือสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ

และ $X_{1\text{-}2}$ คือตัวแปรต้นที่ศึกษา ได้แก่

X_1 คืออุณหภูมิการทำแห้ง

X_2 คือเวลาการทำแห้ง

วิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุ โดยใช้โปรแกรม SPSS for Windows Version 23.0 พิจารณาความน่าเชื่อถือของสมการจาก R2 (Coefficient of Determination) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ถ้ามีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่า สมการมีความเหมาะสม ค่า Model Significance ซึ่งบอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Y และค่า X ถ้ามีค่าต่ำกว่า 0.05 แสดงถึงค่า Y และX มีความสัมพันธ์กันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (Hu, 1999)

2) การทวนสอบความแม่นยำของสมการที่ทำนายได้ โดยดำเนินการทดลองซ้ำ เพื่อให้ได้ค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Yex) และแทนค่าตัวแปรที่ศึกษา (X1-2) ในสมการที่วิเคราะห์

ได้ และมีความน่าเชื่อถือ เพื่อให้ได้ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Ypred) คำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ซึ่งบ่งบอกถึงความคลาดเคลื่อนของการทำนายจากการใช้สมการ ถ้ามีค่าต่ำกว่า 20% แสดงว่า ค่าที่ได้จากการทำนายมีความคลาดเคลื่อนจากค่าจริงน้อย (Julian, 2004) คำนวณค่า RMS ได้จากสูตร

$$RMS = 100\sqrt{\sum \frac{\left[\frac{(Yex-Ypred)}{Ypred}\right]^2}{N}}$$

เมื่อ Yex คือ ค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง

Ypred คือ ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย

N คือ จำนวนข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

3) นำสมการที่น่าเชื่อถือและผ่านการทวนสอบมาสร้างกราฟพื้นผิวการตอบสนอง (Response Surface Plot) ด้วยโปรแกรมสาเร็จรูป Statistica Version 7.0 (Trial version) เพื่อพิจารณาแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Y) และตัวแปรที่ศึกษา (X) เลือกสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนโดยการใช้เทคนิคการซ้อนทับกราฟ (Super imposed technique)

4) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของคุณภาพที่วัดได้ โดยวิธี Duncan’s New Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรม SPSS for Windows Version 23.0

เกณฑ์ในการเลือก

เนื่องจากขั้นตอนนี้เป็นการปรับปรุงคุณภาพของผงใยอาหาร ดังนั้นคุณภาพของผงใยอาหารที่ได้ด้านปริมาณความชื้น ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระต้องไม่ต่ำ กว่าคุณภาพของผงใยอาหารที่ได้จากการใช้สภาวะการทำแห้งตามวิธีการผลิตเดิม โดยพิจารณาเลือกสภาวะการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่เหมาะสมที่ทำให้มีปริมาณความชื้นต่ำ กว่า 7±1 กรัม/100 กรัม มีปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่า Control คือ ผงใยอาหารที่ได้จากการทำแห้งอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส 360 นาที (สภาวะการทำแห้งเดิม)

3.4 การวิเคราะห์คุณภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับเปลือกเสาวรสผงในขั้นตอนนี้เป็นการเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมี กายภาพ และสมบัติเชิงหน้าที่ของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส ที่ผลิตตามวิธีที่เลือกได้จากข้อ 3.3 กับเปลือกเสาวรสผงที่เตรียมตามวิธีที่ระบุไว้ในข้อ 3.1

3.5 การศึกษาการใช้ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสเป็นส่วนผสมของอาหารจำลองสำหรับผู้สูงอายุ

ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ได้จาก ข้อ 3.3 มาใช้ประโยชน์เป็นส่วนผสมของอาหารเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุโดยการเสริมผงใยอาหารลงไปในอาหารจำลองประเภทของเหลว (Liquid model food) ได้แก่ น้ำเสาวรสพร้อมดื่ม และอาหารจำลองประเภทเจล (Gel model food) ได้แก่ เต้าหู้เย็นซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผู้สูงอายุสามารถรับประทานได้ เพื่อตอบสนองความต้องการด้านการเคี้ยว และการกลืน (สำนักนโยบายอุตสาหกรรม, 2556) แต่เนื่องจากปริมาณผงใยอาหารที่เติมในผลิตภัณฑ์อาจมีผลต่อคุณภาพสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ จึงควรมีการศึกษาผลของปริมาณการเติมผงใยอาหาร และปัจจัยการผลิตที่เกี่ยวข้องต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เพื่อเป็นข้อมูลในการนำไปพัฒนาสูตรอาหารสำหรับผู้สูงอายุต่อไป

3.5.1 การศึกษาผลของปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและอุณหภูมิในการเตรียมต่อคุณภาพของน้ำเสาวรสพร้อมดื่ม

การเติมผงใยอาหารที่ผ่านการผลิตด้วยวิธีที่เหมาะสม ลงในผลิตภัณฑ์อาหารประเภทของเหลว เช่น น้ำผลไม้ สามารถปรับปรุงเนื้อสัมผัสและสมบัติทางกายภาพของอาหารประเภทของเหลวได้ โดยใยอาหารสามารถเพิ่มความคงตัวและความหนืดของน้ำผลไม้ โดยทั่วไปแล้วพบว่ามักมีการเติมปริมาณผงใยอาหารในน้ำผลไม้อยู่ในช่วง 1-5% (ปรอยฝน เลิศวนวัฒนา และคณะ, 2551; Sunprasert, 2010) ทั้งนี้คุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายของน้ำผลไม้ยังขึ้นกับขั้นตอนการผสม การผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการให้ความร้อน ซึ่งมีผลกระทบต่อสมบัติเกี่ยวกับน้ำ (Hydration) ของใยอาหารและสมบัติการไหล (Grigelmo-Miguel, Gorinstein, & Martin-Belloso,1999) การใช้อุณหภูมิการเตรียมที่สูงเกินไปนอกจากมีผลต่อสมบัติ Hydration ของใยอาหารแล้วยังทำให้มีการสูญเสียสารสำคัญที่สามารถสลายไปกับความร้อนได้ เพื่อรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ จึงควรเตรียมโดยใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 65°C เพื่อหลีกเลี่ยงการเปลี่ยนแปลงสมบัติ Hydration และสารพฤกษเคมีที่สำคัญในผงใยอาหาร (Martínez et al., 2012) ดังนั้นการศึกษาปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและอุณหภูมิในการเตรียมน้ำเสาวรสพร้อมดื่มจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องพิจารณาในขั้นตอนนี้แปรปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 ปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่เติมในน้ำเสาวรสพร้อมดื่ม 5 ระดับ ได้แก่ 1, 2, 3, 4 และ5% และปัจจัยที่ 2 อุณหภูมิในการเตรียม ได้แก่ อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) และ 60±1 องศาเซลเซียส จัดสิ่งทดลองแบบ Factorial 5×2 ได้เป็น 10 สิ่งทดลอง รายละเอียดสิ่งทดลองแสดงดังตารางที่ 3-4

ส่วนผสมสูตรพื้นฐานของน้ำเสาวรสพร้อมดื่มประกอบด้วย น้ำเสาวรสเข้มข้น 25% และผงใยอาหารตามปริมาณที่กำหนด แล้วปรับส่วนผสมให้เป็น 100% ด้วยน้ำสำหรับวิธีการผลิตในกรณีใช้อุณหภูมิในการละลายที่อุณหภูมิห้อง ดำเนินการดังนี้ ผสมผงใยอาหารตามปริมาณที่กำหนดในน้ำกวนผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 5 นาที แล้วจึงเติมน้ำเสาวรสเข้มข้นกวนผสมให้เข้ากันอีกครั้งเป็นเวลา 5 นาที โดยในการกวนผสมกำหนดใช้เครื่องกวนสารละลายด้วยแท่งแม่เหล็ก กำหนดให้กวนสารละลายครั้งละ 250 มิลลิลิตร ที่ความเร็วรอบ 150 รอบ (Sunprasert, 2010) ส่วนกรณีใช้อุณหภูมิในการเตรียม 60±1 องศาเซลเซียส ดำเนินการเหมือนกรณีเตรียมที่อุณหภูมิห้อง แต่ในขั้นตอนการผสมผงใยอาหารในน้ำกำหนดใช้น้ำที่มีอุณหภูมิ 60±1 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 3-4 สิ่งทดลองเพื่อการศึกษาผลของปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและอุณหภูมิการเตรียมต่อคุณภาพของน้ำเสาวรสพร้อมดื่ม

สิ่งทดลอง	ปริมาณผงใยอาหาร(%)	อุณหภูมิการเตรียม(องศาเซลเซียส)
1	1	อุณหภูมิห้อง
2	2	(28 ± 2)
3	3	
4	4	
5	5	
6	1	60 ± 1
7	2	
8	3	
9	4	
10	5	

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD ยกเว้นการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัส วางแผนการทดลองแบบ Factorial in RCBD และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05โดยใช้โปรแกรม SPSS for Windows Version 23.0

เกณฑ์ในการพิจารณา

พิจารณาเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสม ที่ทำให้ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด

3.5.2 การศึกษาผลของปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ต่อคุณภาพของเต้าหู้เย็น

การเติมผงใยอาหารที่ผ่านการผลิตด้วยวิธีที่เหมาะสม ลงในผลิตภัณฑ์อาหารประเภทเจลพบว่าสามารถเพิ่มปริมาณใยอาหารให้กับอาหารเจล นอกจากนี้ยังมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์สุดท้าย (ธีรนุช ฉายศิริโชติ และสุวรรณา พิชัยยงค์วงศ์ดี, 2558) ซึ่งลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารเจลมีความสำคัญกับความยากง่ายในการการเคี้ยวและการกลืนของผู้สูงอายุที่จะต้องคำนึงถึง (Hayakawa et al.,2014) โดยอาหารเจลต้นแบบที่ใช้ในขั้นตอนนี้ คือ เต้าหู้นมสด ส่วนใหญ่การผลิตเต้าหู้นมสดมักมีการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ประเภทที่เป็นสารที่ทำให้เกิดเจล คือ ผงวุ้น (พรดารา เขตต์ทองคำ และธีรนุช ฉายศิริโชติ,2554) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อใช้ผงวุ้นร่วมกับปริมาณผงใยอาหารในปริมาณที่มากขึ้นมีผลทำให้เนื้อสัมผัสแข็ง เปราะและแตกง่าย ทำให้เติมผงใยอาหารในผลิตภัณฑ์ได้น้อย ดังนั้นการศึกษาสารไฮโดรคอยลอยด์ชนิดอื่นอาจช่วยในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้นได้ (Norziah, Foo, & Karim, 2006) โดยสารไฮโดรคอลลอยด์ที่น่าสนใจอีกชนิดหนึ่ง คือ แคปป้า-คาราจีแนน (K-carragenan) ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดเจลที่ให้เจลลักษณะที่นุ่มและยืดหยุ่น (Thomas, 1997; สุทธิวัฒน์ แซ่ฮ้อ, ณัฐพัฒน์ วัฒนกฤษฎา, ผาณิต ไทยยันโต และเบญจวรรณ ธรรมธนารักษ์, 2554) มีรายงานว่าอาหารเจลที่เตรียมจากแคปป้า-คาราจีแนน ทำให้เกิดลักษณะเจลที่เอื้อต่อการเคี้ยวและกลืน (สุทธิวัฒน์ แซ่ฮ้อ และคณะ, 2554) โดยจากการทดลองเบื้องต้นในการผลิตเต้าหู้เย็นเป็นสูตรพื้นฐาน พบว่า ปริมาณที่เหมาะสมในการใช้แคปป้า- คาราจีแนน คือ 1.0% ในขณะที่ปริมาณที่เหมาะสมในการใช้วุ้น คือ 0.5% ดังนั้นการศึกษาปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ต่อคุณภาพของเต้าหู้เย็นจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องพิจารณาในขั้นตอนนี้แปรปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 ปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่เติมในสูตรเต้าหู้เย็น 5 ระดับ ได้แก่ 2, 4, 6, 8 และ 10% และ

ปัจจัยที่ 2 การใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ 2 ชนิด ดังนี้ แคปป้า-คาราจีแนน (K-carragenan) 1.0% และ วุ้น (Agar) 0.5% จัดสิ่งทดลองแบบ Factorial 5×2 ได้เป็น 10 สิ่งทดลอง รายละเอียดสิ่งทดลอง แสดงดังตารางที่ 3-5 โดยสูตรพื้นฐานและวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์เต้าหู้เย็น ดัดแปลงจากสูตรเต้าหู้นมสด (พรดารา เขตต์ทองคา และธีรนุช ฉายศิริโชติ,2554) และสูตรอาหารเจล (สุทธิวัฒน์ แซ่ฮ้อ และคณะ, 2554) ส่วนผสมสูตรของเต้าหู้เย็นที่ใช้แสดงในตารางที่ 3-6 และ 3-7

สำหรับวิธีการผลิตดำเนินการดังนี้ นำผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมาละลายน้ำ และตั้งทิ้งไว้ 20 นาที จากนั้นนำส่วนผสมคาราจีแนนหรือวุ้น น้ำตาลทราย น้ำตาลไอโซมอลทูโลส ผสมกับน้ำส่วนที่เหลือ และเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ละลายไว้ นำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที และเติมนมถั่วเหลืองคนให้เข้ากัน เป็นเวลา 5 นาที และบรรจุในถ้วยพลาสติกทรงกระบอกขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เซนติเมตร และสูง 2.5 เซนติเมตร ตั้งทิ้งไว้ให้เกิดเจลโดยแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ก่อนนำมาวิเคราะห์คุณภาพ

ตารางที่ 3-5 สิ่งทดลองเพื่อการศึกษาผลของปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ต่อคุณภาพของเต้าหู้เย็น

สิ่งทดลอง	ปริมาณผงใยอาหาร(%)	การใช้สารไฮโดรคอลลอยด์
1	2	แคปป้า-คาราจีแนน 1.0%
2	4	
3	6	
4	8	
5	10	
6	2	วุ้น 0.5%
7	4	
8	6	
9	8	
10	10	

ตารางที่ 3-6 เต้าหู้เย็นสูตรแคปป้า-คาราจีแนน

ส่วนผสม	% โดยน้ำหนัก				
ผงใยอาหาร	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00
คาราจีแนน K(-carragenan)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
น้ำตาลทราย	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
น้ำตาลไอโซมอลทูโลส	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
น้ำนมถั่วเหลือง	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
น้ำ	66.00	64.00	62.00	60.00	58.00

ตารางที่3-7 เต้าหู้เย็นสูตรวุ้น

ส่วนผสม	% โดยน้ำหนัก				
ผงใยอาหาร	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00
วุ้น (Agar)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
น้ำตาลทราย	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
น้ำตาลไอโซมอลทูโลส	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
น้ำนมถั่วเหลือง	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
น้ำ	66.50	64.50	62.50	60.50	58.50

3.5.3 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์อาหารจำลองสำหรับผู้สูงอำยุต้นแบบที่พัฒนาได้

นำผลิตภัณฑ์น้ำเสาวรสพร้อมดื่ม และเต้าหู้เย็น สูตรต้นแบบที่คัดเลือกได้จากตอนที่ 3.5.1 และ 3.5.2 ตามลำดับ มาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี เปรียบเทียบกับน้ำเสาวรสพร้อมดื่มและเต้าหู้เย็นสูตรพื้นฐานที่ไม่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส

ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของเปลือกเสาวรสสดและผง

เปลือกเสาวรสที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเปลือกเสาวรสพันธุ์สีม่วงที่ได้จากเสาวรสสุกอายุประมาณ 60-70 วัน ซึ่งเป็นส่วนเหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปน้ำเสาวรส วิเคราะห์คุณภาพ เปลือกเสาวรสสดและผง เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบและพัฒนากระบวนการผลิตต่อไป ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน กากใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต รวมทั้งค่าคุณภาพทางเคมีอื่น ๆ ได้แก่ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระของเปลือกเสาวรสสดและผง แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4-1 และ 4-2 ตามลำดับสำหรับค่าสีของเปลือกเสาวรสสดและผง รายงานเป็นค่า L* a* b* Hue angle Chroma และ ΔE แสดงดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-1 คุณภาพทางเคมีของเปลือกเสาวรสสด

ค่าคุณภาพ	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	น้ำหนักเปียก	น้ำหนักแห้ง
องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ		
ปริมาณความชื้น (กรัม/100 กรัม)	84.52 ± 0.04	-
ปริมาณโปรตีนกรัม/(100 กรัม)	0.79 ± 0.06	5.10 ± 0.38
ปริมาณไขมัน(กรัม/100 กรัม)	0.11 ± 0.00	0.72 ± 0.02
ปริมาณกากใย(กรัม/100 กรัม)	4.63 ± 0.12	29.92 ± 0.72
ปริมาณเถ้ากรัม/(100 กรัม)	0.99 ± 0.04	6.38 ± 0.26
ปริมาณคาร์โบไฮเดรตกรัม/(100 กรัม)	8.97 ± 0.13	57.89 ± 0.72
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (กรัม/100 กรัม)	2.56 ± 0.08	16.56 ± 0.52
ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (กรัม/100 กรัม)	13.49 ± 0.38	87.11 ± 2.48
ปริมาณแอนโทไซยานิน (มิลลิกรัมCyn-3-Glu/100 กรัม)	3.44 ± 0.12	22.20 ± 0.77
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด	15.06 ± 0.10	97.31 ± 0.66
(มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม)		
สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ(%Inhibition)	89.36 ± 0.03	-

ตารางที่ 4-2 คุณภาพทางเคมีของเปลือกเสาวรสผง

ค่าคุณภาพ	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	น้ำหนักเปียก	น้ำหนักแห้ง
องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ		
ปริมาณความชื้น (กรัม/100 กรัม)	7.33 ± 0.05	-
ปริมาณโปรตีนกรัม/(100 กรัม)	5.10 ± 0.13	5.50 ± 0.14
ปริมาณไขมัน(กรัม/100 กรัม)	0.52 ± 0.03	0.56 ± 0.03
ปริมาณกากใย(กรัม/100 กรัม)	34.76 ± 0.72	37.51 ± 0.48
ปริมาณเถ้ากรัม/(100 กรัม)	7.72 ± 0.06	8.33 ± 0.07
ปริมาณคาร์โบไฮเดรตกรัม/(100 กรัม)	44.57 ± 0.70	48.10 ± 0.73
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (กรัม/100 กรัม)	6.58 ± 0.27	7.10 ± 0.29
ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (กรัม/100 กรัม)	65.83 ± 0.27	71.04 ± 0.02
ปริมาณแอนโทไซยานิน (มิลลิกรัมCyn-3-Glu/100 กรัม)	7.16 ± 0.34	7.72 ± 0.36
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด	68.11 ± 0.26	73.50 ± 0.28
(มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม)		
สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ(%Inhibition)	88.69 ± 0.13	-

ตารางที่ 4-3 ค่าสีของเปลือกเสาวรสสดและผง

ค่าสี	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	เปลือกเสาวรสสด	เปลือกเสาวรสผง
L*	35.51b ± 0.31	64.57a ± 0.01
a*	19.95a ± 0.02	7.28b ± 0.02
b*	8.69b ± 0.23	21.25a ± 0.23
Hue angle	23.53b ± 1.16	71.08a ± 0.24
Chroma	21.76a ± 0.25	22.46a ± 0.22
ΔE#	-	34.09 ± 0.08

a,b คือ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p<0.05$)

คำนวณค่า ΔE เมื่อเปรียบเทียบกับเปลือกเสาวรสสด

4.2 ผลของการเตรียมขั้นต้นต่อคุณภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส

4.2.1 ผลของการเตรียมขั้นต้นโดยการใช้ความร้อนต่อคุณภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส

จากการศึกษาผลของวิธีการให้ความร้อนในการเตรียมขั้นต้น ด้วยวิธีการลวกด้วยน้ำ (Water blanching) การลวกด้วยไอน้ำ (Steam blanching) และการลวกด้วยไอน้ำ ภายใต้ความดัน (Autoclave blanching) และแปรเวลาการให้ความร้อน (3 และ 6 นาที) ทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์ที่นิยมใช้เป็นดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการเตรียมขั้นต้นคือกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสหลังการลวกเปลือกเสาวรส เมื่อใช้วิธีการให้ความร้อนและเวลาการให้ความร้อนที่ต่างกัน ได้ผลดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในเปลือกเสาวรส เมื่อเตรียมขั้นต้นโดยแปรวิธีการให้ความร้อนและเวลาการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	วิธีการให้ความร้อน	เวลาการให้ความร้อน (นาที)	ผลการตรวจสอบ
1	Water blanching (90±2°C)	3	-
2	Water blanching (90±2°C)	6	-
3	Steam blanching (100±2°C)	3	-
4	Steam blanching (100±2°C)	6	-
5	Autoclave blanching (121°C, 15psi)	3	-
6	Autoclave blanching (121°C, 15psi)	6	-
Control-Unblanched			+

Control-Unblanched คือ เปลือกเสาวรสที่ไม่ผ่านเตรียมขั้นต้น

หมายเหตุ + หมายถึง ยังมีกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสอยู่

\- หมายถึง ไม่มีกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสอยู่

จากการแปรปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ วิธีการให้ความร้อน 3 วิธี ได้แก่ การลวกด้วยน้ำ (Water blanching) การลวกด้วยไอน้ำ (Steam blanching) และการลวกด้วยไอน้ำ ภายใต้ความดัน (Autoclave blanching) และเวลาการให้ความร้อน (3 และ 6 นาที) ได้เป็น 6 สิ่งทดลอง ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) สาหรับค่าสี (L* a* b* Hue angle Chroma และΔE) ของเปลือกเสาวรสหลังการเตรียมขั้นต้นโดยใช้ความร้อน สรุปได้ดังตารางที่ 4-5 และคุณภาพของผงใยอาหารได้แก่ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณใยอาหารทั้งหมดปริมาณแอนโทไซยานินปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ รวมถึงค่าสี (L* a* b* Hue angle Chroma และ ΔE) สรุปได้ดังตารางที่ 4-6 ผลการวิเคราะห์ค่าสี L* a* b* Hue angle Chroma และ ΔE ของเปลือกเสาวรสหลังการเตรียมขั้นต้นโดยใช้ความร้อน แสดงดังตารางที่ 4-7 สำหรับผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส แสดงดังตารางที่ 4-8 ถึง 4-10 ลักษณะของเปลือกเสาวรสผงที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นและผงใยอาหารที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีและเวลาที่แตกต่างกัน แสดงดังภาพที่ 4-1 และผลการวิเคราะห์ค่าสี L* a* b* Hue angle Chroma และ ΔE ของเปลือกเสาวรสผง ($p<0.05$) แสดงดังตารางที่ 4-11 ผลการประเมินค่าความเข้มของคุณลักษณะจากการทดสอบโดยวิธี Quantitative Descriptive Analysis (QDA) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำร้อน (90±2oC) เป็นเวลา 3 นาที (สิ่งทดลองที่ 1) กับเปลือกเสาวรสผงที่ไม่ผ่านเตรียมขั้นต้น (Control) แสดงดังตารางที่ 4-12

ตารางที่ 4-5 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของเปลือกเสาวรส เมื่อเตรียมขั้นต้นโดยแปรวิธีการให้ความร้อน (Method) และเวลาการให้ความร้อน (Time) ที่แตกต่างกัน

ค่าคุณภาพ	Method	Time	Method*Time
ค่า L*	sig	sig	sig
ค่า a*	sig	sig	sig
ค่า b*	ns	sig	sig
Hue angle	sig	sig	sig
Chroma	sig	sig	sig
ΔE	sig	sig	sig

sig หมายถึง ปัจจัยที่ศึกษามีอิทธิพลต่ำค่าคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p<0.05$)

ns หมายถึง ปัจจัยที่ศึกษาไม่มีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างนัยสำคัญทางสถิติ($p\geq0.05$)

ตารางที่ 4-6 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคุณภาพผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสเมื่อเตรียมขั้นต้นโดยแปรวิธีการให้ความร้อน (Method) และเวลาการให้ความร้อน (Time) ที่แตกต่างกัน

ค่าคุณภาพ	Method	Time	Method*Time
ปริมาณน้ำตาลทังหมด	sig	sig	sig
ปริมาณใยอาหารทั้งหมด	sig	sig	sig
ปริมาณแอนโทไซยานิน	sig	sig	sig
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด	sig	sig	sig
สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ	ns	ns	ns
ค่า L*	sig	sig	sig
ค่า a*	sig	sig	sig
ค่า b*	sig	sig	sig
Hue angle	sig	sig	sig
Chroma	sig	sig	sig
ΔE	sig	sig	sig

sig หมายถึงปัจจัยที่ศึกษามีอิทธิพลต่ำค่าคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p<0.05$)

ns หมายถึงปัจจัยที่ศึกษาไม่มีอิทธิพลต่ำค่าคุณภาพอย่างนัยสำคัญทางสถิติ($p\geq0.05$)

ตารางที่ 4-7 ค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ค่าเฉดสี (Hue angle) ค่าความเข้มของสี (Chroma) และค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE) ของเปลือกเสาวรสหลังการลวก เมื่อเตรียมขั้นต้นโดยแปรวิธีการให้ความร้อนและเวลาการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	วิธีการให้ความร้อน	เวลา (นาที)	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน					
			L*	a*	b*	Hue angle	Chroma	$\Delta E^{\#}$
1	Water blanching (90±2°C)	3	40.47 ^{c} ± 0.14	11.23^{c} ± 0.30	14.80^{a} ± 0.32	52.80^{b} ± 0.42	18.58^{ab} ± 0.42	11.75^{c} ± 0.16
2	Water blanching (90±2°C)	6	43.21^{b} ± 0.32	6.95^{d} ± 0.40	11.37^{c} ± 0.10	58.59^{a} ± 1.62	13.32^{d} ± 0.16	15.35^{a} ± 0.51
3	Steam blanching (100±2°C)	3	37.97^{d} ± 0.67	14.61^{a} ± 0.54	13.07^{b} ± 1.07	41.77^{d} ± 1.32	19.60^{a} ± 1.11	7.41 ^{e} ± 0.17
4	Steam blanching (100±2°C)	6	45.16^{a} ± 0.37	13.02^{b} ± 0.54	14.78^{a} ± 0.17	48.64^{c} ±0.87	19.70^{a} ± 0.48	13.35^{b} ± 0.47
5	Autoclave blanching (121°C, 15psi)	3	38.51^{d} ± 0.63	11.77^{c} ± 0.17	13.64^{ab} ± 0.25	49.21^{c} ± 0.85	18.02^{bc} ± 0.14	10.03^{d} ± 0.20
6	Autoclave blanching (121°C, 15psi)	6	37.76^{d} ± 1.00	11.12^{c} ± 0.01	12.94^{b} ± 1.16	49.22^{c} ± 1.67	17.07^{c} ± 0.88	10.12^{d} ± 0.65
Control-Unblanched			35.51 ± 0.31	19.95 ± 0.02	8.69 ± 0.23	23.53 ± 1.16	21.76 ± 0.25	-

a,b,c คือค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p<0.05$)

คำนวณค่า ΔE เมื่อเปรียบเทียบกับ Control

Control-Unblanched คือเปลือกเสาวรสที่ไม่ผ่านเตรียมขั้นต้น

ตารางที่ 4-8 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (TSC) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส เมื่อเตรียมขั้นต้นโดยแปรวิธีการให้ความร้อนและเวลาการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	วิธีการให้ความร้อน	เวลาการให้ความร้อน (นาที)	ปริมาณTSC เฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (กรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง)
1	Water blanching (90±2oC)	3	4.14c ± 0.12
2	Water blanching (90±2oC)	6	4.07c ± 0.19
3	Steam blanching (100±2oC)	3	5.76a ± 0.23
4	Steam blanching (100±2oC)	6	4.91b ± 0.14
5	Autoclave blanching (121oC, 15psi)	3	4.23c ± 0.06
6	Autoclave blanching (121oC, 15psi)	6	4.20c ± 0.10
Control-Unblanched			7.10 ± 0.29

a,b,c คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

Control-Unblanched คือ เปลือกเสาวรสผงที่ไม่ผ่านเตรียมขั้นต้น

ตารางที่ 4-9 ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (TDF) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส เมื่อเตรียมขั้นต้นโดยแปรวิธีการให้ความร้อน และเวลาการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	วิธีการให้ความร้อน	เวลาการให้ความร้อน (นาที)	ปริมาณTDF เฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (กรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง)
1	Water blanching (90±2°C)	3	90.43^{a} ± 1.07
2	Water blanching (90±2°C)	6	92.05^{a} ± 1.62
3	Steam blanching (100±2°C)	3	84.58^{b} ± 1.75
4	Steam blanching (100±2°C)	6	81.94^{b} ± 1.91
5	Autoclave blanching (121°C, 15psi)	3	82.55^{b} ± 1.54
6	Autoclave blanching (121°C, 15psi)	6	77.73^{c} ± 1.29
Control-Unblanched			71.04 ± 0.02

a,b,c คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

Control-Unblanched คือ เปลือกเสาวรสผงที่ไม่ผ่านเตรียมขั้นต้น

ตารางที่ 4-10 ปริมาณแอนโทไซยานิน (AC) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (% inhibition) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส เมื่อเตรียมขั้นต้นโดยแปรวิธีการให้ความร้อน และเวลาการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	วิธีการให้ความร้อน	เวลาการให้ความร้อน (นาที)	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
			ปริมาณAC (มิลลิกรัมCyn-3-Glu/ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง)	ปริมาณTPC (มิลลิกรัมกรดแกลลิก/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	% inhibition^{ns}
1	Water blanching (90±2°C)	3	14.82^{b} ± 0.73	66.47^{e} ± 0.02	88.92 ± 0.48
2	Water blanching (90±2°C)	6	14.32^{b} ± 0.14	41.68^{f} ± 0.07	89.90 ± 0.13
3	Steam blanching (100±2°C)	3	21.08^{a} ± 0.45	106.87^{a} ± 0.04	89.43 ± 0.77
4	Steam blanching (100±2°C)	6	13.57^{b} ± 0.96	69.64^{d} ± 0.08	89.37 ± 0.53
5	Autoclave blanching (121°C, 15psi)	3	11.06^{c} ± 0.36	71.92^{c} ± 0.10	89.73 ± 0.70
6	Autoclave blanching (121°C, 15psi)	6	11.48^{c} ± 0.89	76.97^{b} ± 0.14	89.48 ± 0.89
Control-Unblanched			7.72 ± 0.36	73.50 ± 0.28	88.69 ± 0.13

a,b,c คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p<0.05$)

ns คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p\geq0.05$)

Control-Unblanched คือ เปลือกเสาวรสผงที่ไม่ผ่านเตรียมขั้นต้น

ก) Control-Unblanched

ข) Water blanching (90±2°C) 3 นาที

ค) Water blanching (90±2°C) 6 นาที

ง) Steam blanching (100±2°C) 3 นาที

จ) Steam blanching (100±2°C) 6 นาที

ฉ) Autoclave blanching (121°C, 15psi) 3 นาที

ช) Autoclave blanching (121°C, 15psi) 6 นาที

ภาพที่4-1 ลักษณะของเปลือกเสาวรสผงที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้น (Control-Unblanched) (ก) และ ลักษณะของผงใยอาหารที่เตรียมขั้นต้นด้วย Water blanching (90±2°C) 3 นาที (ข) Water blanching (90±2°C) 6 นาที (ค)Steam blanching (100±2°C) 3 นาที (ง)Steam blanching (100±2°C) 6 นาที (จ)Autoclave blanching (121°C, 15psi) 3 นาที และ (ฉ) Autoclave blanching (121°C, 15psi) 6 นาที(ช)

ตารางที่ 4-11 ค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ค่าเฉดสี (Hue angle) ค่าความเข้มของสี (Chroma) และค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส เมื่อเตรียมขั้นต้นโดยแปรวิธีการให้ความร้อน และเวลาการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	วิธีการให้ความร้อน	เวลา (นาที)	ค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน					
			L*	a*	b*	Hue angle	Chroma	$\Delta E^{\#}$
1	Water blanching (90±2°C)	3	67.71^{c} ± 0.03	8.72^{a} ± 0.12	12.01^{e} ± 0.16	54.02^{d} ± 0.71	14.84^{e} ± 0.08	9.86^{a} ± 0.17
2	Water blanching (90±2°C)	6	68.36^{a} ± 0.13	8.11^{d} ± 0.04	13.45^{d} ± 0.08	58.89^{c} ± 0.08	15.71^{d} ± 0.09	8.71^{b} ± 0.10
3	Steam blanching (100±2°C)	3	67.91^{b} ± 0.10	8.35^{c} ± 0.05	16.85^{a} ± 0.11	63.62^{a} ± 0.28	18.81^{a} ± 0.08	5.63^{e} ± 0.11
4	Steam blanching (100±2°C)	6	67.53^{d} ± 0.02	8.57^{b} ± 0.03	15.00^{c} ± 0.06	60.27^{b} ± 0.18	17.28^{b} ± 0.04	7.03^{c} ± 0.06
5	Autoclave blanching (121°C, 15psi)	3	67.01^{e} ± 0.01	7.80^{e} ± 0.08	15.30^{b} ± 0.23	62.99^{a} ± 0.59	17.17^{bc} ± 0.18	6.46^{d} ± 0.22
6	Autoclave blanching (121°C, 15psi)	6	66.15^{f} ± 0.05	7.76^{e} ± 0.07	15.17^{bc} ± 0.03	62.92^{a} ± 0.19	17.03^{c} ± 0.05	6.30^{d} ± 0.03
Control-Unblanched			64.57 ± 0.01	7.28 ± 0.02	21.25 ± 0.23	71.08 ± 0.24	22.46 ± 0.22	-

a,b,c คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

คำนวณค่า ΔE เมื่อเปรียบเทียบกับ Control

Control-Unblanched คือ เปลือกเสาวรสผงที่ไม่ผ่านเตรียมขั้นต้น

ตารางที่ 4-12 ค่าความเข้มของคุณลักษณะจากการทดสอบโดยวิธี QDA ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำร้อน (90±2°C) เป็นเวลา 3 นาที กับเปลือกเสาวรสผงที่ไม่ผ่านเตรียมขั้นต้น (Control)

สิ่งทดลอง	สีม่วงแดง	กลิ่นเสาวรส	ความฝาดขม
Water blanching (90±2°C) 3 min	4.95^{a} ± 0.05	6.75^{b} ± 0.34	5.33^{b} ± 0.20
Control-Unblanched	1.25^{b} ± 0.11	8.16^{a} ± 0.18	8.71^{a} ± 0.07

a,b คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)
Control-Unblanched คือ เปลือกเสาวรสผงที่ไม่ผ่านเตรียมขั้นต้น

4.2.2 ผลของการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อคุณภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส

จากการเตรียมขั้นต้นเปลือกเสาวรสตามวิธีที่เลือกได้จากข้อ 4.2.1 คือ นำเปลือกเสาวรสที่หั่นเป็นชิ้นขนาดประมาณ 0.5×4×0.2 เซนติเมตร มาลวกในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที โดย กำหนดอัตราส่วนเปลือกเสาวรสต่อน้ำเท่ากับ 1:6 (น้ำหนักต่อปริมาตร) จากนั้นนำเปลือกเสาวรสที่ผ่านการลวกด้วยน้ำแล้วมาแช่ในน้ำเย็นอุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ทันที วางบนตะแกรงให้สะเด็ดน้ำและนำมาปั่นเหวี่ยงแยกน้ำออกโดยใช้เครื่องสลัดน้ำโดยปั่นเหวี่ยงที่ 400 รอบต่อนาทีนาน 5 นาที ซึ่งเมื่อดำเนินการเสร็จในขั้นตอนการปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกน้ำออกแล้ว นำเปลือกเสาวรสมาเตรียมขั้นต้นต่อโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 3% จากการศึกษาผลของเวลาการแช่ (10 และ 30 นาที) และการใช้สภาวะสุญญากาศ (ใช้และไม่ใช้) ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) สำหรับค่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมดปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ รวมถึงค่าสี (L* a* b* Hue angle Chroma และ ΔE) สรุปได้ดังตารางที่ 4-13 สำหรับผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ แสดงดังตารางที่ 4-14 ถึง 4-17 และปริมาณความชื้นก่อนการทำแห้ง และเวลาการทำแห้ง แสดงผลดังตารางที่ 4-18

ตารางที่ 4-13 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส เมื่อเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ แปรเวลาการแช่ (Time) และการใช้สภาวะสุญญากาศ (Vacuum) ที่แตกต่างกัน

ค่าคุณภาพ	Time	Vacuum	Time*Vacuum
ปริมาณน้ำตาลทังหมด	ns	sig	sig
ปริมาณใยอาหารทั้งหมด	sig	ns	ns
ปริมาณแอนโทไซยานิน	ns	sig	ns
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด	sig	sig	sig
สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ	sig	sig	sig
L*	sig	sig	sig
a*	sig	sig	ns
b*	sig	ns	sig
Hue angle	ns	sig	ns
Chroma	sig	ns	sig
ΔE	ns	sig	sig

sig หมายถึง ปัจจัยที่ศึกษามีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ns หมายถึง ปัจจัยที่ศึกษาไม่มีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ 4-14 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (TSC) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส เมื่อเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ แปรเวลาการแช่ และการใช้สภาวะสุญญากาศที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	เวลาการแช่ (นาที)	การใช้สภาวะสุญญากาศ	ปริมาณTSC เฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (กรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง)
1	10	ใช้	$3.25^{a} \pm 0.07$
2	10	ไม่ใช้	$2.53^{c} \pm 0.16$
3	30	ใช้	$2.87^{b} \pm 0.03$
4	30	ไม่ใช้	$2.94^{b} \pm 0.12$
Control-Unsoaked NaCl			4.14 ± 0.12

a,b,c คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

Control- Unsoaked NaCl คือ ผงใยอาหารที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์

ตารางที่ 4-15 ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (TDF) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส เมื่อเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ แปรเวลาการแช่ และการใช้สภาวะสุญญากาศที่แตกต่างกัน

เวลาการแช่ (นาที)	สภาวะการใช้สุญญากาศ	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ปริมาณTDF (กรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง)	
10	ใช้	83.82 ± 1.05	83.72[a] ± 1.06
	ไม่ใช้	83.63 ± 1.29	
30	ใช้	82.04 ± 1.18	81.68[b] ± 0.89
	ไม่ใช้	81.31 ± 0.43	
Control-Unsoaked NaCl		90.43 ± 1.07	

a,b คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

Control-Unsoaked NaCl คือ ผงใยอาหารที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์

ตารางที่ 4-16 ปริมาณแอนโทไซยานิน (AC) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส เมื่อเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ แปรเวลาการแช่ และการใช้สภาวะสุญญากาศที่แตกต่างกัน

สภาวะการใช้สุญญากาศ	เวลาการแช่ (นาที)	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ปริมาณ AC (มิลลิกรัมCyn 3-Glu/100 กรัมน้ำหนักแห้ง)	
ใช้	10	10.44 ± 0.72	10.33[b] ± 0.52
	30	10.23 ± 0.36	
ไม่ใช้	10	12.73 ± 0.36	12.94[a] ± 0.51
	30	13.15 ± 0.63	
Control-Unsoaked NaCl		14.82 ± 0.73	

a,b คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

Control-Unsoaked NaCl คือ ผงใยอาหารที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์

ตารางที่ 4-17 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส เมื่อเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ แปรเวลาการแช่ และการใช้สภาวะสุญญากาศที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	เวลาการแช่ (นาที)	การใช้สภาวะสุญญากาศ	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
			ปริมาณTPC (มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัมน้ำหนักแห้ง)	% inhibition
1	10	ใช้	$60.09^{b} \pm 0.42$	$81.61^{b} \pm 0.57$
2	10	ไม่ใช้	$61.14^{a} \pm 0.45$	$83.52^{a} \pm 0.56$
3	30	ใช้	$57.86^{c} \pm 0.44$	$81.23^{b} \pm 0.66$
4	30	ไม่ใช้	$60.14^{b} \pm 0.52$	$81.25^{b} \pm 0.55$
Control-Unsoaked NaCl			66.47 ± 0.02	88.92 ± 0.48

a,b,c คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

Control-Unsoaked NaCl คือ ผงใยอาหารที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์

ตารางที่ 4-18 ปริมาณความชื้นก่อนการทำแห้ง และเวลาการทำแห้งของเปลือกเสาวรส เมื่อเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ แปรเวลาการแช่ และการใช้สภาวะสุญญากาศที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	เวลาการแช่ (นาที)	การใช้สภาวะสุญญากาศ	ความชื้นก่อนการทำแห้ง (%)	เวลาการทำแห้ง (นาที)
1	10	ใช้	79.05	360
2	10	ไม่ใช้	80.52	360
3	30	ใช้	74.80	350
4	30	ไม่ใช้	75.12	350
Control-Unsoaked NaCl			86.00	370

a,b คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

Control-Unsoaked NaCl คือ ผงใยอาหารที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์

ลักษณะของผงใยอาหารที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ และผงใยอาหารที่ผ่านการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ เมื่อแปรเวลาการแช่และการใช้สภาวะสุญญากาศที่แตกต่างกัน แสดงดังภาพที่ 4-2 และผลการวิเคราะห์ค่าสี L* a* b* Hue angle Chroma และ ΔE ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส แสดงดังตารางที่ 4-19

ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาโดยวิธี Quantitative Descriptive Analysis (QDA) โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 8 คน ซึ่งร่วมกันคิดคำศัพท์ที่ใช้อธิบายคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่าง และคัดเลือกคำศัพท์เพื่อใช้ในการประเมินผลทางประสาทสัมผัส เมื่อเสนอตัวอย่างในลักษณะผงแห้งคัดเลือกได้ 4 คำศัพท์ ได้แก่ สีม่วงแดง กลิ่นเสาวรส รสเค็ม และความฝาดขม ผลการประเมินแสดงดังภาพที่ 4-3 และเมื่อเสนอตัวอย่างในลักษณะสารละลายที่เตรียมที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) คัดเลือกคำศัพท์ได้ 6 คำศัพท์ได้แก่ สีม่วงแดง/น้ำตาลแดง การตกตะกอน ความขุ่น กลิ่นเสาวรส รสเค็ม ความฝาดขม และความสากลิ้น ผลการประเมินแสดงดังภาพที่ 4-4

ก) Control-Unsoaked NaCl

ข) ใช้สภาวะสุญญากาศเป็นเวลา10 นาที

ค) ไม่ใช้สภาวะสุญญากาศเป็นเวลา10 นาที

ง) ใช้สภาวะสุญญากาศเป็นเวลา30 นาที

จ) ไม่ใช้สภาวะสุญญากาศเป็นเวลา30 นาที

ภาพที่4-2 ลักษณะของผงใยอาหารที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ (Control-Unsoaked NaCl) (ก) และลักษณะของผงใยอาหารที่ผ่านการแช่ในสารละลายเกลือ โซเดียมคลอไรด์เป็นเวลา 10 นาที โดยใช้สภาวะสุญญากาศ(ข) ไม่ใช้สภาวะสุญญากาศ(ค) รวมทั้งแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์เป็นเวลา 30 นาที โดยใช้สภาวะสุญญากาศ(ง) และไม่ใช้สภาวะสุญญากาศ(จ)

ตารางที่ 4-19 ค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ค่าเฉดสี (Hue angle) ค่าความเข้มของสี (Chroma) และค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส เมื่อเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ แปรเวลาการแช่ และการใช้สภาวะสุญญากาศที่แตกต่างกัน

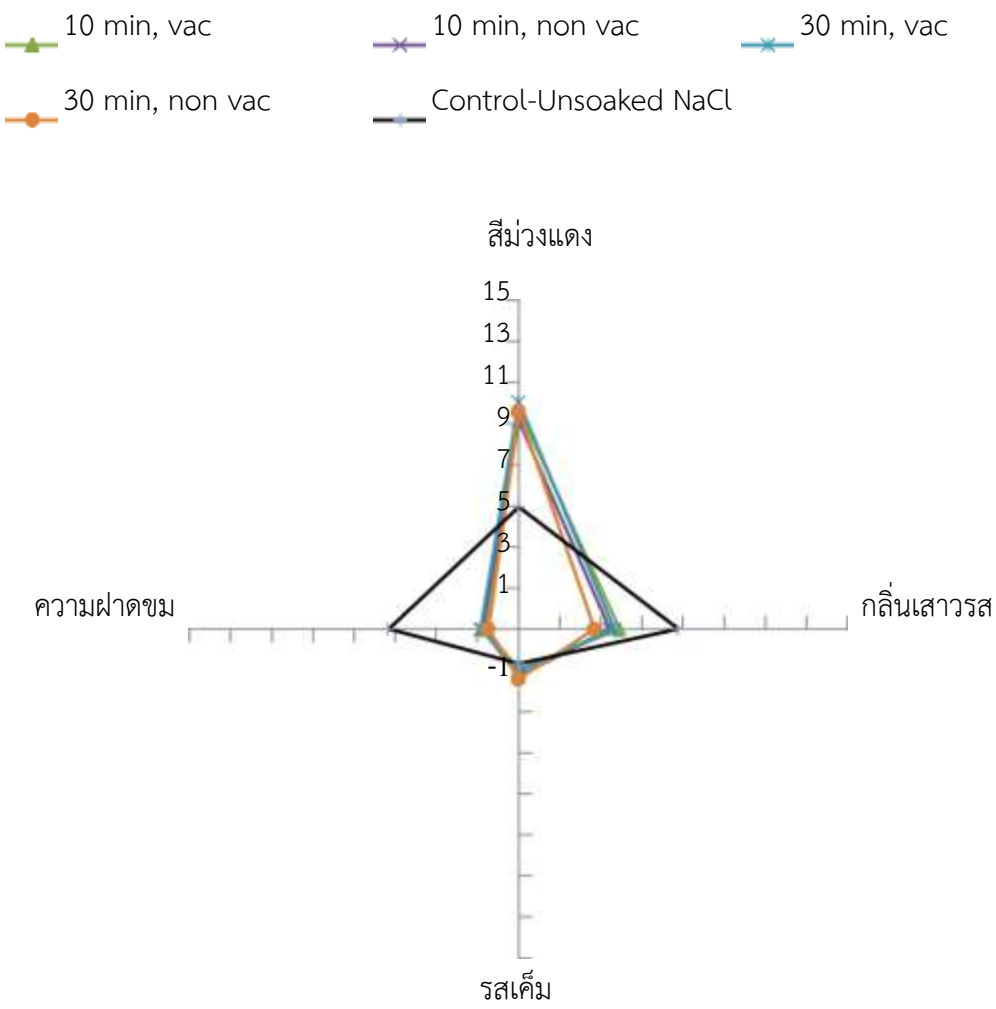
สิ่งทดลอง	เวลาการแช่(นาที)	การใช้สภาวะสุญญากาศ	ค่าสีเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน					
			L*	a*^{ns}	b*	Hue angle^{ns}	Chroma	ΔE$^{\#}$
1	10	ใช้	73.04^{a} ± 0.64	9.18 ± 0.10	12.31^{c} ± 0.33	53.28 ± 0.92	15.35^{c} ± 0.24	5.37^{a} ± 0.62
2	10	ไม่ใช้	69.14^{b} ± 0.23	9.86 ± 0.12	12.47^{c} ± 0.07	51.66 ± 0.33	15.90^{b} ± 0.11	1.90^{c} ± 0.08
3	30	ใช้	67.25^{c} ± 0.17	10.95 ± 0.23	14.67^{a} ± 0.18	53.26 ± 0.25	18.31^{a} ± 0.29	3.51^{b} ± 0.27
4	30	ไม่ใช้	66.55^{c} ± 0.36	11.30 ± 0.09	14.27^{b} ± 0.15	51.64 ± 0.11	18.20^{a} ± 0.18	3.63^{b} ± 0.27
Control-Unsoaked NaCl			67.71 ± 0.03	8.72 ± 0.12	12.01 ± 0.16	54.02 ± 0.71	14.84 ± 0.08	-

a,b,c คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

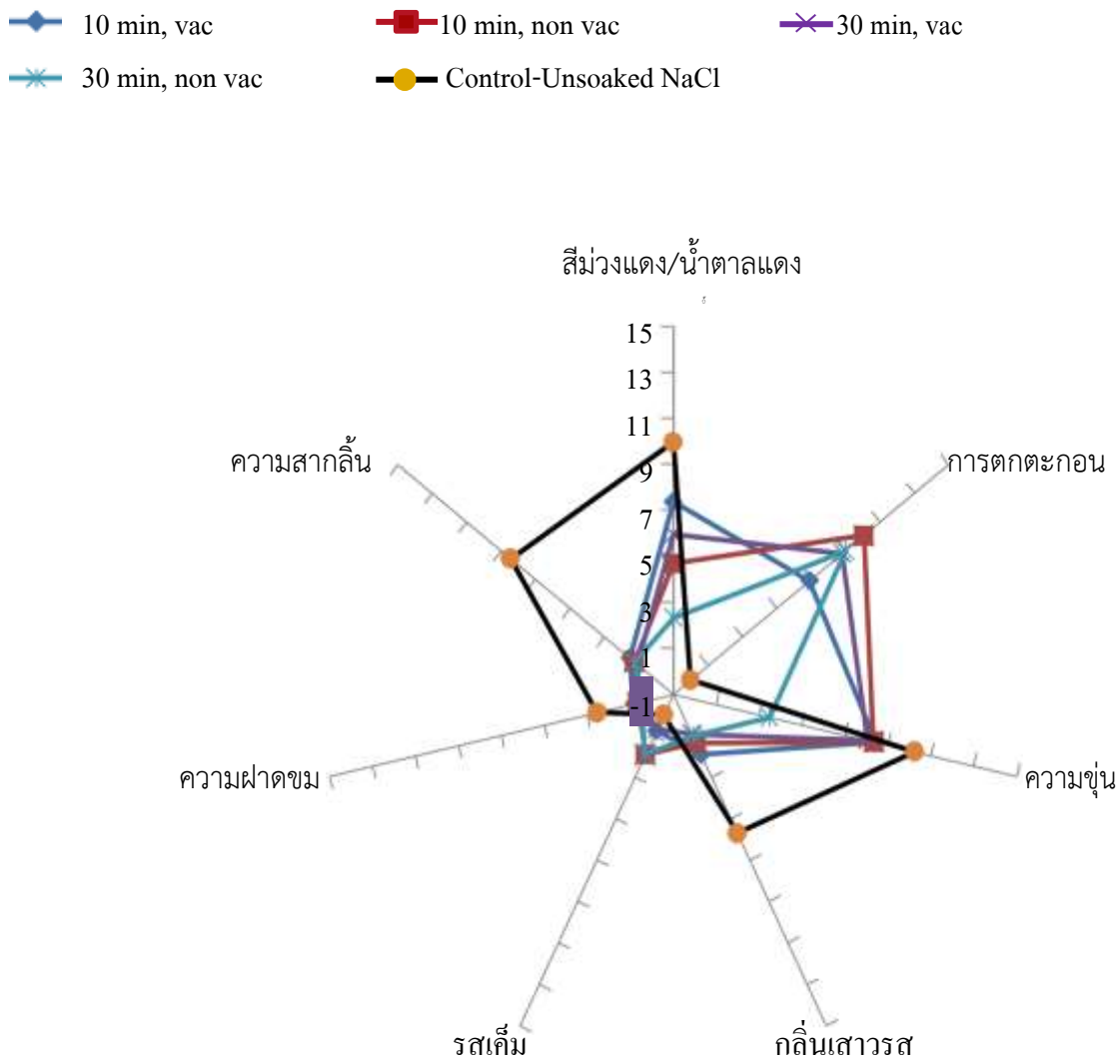
ns คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

คำนวณค่า ΔE เมื่อเปรียบเทียบกับ Control

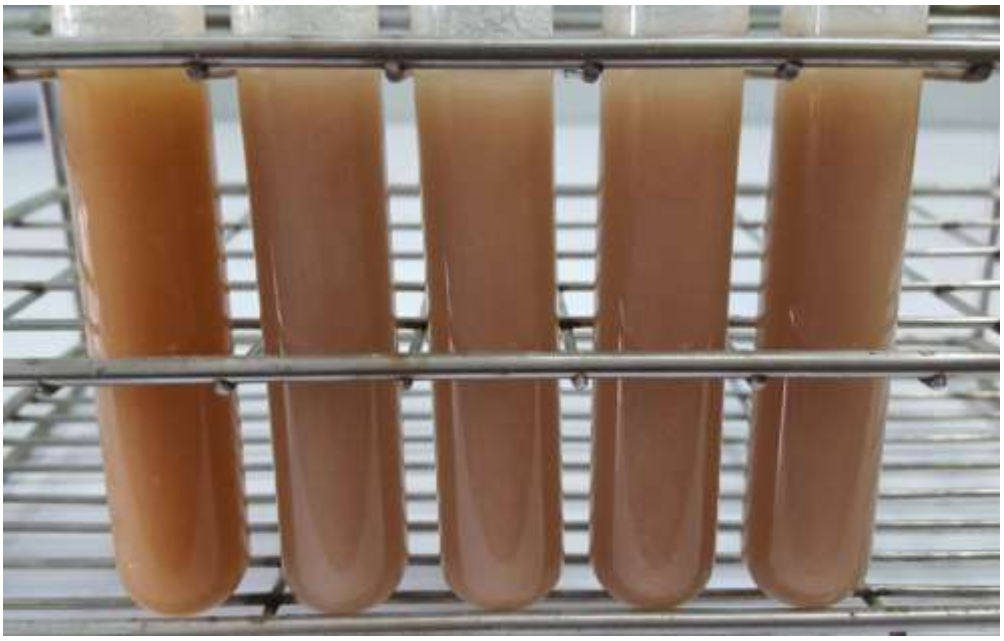
Control-Unsoaked NaCl คือ ผงใยอาหารที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์



ภาพที่ 4-3 กราฟใยแมงมุมแสดงความเข้มของคุณลักษณะจากการทดสอบโดยวิธี QDA ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสเมื่อไม่ผ่าน (Control-Unsoaked NaCl) และผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ แปรเวลาการแช่ (10 และ30 นาที) และการใช้สภาวะสุญญากาศ (ใช้ และ ไม่ใช้) เมื่อเสนอตัวอย่างในลักษณะผงแห้ง



ภาพที่ 4-4 กราฟใยแมงมุมแสดงความเข้มของคุณลักษณะจากการทดสอบโดยวิธี QDA ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสเมื่อไม่ผ่าน (Control-Unsoaked NaCl) และผ่านการเตรียมขั้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ แปรเวลาการแช่ (10 และ30 นาที) และการใช้สภาวะสุญญากาศ (ใช้ และ ไม่ใช้) เมื่อเสนอตัวอย่างในลักษณะสารละลาย (ความเข้มข้น 5%) ที่เตรียมที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส)



(ก) (ข) (ค) (ง) (จ)

ภาพที่ 4-5 ลักษณะของสารละลายผงใยอาหาร (ความเข้มข้น 5%) ที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ (Control-Unsoaked NaCl) (ก) และลักษณะของสารละลายผงใยอาหารที่ผ่านการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ เป็นเวลา 10 นาที โดยใช้สภาวะสุญญากาศ (ข) ไม่ใช้สภาวะสุญญากาศ (ค) รวมทั้งแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ เป็นเวลา 30 นาที โดยใช้สภาวะสุญญากาศ (ง) และไม่ใช้สภาวะสุญญากาศ (จ) เตรียมที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส)

4.3 ผลการศึกษาหาสภาวะในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่เหมาะสมของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส

จากการศึกษาผลของการหาสภาวะในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่เหมาะสม โดยแปรปัจจัยอุณหภูมิการทำแห้ง (50-70 องศาเซลเซียส) และเวลาการทำแห้ง (300-420 นาที) ในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน โดยจัดสิ่งทดลองแบบ CCD ได้ 11 สิ่งทดลอง เมื่อดา เนินการทดลองตามสภาวะที่กำหนด นำผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ได้มาวิเคราะห์ค่าคุณภาพ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบ ฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-20 จากการนำข้อมูลค่าคุณภาพต่าง ๆ มาสร้างสมการรีเกรสชัน โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสกับอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาการทำแห้ง ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4-21 เมื่อนำสมการที่น่าเชื่อถือทั้งหมดมาสร้างกราฟพื้นผิวการตอบสนองเพื่อแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้น

ปริมาณแอนโทไซยานินปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสกับอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาการทำแห้ง แสดงดังภาพที่ 4-6 ถึง 4-9 เนื่องจากขั้นตอนนี้เป็นการปรับปรุงคุณภาพของผงใยอาหาร ดังนั้นคุณภาพของผงใยอาหารที่ได้ด้านปริมาณความชื้น ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระต้องไม่ต่ำกว่าคุณภาพของผงใยอาหารที่ได้จากการใช้สภาวะการทำแห้งตามวิธีการผลิตเดิม จึงกำหนดว่าคุณภาพของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสต้องมีปริมาณความชื้นต่ำ กว่าหรือเท่ากับ 8 กรัม/100 กรัม มีปริมาณแอนโทไซยานิน ไม่ต่ำกว่า 12.73 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/100 กรัม น้ำหนักแห้ง ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดไม่ต่ำกว่า 61.14 มิลลิกรัม กรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูง โดยมี %Inhibition ไม่ต่ำกว่า 83.52 % ในการสร้างกราฟพื้นผิวการตอบสนองจึงได้ขอบเขตพื้นที่สำหรับการคัดเลือกหาสภาวะที่เหมาะสมของคุณภาพด้านปริมาณความชื้น ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาการทำแห้ง แสดงดังภาพที่ 4-10 4-11 4-12 และ 4-13 ตามลำดับ เมื่อนำพื้นผิวการตอบสนองในภาพที่ 4-10 4-11 4-12 และ 4-13 มาซ้อนทับกัน จะได้พื้นที่ผิวการตอบสนองที่ทำให้ได้ค่าคุณภาพของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสตามที่ได้กำหนดไว้ แสดงดังภาพที่ 4-14

ตารางที่ 4-20 ปริมาณความชื้น (MC) ปริมาณแอนโทไซยานิน (AC) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนสภาวะต่างๆ

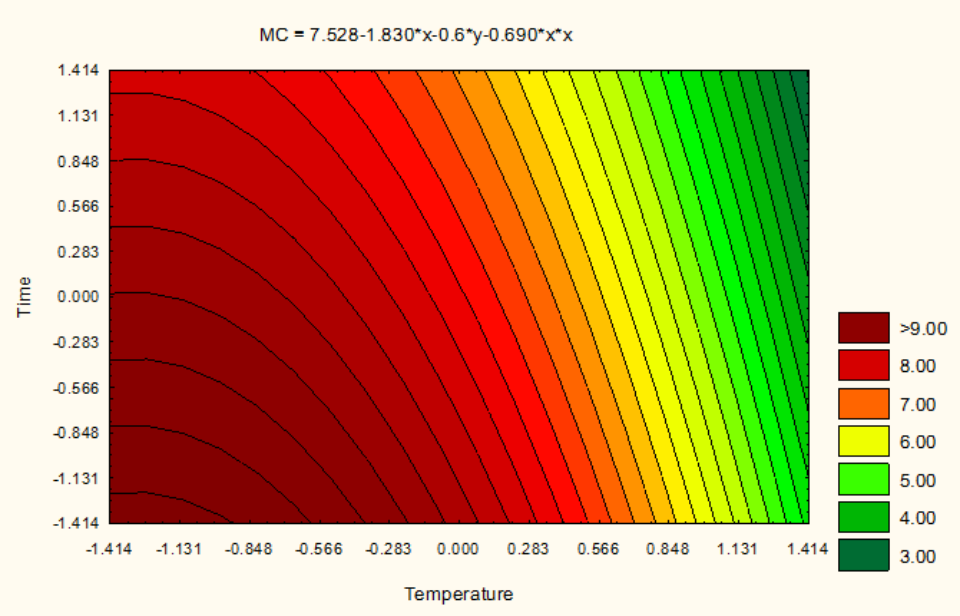
สิ่งทดลอง	ค่ารหัส		ค่าจริง		ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	X_1	X_2	อุณหภูมิการทำแห้ง (องศาเซลเซียส)	เวลาการทำแห้ง (นาที)	ปริมาณMC (กรัม/100 กรัม)	ปริมาณAC (มิลลิกรัมCyn-3-Glu/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	ปริมาณTPC (มิลลิกรัมกรดแกลลิก/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	%Inhibition
1	-1	-1	53	320	$9.89^{a} \pm 0.10$	$16.06^{a} \pm 0.38$	$64.23^{a} \pm 0.51$	$86.81^{a} \pm 0.23$
2	-1	+1	53	400	$7.55^{d} \pm 0.10$	$13.50^{cd} \pm 0.67$	$60.17^{de} \pm 0.20$	$84.03^{f} \pm 0.29$
3	+1	-1	67	320	$5.43^{f} \pm 0.05$	$15.30^{ab} \pm 0.96$	$64.12^{a} \pm 0.28$	$86.63^{ab} \pm 0.15$
4	+1	+1	67	400	$5.02^{g} \pm 0.09$	$12.48^{de} \pm 0.66$	$59.69^{e} \pm 0.32$	$83.03^{g} \pm 0.23$
5	-1.414	0	50	360	$8.72^{b} \pm 0.10$	$13.39^{cd} \pm 0.36$	$62.61^{c} \pm 0.32$	$85.04^{de} \pm 0.09$
6	+1.414	0	70	360	$3.31^{h} \pm 0.10$	$11.41^{e} \pm 0.98$	$60.77^{d} \pm 0.16$	$85.60^{cd} \pm 0.04$
7	0	-1.414	60	300	$7.81^{c} \pm 0.02$	$15.57^{ab} \pm 0.62$	$64.22^{a} \pm 0.12$	$86.10^{bc} \pm 0.40$
8	0	+1.414	60	420	$6.36^{e} \pm 0.09$	$12.95^{d} \pm 0.59$	$62.65^{bc} \pm 0.27$	$82.77^{g} \pm 0.23$
9	0	0	60	360	$7.73^{c} \pm 0.08$	$15.31^{ab} \pm 0.96$	$63.17^{bc} \pm 0.74$	$84.93^{e} \pm 0.49$
10	0	0	60	360	$7.74^{c} \pm 0.07$	$15.16^{ab} \pm 0.36$	$63.40^{b} \pm 0.55$	$85.10^{de} \pm 0.69$
11	0	0	60	360	$7.73^{c} \pm 0.07$	$14.59^{bc} \pm 0.95$	$62.89^{bc} \pm 0.59$	$84.89^{e} \pm 0.38$

a,b,c,... คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

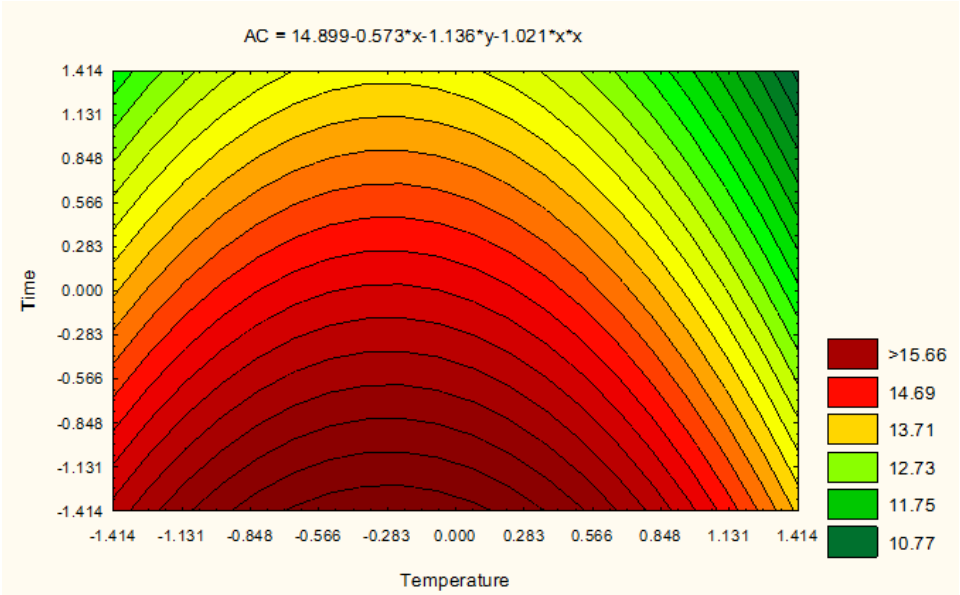
ตารางที่ 4-21 ผลการวิเคราะห์สมการรีเกรสชันเชิงเส้นตรงแบบพหุ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วิเคราะห์ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส ได้แก่ปริมาณความชื้น (MC) ปริมาณแอนโทไซยานิน (AC) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition) กับอุณหภูมิการทำแห้ง (X1) และเวลาการทำแห้ง (X2) ของตู้อบลมร้อน

ค่าที่วิเคราะห์	สมการ*	R^2	Model Significance	RMS (%)
ปริมาณความชื้น	$MC = 7.528-1.830X_1 -0.6X_2 -0.690X_1^2$	0.951	0.000	9.10
ปริมาณแอนโทไซยานิน	$AC = 14.899-0.573X_1 - 1.136X_2 - 1.021X_1^2$	0.870	0.002	13.15
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทังหมด	$TPC = 63.166-0.399X_1 - 1.339X_2 - 0.864X_1^2$	0.768	0.013	6.45
สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ	$\%Inhibition = 84.778 - 0.049X_1-1.386X_2 +0.296X_1^2$	0. 920	0.000	2.55

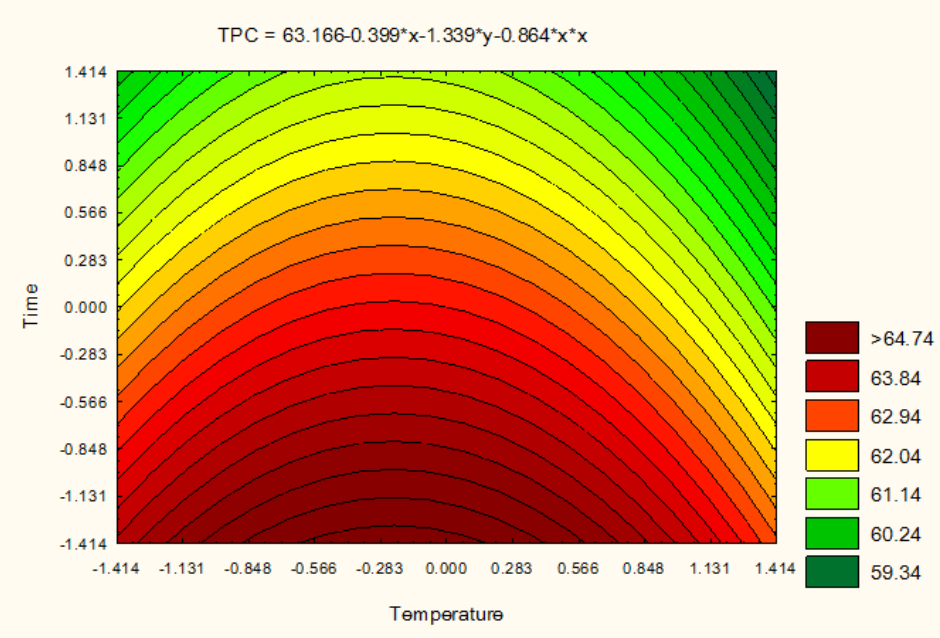
* เป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วิเคราะห์กับค่ารหัสของ X_1 และ X_2



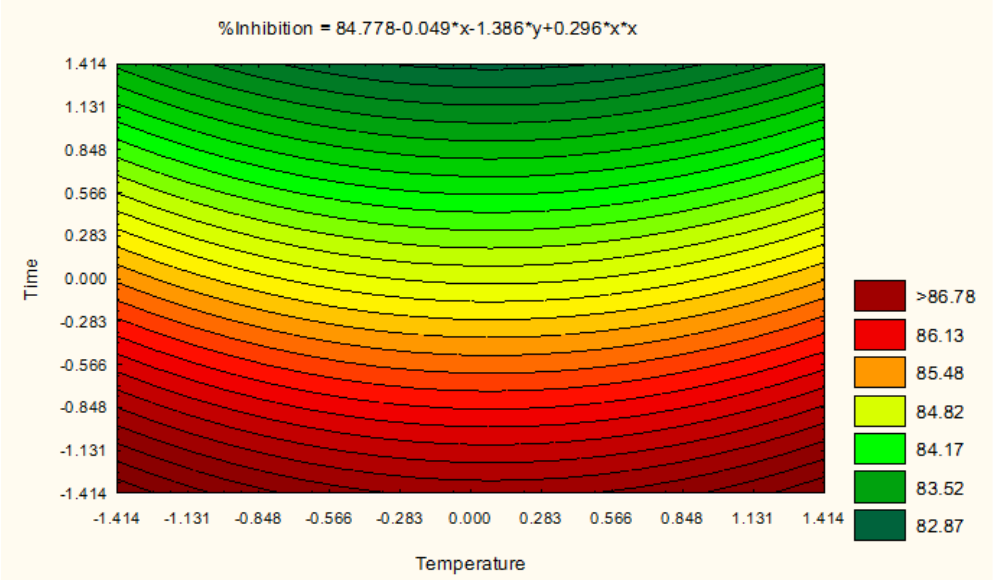
ภาพที่ 4-6 พื้นผิวการตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณความชื้น (MC) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสกับอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาการทำแห้ง (ค่ารหัส) ของตู้อบลมร้อน



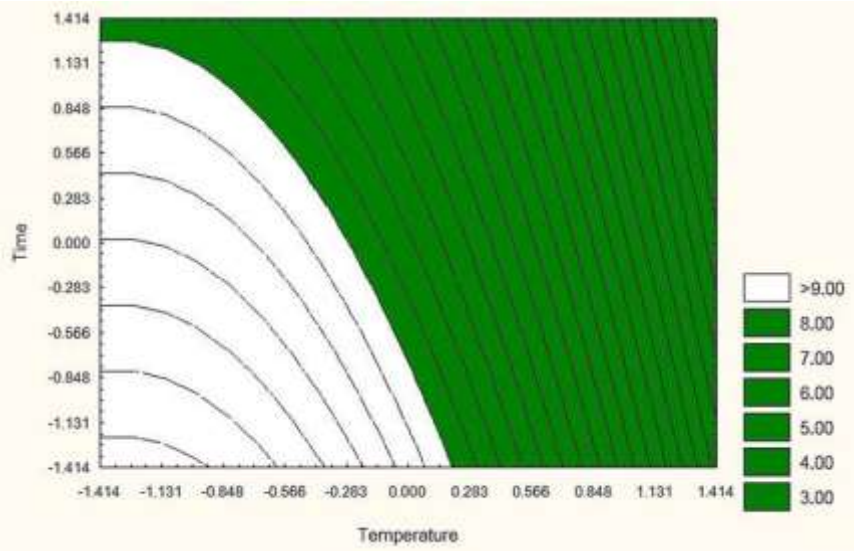
ภาพที่ 4-7 พื้นผิวการตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณแอนโทไซยานิน (AC) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสกับอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาการทำแห้ง (ค่ารหัส) ของตู้อบลมร้อน



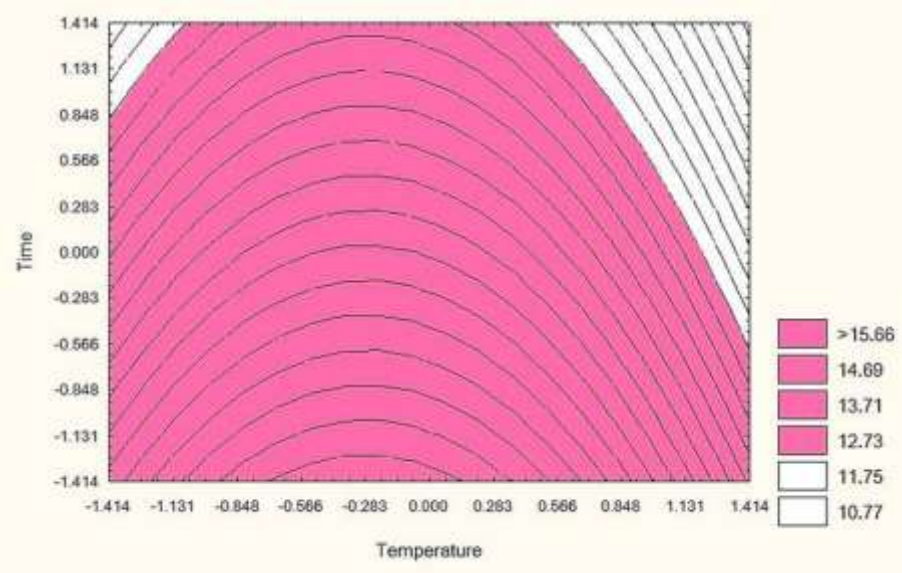
ภาพที่ 4-8 พื้นผิวการตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสกับอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาการทำแห้ง (ค่ารหัส) ของตู้อบลมร้อน



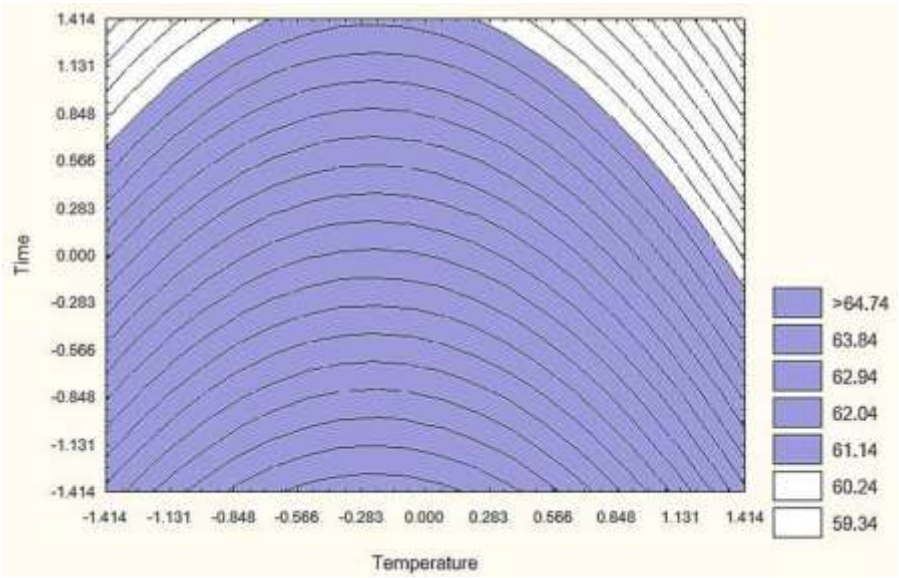
ภาพที่ 4-9 พื้นผิวการตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสกับอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาการทำแห้ง (ค่ารหัส) ของตู้อบลมร้อน



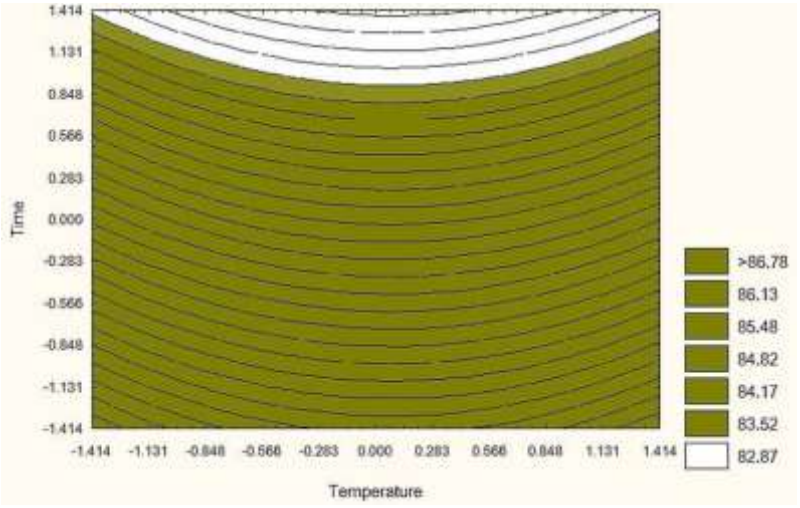
ภาพที่ 4-10 พื้นผิวการตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณความชื้น (MC) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสกับอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาการทำแห้ง โดยส่วนที่แรเงา หมายถึงมีปริมาณความชื้นตามที่กำหนดไว้คือ ต่ำกว่า 8 กรัม/100 กรัม



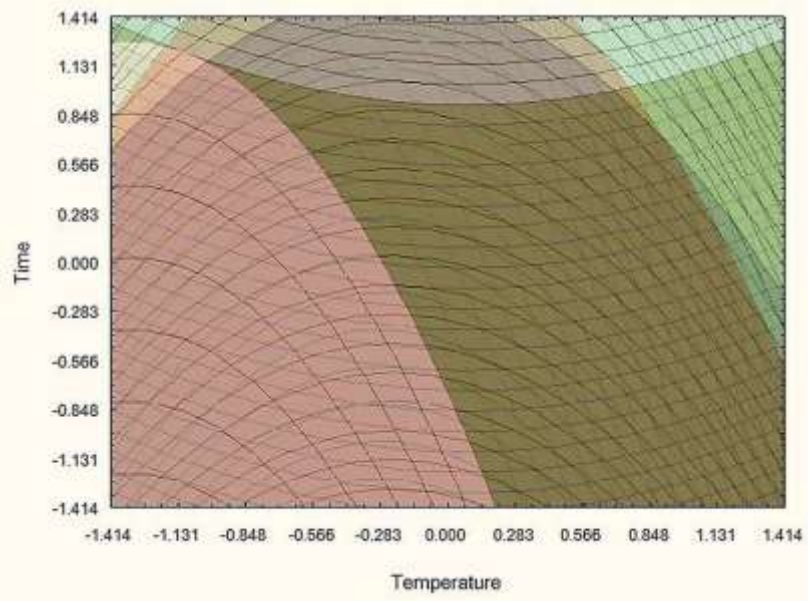
ภาพที่ 4-11 พื้นผิวการตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณแอนโทไซยานิน (AC) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสกับอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาการทำแห้ง โดยส่วนที่แรเงาหมายถึงมีปริมาณแอนโทไซยานินตามที่กำหนดไว้ คือ ไม่ต่ำกว่า 12.73 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/100 กรัม น้ำหนักแห้ง



ภาพที่ 4-12 พื้นผิวการตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสกับอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาการทำแห้งโดยส่วนที่แรเงา หมายถึงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดตามที่กำหนดไว้คือ ต้องไม่ต่ำ กว่า 61.14 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง



ภาพที่ 4-13 พื้นผิวการตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสกับอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาการทำแห้ง โดยส่วนที่แรเงาหมายถึงมี %Inhibition ตามที่กำหนดไว้ คือ ต้องไม่ต่ำกว่า 83.52%



ภาพที่ 4-14 การซ้อนทับของพื้นที่การตอบสนองที่ทำให้ได้ค่าคุณภาพของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสตามที่ได้กำหนดไว้ โดยจุดที่ 1-5 แสดงจุดมุม และจุดที่ 6 แสดงจุดกึ่งกลางของพื้นที่ที่ได้จากการซ้อนทับกัน ในการคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้ง พิจารณาที่จุดมุมและจุดกึ่งกลางของพื้นที่ที่ได้จากการซ้อนทับกัน ในการทดลองนี้ได้จุดมุม 5 จุด และจุดกึ่งกลาง 1 จุด รวมได้ 6 สภาวะโดยมีค่าที่ได้จากกราฟและค่าที่ใช้จริงที่ได้จากการปรับค่าเพื่อให้เกิดความสะดวกในการดา เนินการทดลองจริง แสดงดังตารางที่ 4-22

ตารางที่ 4-22 สภาวะอุณหภูมิการทำแห้ง และเวลาการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนทั้งค่าที่ได้จากกราฟและค่าที่ใช้จริงที่จุดมุม (สิ่งทดลองที่ 1-5) และจุดกึ่งกลาง (สิ่งทดลองที่ 6) ของพื้นที่ที่ได้จากการซ้อนทับกันของกราฟพื้นที่ผิวการตอบสนอง เมื่อกำหนดให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสมีคุณภาพตามที่กำหนดไว้

สิ่งทดลองที่	อุณหภูมิการทำแห้ง (องศาเซลเซียส)			เวลาการทำแห้ง (นาที)		
	ค่าที่ได้จากกราฟ		ค่าที่ใช้จริง	ค่าที่ได้จากกราฟ		ค่าที่ใช้จริง
	ค่ารหัส	ค่าจริง		ค่ารหัส	ค่าจริง	
1	0.195	61.38	62.00	-1.414	300.00	300.00
2	-1.007	52.88	53.00	1.149	408.74	409.00
3	0.708	65.00	65.00	0.990	401.99	402.00
4	1.414	70.00	70.00	-0.601	334.48	334.00
5	1.414	70.00	70.00	-1.414	300.00	300.00
6	0.212	61.50	62.00	-0.141	354.50	354.00

ตารางที่ 4-23 ค่าคุณภาพปริมาณความชื้น (MC) ปริมาณแอนโทไซยานิน (AC) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่สภาวะต่างๆ

สิ่งทดลอง	ค่ารหัส		ค่าจริง			ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	X_1	X_2	อุณหภูมิการทำแห้ง (องศาเซลเซียส)	เวลาการทำแห้ง (นาที)	ปริมาณMC (กรัม/100 กรัม)	ปริมาณAC (มิลลิกรัมCyn-3-Glu/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	ปริมาณTPC (มิลลิกรัมกรดแกลลิ/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	%Inhibition
1	0.283	-1.414	62.00	300.00	$7.81^{ab} \pm 0.02$	$15.35^{ab} \pm 0.35$	$64.38^{a} \pm 0.32$	$86.26^{a} \pm 0.16$
2	-0.990	1.155	53.00	409.00	$7.94^{a} \pm 0.01$	$14.68^{ab} \pm 0.99$	$61.10^{c} \pm 0.96$	$84.96^{bc} \pm 0.04$
3	0.708	0.990	65.00	402.00	$5.04^{d} \pm 0.07$	$14.28^{b} \pm 0.70$	$60.64^{c} \pm 0.23$	$84.45^{c} \pm 0.43$
4	1.414	-0.613	70.00	334.00	$4.78^{e} \pm 0.09$	$14.28^{b} \pm 0.90$	$63.14^{b} \pm 0.24$	$85.47^{ab} \pm 0.28$
5	1.414	-1.414	70.00	300.00	$5.63^{c} \pm 0.05$	$15.58^{a} \pm 0.35$	$63.33^{b} \pm 0.49$	$84.45^{c} \pm 0.79$
6	0.283	-0.141	62.00	354.00	$7.76^{b} \pm 0.04$	$14.88^{ab} \pm 0.42$	$63.27^{b} \pm 0.63$	$85.08^{bc} \pm 0.71$
Control	-	-	60.00	360.00	$7.77^{b} \pm 0.30$	$12.73^{c} \pm 0.36$	$61.14^{c} \pm 0.45$	$83.52^{d} \pm 0.56$

a,b,c,... คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

Control คือ ผงใยอาหารที่ได้จากการทำแห้งอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส 360 นาที (สภาวะการทำแห้งเดิม)

จากการดำเนินการผลิตผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสโดยใช้การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนทดลองตามสภาวะที่เลือกไว้ จำนวน 6 สภาวะ เปรียบเทียบกับ Control ซึ่งหมายถึงการผลิตผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสโดยใช้การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 360 นาที แล้วนำผงใยอาหารที่ผลิตได้มาวิเคราะห์คุณภาพ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-23

จากการคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) พบว่าสมการ MC AC TPC และ DPPH มีค่า RMS เท่ากับ 15.07% 10.26% 1.12% และ 1.62% ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4-24 4-25 4-26 และ 4-27 ตามลำดับ

ตารางที่ 4-24 ผลการทวนสอบความแม่นยำ ของสมการจากการพิจารณาค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Yex) ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Ypred) และผลการคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ของปริมาณความชื้น

Yex	Ypred	Residual (Yex - Ypred)
7.81	7.80	0.01
7.94	7.97	-0.03
5.04	5.29	-0.25
4.78	3.93	0.85
5.63	4.41	1.22
7.76	7.04	0.72
RMS (%)		15.07

ตารางที่ 4-25 ผลการทวนสอบความแม่นยำ ของสมการจากการพิจารณาค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Yex) ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Ypred) และผลการคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ของปริมาณแอนโทไซยานิน

Yex	Ypred	Residual (Yex - Ypred)
15.35	16.26	-0.91
14.68	13.15	1.53
14.28	12.86	1.42
14.28	12.74	1.53
15.58	13.65	1.93
14.88	14.82	0.06
	RMS (%)	10.26

ตารางที่ 4-26 ผลการทวนสอบความแม่นยำ ของสมการจากการพิจารณาค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Yex) ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Ypred) และผลการคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

Yex	Ypred	Residual (Yex - Ypred)
64.38	64.88	-0.50
61.10	61.17	-0.07
60.64	61.13	-0.48
63.14	61.70	1.44
63.33	62.77	0.56
63.27	63.17	0.10
RMS (%)		1.12

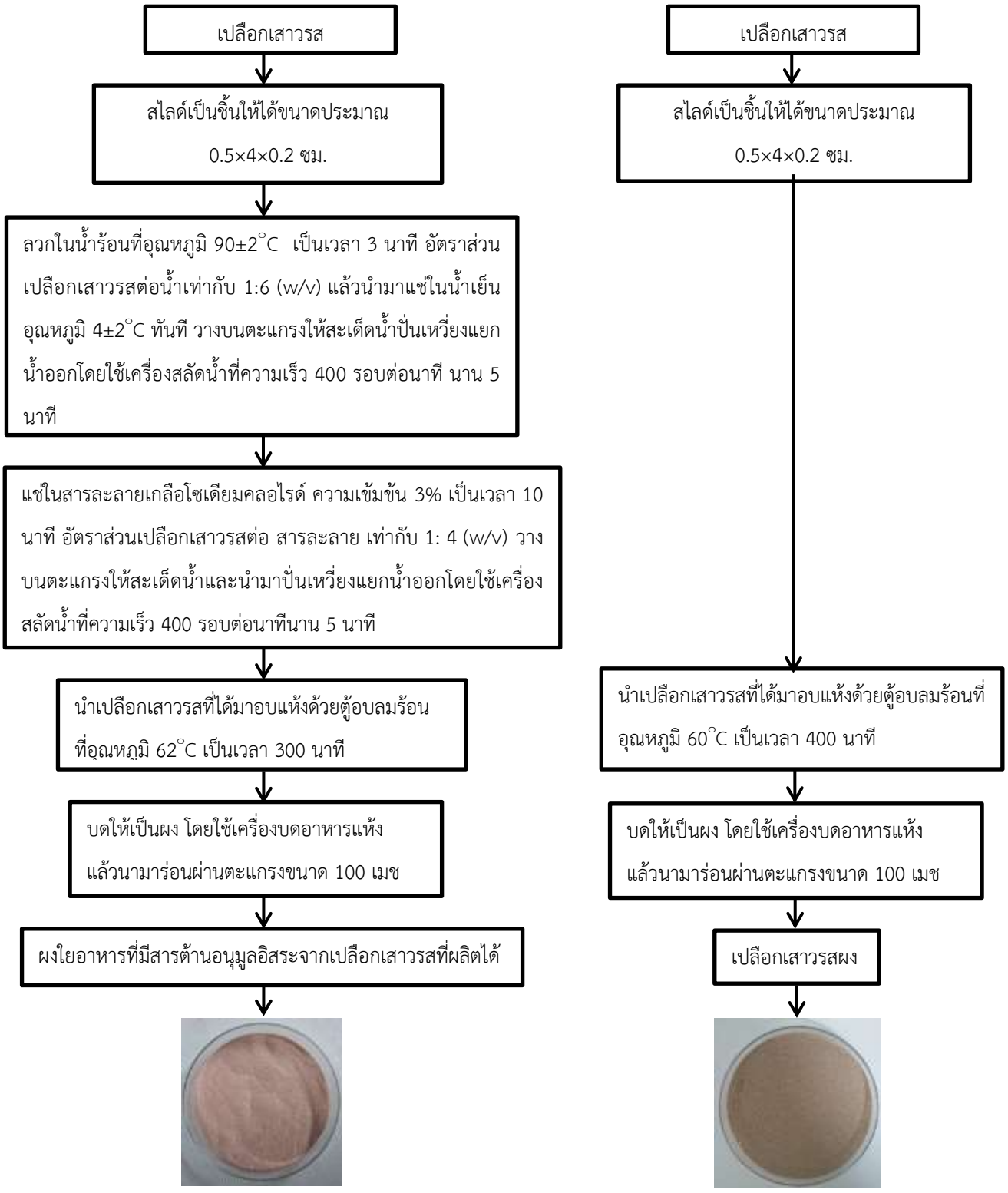
ตารางที่ 4-27 ผลการทวนสอบความแม่นยำ ของสมการจากการพิจารณาค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Yex) ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Ypred) และผลการคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ของสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition)

Yex	Ypred	Residual (Yex - Ypred)
86.10	86.75	-0.65
84.96	83.52	1.45
84.45	83.52	0.93
85.47	86.15	-0.68
84.45	87.26	-2.81
85.08	84.98	0.10
RMS (%)		1.62

4.4 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับเปลือกเสาวรสผง

ในขั้นตอนนี้เป็นการเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมี กายภาพ และสมบัติเชิงหน้าที่ของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ผลิตได้กับเปลือกเสาวรสผง โดยทั้งสองสิ่งทดลองนี้ ผ่านกระบวนการผลิตเป็นผงที่แตกต่างกัน แสดงดังภาพที่ 4-15 ผลการวิเคราะห์คุณภาพแสดงดังตารางที่ 4-28 ถึง 4-31

สำหรับผลการวิเคราะห์ปริมาณผลได้ (Yield)ค่าวอเตอร์แอคติวิตี ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ (ความชื้น โปรตีน ไขมัน กากใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำและปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ) ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระแสดงดังตารางที่ 4-28 ค่าสี (L* a* b* Hue angle Chroma และ ΔE) แสดงดังตาราง 4-29



(ก) (ข)

ภาพที่ 4-15 แผนภาพกระบวนการผลิตผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ ผลิตได้ (ก) และเปลือกเสาวรสผง (ข)

ตารางที่ 4-28 ค่าคุณภาพทางเคมีกายภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ผลิตได้และเปลือกเสาวรสผง

ค่าคุณภาพ	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ผลิต	เปลือกเสาวรสผง
ปริมาณผลได้ (%)	12.01^{b} ± 0.18	18.52^{a} ± 0.36
ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้^{ns}	0.241 ± 0.014	0.237 ± 0.004
องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ		
ปริมาณความชื้น (กรัม/100 กรัม)	7.69^{a} ± 0.06	7.33^{b} ± 0.06
ปริมาณโปรตีน(กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	4.00^{b} ± 0.19	5.98^{a} ± 0.23
ปริมาณไขมัน^{ns} (กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	0.91 ± 0.10	0.96 ± 0.13
ปริมาณกากใย(กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	34.47^{b} ± 1.42	37.16^{a} ± 1.13
ปริมาณเถ้า(กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	17.50^{a} ± 0.81	8.53^{b} ± 0.29
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต(กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	43.12^{b} ± 0.95	47.37^{a} ± 1.31
ปริมาณนาตาลทั้งหมด (กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	3.18^{b} ± 0.08	7.16^{a} ± 0.24
ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	82.33^{a} ± 2.53	73.59^{b} ± 3.59
ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ^{ns}	16.32 ± 1.87	14.56 ± 1.95
ปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ	66.00^{a} ± 1.94	59.03^{b} ± 2.32
ปริมาณแอนโทไซยานิน	17.09^{a} ± 1.30	8.30^{b} ± 0.37
(มิลลิกรัมCyn-3-Glu/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)		
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด	65.38^{b} ± 0.55	73.93^{a} ± 1.43
(มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)		
สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition)	87.89^{b} ± 0.14	89.12^{a} ± 0.60

a,b คือ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ns คือ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

จากการวิเคราะห์สมบัติเชิงหน้าที่ของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับเปลือกเสาวรสผง ได้แก่ ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity : WHC) ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (Oil Holding Capacity : OHC) ความสามารถในการพองตัว (Swelling Capacity : SWC) และความสามารถในการชะลอการดูดซับ น้ำตาล (Glucose Retardation Index : GRI) แสดงดังตารางที่ 4-30

ตารางที่ 4-29 ค่าสีของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ผลิตได้และเปลือกเสาวรสผง

ค่าสี	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ผลิตได้	เปลือกเสาวรสผง
L*	69.22^{a} ± 0.90	64.57^{b} ± 0.90
a*	9.87^{a} ± 0.41	7.32^{b} ± 1.00
b*	12.83^{b} ± 0.16	21.19^{a} ± 0.21
Hue angle	52.42^{b} ± 0.39	70.93^{a} ± 0.38
Chroma	16.18^{b} ± 0.12	22.42^{a} ± 0.18
$\Delta E^{\#}$	9.97^{a} ± 0.14	-

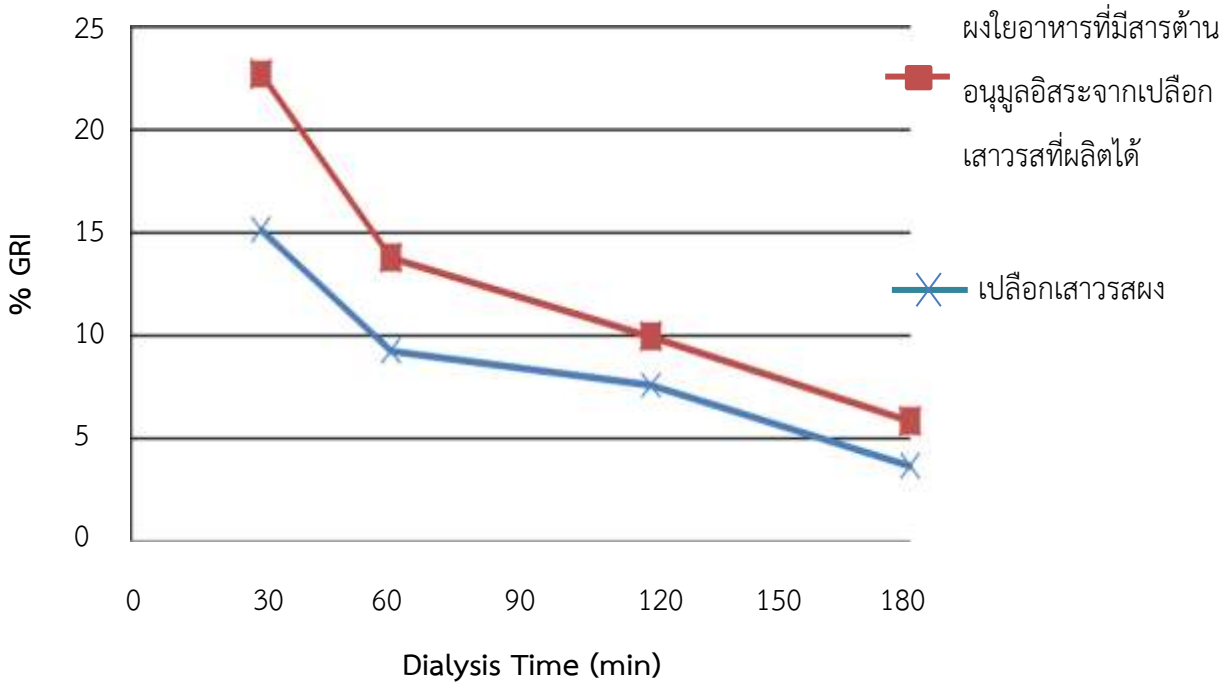
a,b คือ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

คำนวณค่า ΔE เมื่อเปรียบเทียบกับเปลือกเสาวรสผง

ตารางที่ 4-30 สมบัติเชิงหน้าที่ของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ผลิตได้ และเปลือกเสาวรสผง

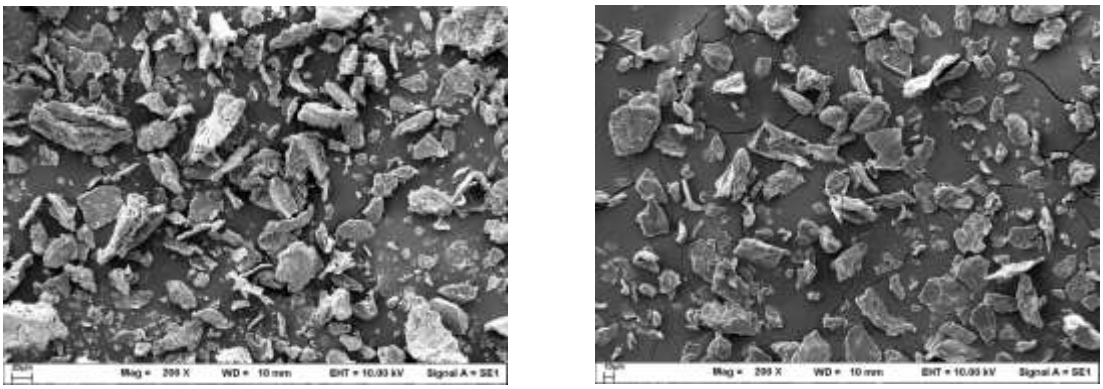
สมบัติเชิงหน้าที่	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ผลิตได้	เปลือกเสาวรสผง
ความสามารถในการอุ้มน้ำ (กรัมน้ำ/กรัม น้ำหนักแห้ง)	18.51^{a} ± 0.21	17.97^{b} ± 0.24
ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (กรัมน้ำมัน/กรัม น้ำหนักแห้ง)	3.58^{a} ± 0.12	2.84^{b} ± 0.20
ความสามารถในการพองตัว (มิลลิลิตร/กรัม น้ำหนักแห้ง)	23.13^{a} ± 0.74	18.67^{b} ± 1.13
ความสามารถในการชะลอการดูดซับน้ำตาล (%GRI)		
ที่เวลา Dialysis 30 นาที	22.72^{a} ± 2.03	15.14^{b} ± 1.47
ที่เวลา Dialysis 60 นาที	13.78^{a} ± 0.80	9.24^{b} ± 1.22
ที่เวลา Dialysis 120 นาที	9.96^{a} ± 0.83	7.58^{b} ± 0.83
ที่เวลา Dialysis 180 นาที	5.82^{a} ± 1.50	3.67^{b} ± 1.03

a,b คือ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



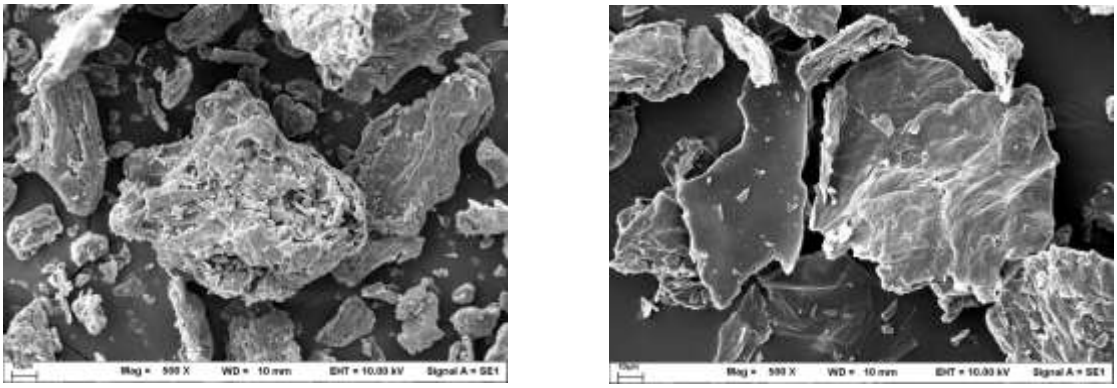
ภาพที่ 4-16 Glucose retardation index (GRI) ของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ผลิตได้ และเปลือกเสาวรสผงที่เวลา Dialysis ต่าง ๆ

สำหรับโครงสร้างทางจุลภาค เมื่อทำการถ่ายภาพผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับเปลือกเสาวรสผง ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่กำลังขยาย 200 เท่า แสดงดังภาพที่ 4-17 และที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงดังภาพที่ 4-18 และสาหรับผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา แสดงดังตารางที่ 4-31



(ก) (ข)

ภาพที่ 4-17 โครงสร้างทางจุลภาคที่กำลังขยาย 200 เท่าของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ผลิตได้ (ก) และเปลือกเสาวรสผง (ข)



(ก) (ข)

ภาพที่ 4-18 โครงสร้างทางจุลภาค ที่กำลังขยาย 500 เท่า ของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ผลิตได้ (ก) และเปลือกเสาวรสผง (ข)

ตารางที่ 4-31 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา (โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม) ของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ผลิตได้ และเปลือกเสาวรสผง

	ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ผลิตได้	เปลือกเสาวรสผง
ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด	4.5×10^{2}	6.0×10^{2}
ปริมาณยีสต์และรา	$<1.0 \times 10^{1}$	$<1.0 \times 10^{1}$

4.5 ผลการศึกษาการใช้ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสเป็นส่วนผสมของอาหารจำลองสาหรับผู้สูงอายุ

4.5.1 ผลของปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและอุณหภูมิในการเตรียมต่อคุณภาพของน้ำเสาวรสพร้อมดื่ม

จากการแปรปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส (1% 2% 3% 4% และ 5%) และอุณหภูมิในการเตรียม (อุณหภูมิห้อง (28 ±2 องศาเซลเซียส) และ 60±1 องศาเซลเซียส) จัดสิ่งทดลองแบบ Factorial 5×2ได้เป็น 10 สิ่งทดลองผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของคุณภาพทางเคมีกายภาพของน้ำเสาวรสพร้อมดื่มได้แก่ ค่าสี (L* a* b* Hue angle Chroma และ ΔE) ค่าความหนืด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด สรุปได้ดังตารางที่ 4-32 ลักษณะปรากฏของน้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่ไม่มีการเติมผงใยอาหาร (Control) และน้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่เติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส แสดงดังภาพที่ 4-19 สำหรับผลการวิเคราะห์ค่าสี L* a* b* Hue angle Chroma และ ΔE รวมถึงค่าความหนืดและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด แสดงดังตารางที่ 4-33 และ 4-34 ตามลำดับ

ตารางที่ 4-32 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคุณภาพทางเคมีกายภาพของน้ำเสาวรสพร้อมดื่มเมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส (ADFP) และอุณหภูมิในการเตรียม (TEMP)

ค่าคุณภาพ	ADFP#	TEMP	ADFP*TEMP
L*	sig	sig	sig
a*	sig	sig	sig
b*	sig	sig	sig
Hue angle	sig	ns	sig
Chroma	sig	sig	sig
ΔE	sig	sig	sig
ความหนืด	sig	sig	sig
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด	sig	sig	sig

sig หมายถึง ปัจจัยที่ศึกษามีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ns หมายถึง ปัจจัยที่ศึกษาไม่มีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ADFP มาจาก Antioxidant dietary fiber powder

ก) Control

ข) ผงใยอาหาร 1%, 28±2°C

ค) ผงใยอาหาร 2%, 28±2°C

ง) ผงใยอาหาร 3%, 28±2°C

จ) ผงใยอาหาร 4%, 28±2°C

ฉ) ผงใยอาหาร 5%, 28±2°C

ช) ผงใยอาหาร 1%, 60±1°C

ซ) ผงใยอาหาร 2%, 60±1°C

ฌ) ผงใยอาหาร 3%, 60±1°C

ญ) ผงใยอาหาร 4%, 60±1°C

ฎ) ผงใยอาหาร 5%, 60±1°C

ภาพที่ 4-19 ลักษณะปรากฏของน้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่ไม่มีการเติมผงใยอาหาร (Control) (ก) และน้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่ใช้อุณหภูมิการเตรียม 28±2°C โดยเติมปริมาณผงใยอาหาร 1% (ข) ผงใยอาหาร 2% (ค) ผงใยอาหาร 3% (ง) ผงใยอาหาร 4% (จ) ผงใยอาหาร 5% (ฉ) รวมทั้งน้ำสาวรสพร้อมดื่มที่ใช้อุณหภูมิการเตรียม 60±1°C โดยเติมปริมาณผงใยอาหาร 1% (ช) ผงใยอาหาร 2% (ซ) ผงใยอาหาร 3% (ฌ) ผงใยอาหาร 4% (ญ) ผงใยอาหาร 5% (ฎ)

ตารางที่ 4-33 ค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ค่าเฉดสี (Hue angle) ค่าความเข้มของสี (Chroma) และค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE) ของน้ำเสาวรสพร้อมดื่ม เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส และอุณหภูมิการเตรียม

สิ่งทดลอง	ปริมาณผงใยอาหาร (%)	อุณหภูมิการเตรียม (องศาเซลเซียส)	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน					
			L*	a*	b*	Hue angle	Chroma	$\Delta E^{\#}$
1	1	อุณหภูมิห้อง (28 ± 2)	30.74^{j} ± 0.02	3.06^{j} ± 0.22	20.68^{f} ± 0.50	81.58^{a} ± 0.77	20.90^{f} ± 0.47	10.57^{j} ± 0.04
2	2		36.37^{g} ± 0.02	6.50^{h} ± 0.18	27.72^{ab} ± 0.09	76.80^{b} ± 0.34	28.47^{bc} ± 0.11	19.23^{g} ± 0.09
3	3		37.80^{d} ± 0.03	9.64^{e} ± 0.07	28.09^{a} ± 0.35	71.06^{d} ± 0.33	29.69^{a} ± 0.31	21.83^{d} ± 0.15
4	4		37.91^{c} ± 0.01	10.78^{c} ± 0.24	27.73^{ab} ± 0.69	68.75^{e} ± 0.92	29.75^{a} ± 0.55	22.32^{c} ± 0.16
5	5		40.51^{a} ± 0.01	11.15^{b} ± 0.06	26.22^{d} ± 0.24	66.97^{f} ± 0.25	28.50^{bc} ± 0.21	23.97^{a} ± 0.07
6	1	60 ± 1	31.80^{i} ± 0.01	3.28^{i} ± 0.06	24.59^{e} ± 0.22	82.41^{a} ± 0.17	24.81^{e} ± 0.21	12.95^{i} ± 0.10
7	2		34.85^{h} ± 0.02	8.05^{g} ± 0.11	26.78^{cd} ± 0.19	73.27^{c} ± 0.28	27.97^{c} ± 0.17	18.25^{h} ± 0.08
8	3		37.19^{f} ± 0.01	8.95^{f} ± 0.08	27.34^{bc} ± 0.21	71.88^{d} ± 0.24	28.77^{b} ± 0.19	20.71^{f} ± 0.08
9	4		37.61^{e} ± 0.02	9.94^{d} ± 0.13	26.48^{d} ± 0.14	69.43^{e} ± 0.18	28.28^{bc} ± 0.17	21.16^{e} ± 0.11
10	5		38.47^{b} ± 0.02	11.53^{a} ± 0.25	26.23^{d} ± 0.32	66.26^{f} ± 0.71	28.65^{b} ± 0.20	22.56^{b} ± 0.05
Control	-	-	21.05 ± 0.04	-0.51 ± 0.13	18.45 ± 0.33	91.59 ± 0.40	18.45 ± 0.33	-

a,b,c,... คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

คำนวณค่า ΔE เมื่อเปรียบเทียบกับ Control

Control คือ น้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่ไม่มีการเติมผงใยอาหาร

ตารางที่ 4-34 ค่าความหนืด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำเสาวรสพร้อมดื่ม เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส และอุณหภูมิการเตรียม

สิ่งทดลอง	ปริมาณผงใยอาหาร (%)	อุณหภูมิการเตรียม (องศาเซลเซียส)	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
			ความหนืด (cP)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ($^{\circ}$Brix)
1	1	อุณหภูมิห้อง (28 ± 2)	9.82^{h} ± 0.08	17.47^{g} ± 0.12
2	2		14.62^{g} ± 0.28	17.73^{f} ± 0.12
3	3		29.48^{f} ± 0.10	18.53^{c} ± 0.12
4	4		60.34^{d} ± 0.14	18.60^{bc} ± 0.00
5	5		211.45^{b} ± 2.50	18.60^{bc} ± 0.00
6	1	60 ± 1	10.66^{h} ± 0.27	18.13^{e} ± 0.12
7	2		13.64^{g} ± 0.33	18.33^{d} ± 0.12
8	3		31.37^{e} ± 0.16	18.73^{b} ± 0.12
9	4		100.38^{c} ± 1.15	19.60^{a} ± 0.00
10	5		220.62^{a} ± 1.61	19.60^{a} ± 0.00
Control	-	-	6.07 ± 0.20	17.00 ± 0.00

a,b,c,... คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

Control คือ น้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่ไม่มีการเติมผงใยอาหาร

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Quantitative Descriptive Analysis (QDA) โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 8 คน ซึ่งร่วมกันคิดคำศัพท์ที่ใช้อธิบายคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่าง และคัดเลือกคำศัพท์เพื่อใช้ในการประเมินผลทางประสาทสัมผัส โดยคัดเลือกคำศัพท์ได้ 7 คำศัพท์ ได้แก่ สีส้มแดง การตกตะกอน กลิ่นเสาวรส รสหวาน รสเปรี้ยว ความหนืดในปาก และความสากลิ้น แสดงดังตารางที่ 4-35 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) สำหรับคะแนนความเข้มคุณลักษณะน้ำเสาวรสพร้อมดื่มจากการประเมินด้วยวิธี QDA สรุปได้ดังตารางที่ 4-36 สำหรับผลการประเมินทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี QDA แสดงดังตารางที่ 4-37

ผลการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Scoring Test โดยใช้ผู้ทดสอบกึ่งฝึกฝน จำนวน 30 คน โดยเสนอตัวอย่างน้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่เตรียมได้ จากนั้นประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัส โดยวิธีการให้คะแนนตามความหมายที่กำหนด 1 คะแนน คือ ความเข้มคุณลักษณะนั้นน้อยที่สุด และ 5 คะแนน คือ ความเข้มคุณลักษณะนั้นมากที่สุด เสนอตัวอย่างครั้งละ 5 ตัวอย่างโดยคุณลักษณะที่ทดสอบได้แก่ การตกตะกอน ความหนืดในปาก ความสากลิ้น และความง่ายในการกลืน ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) สา หรับคะแนนความเข้มคุณลักษณะน้ำเสาวรสพร้อมดื่มจากการประเมินด้วยวิธี Scoring Test สรุปได้ดังตารางที่ 4-38 และผลการประเมินความเข้มคุณลักษณะจากการประเมินทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Scoring Test แสดงดังตารางที่ 4-39

สำหรับผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale โดยใช้ผู้ทดสอบเป็นผู้สูงอายุ (อายุตั้งแต่ 60 ปี ขึ้นไป) จำนวน 30 คน โดยเสนอตัวอย่างน้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่คัดเลือกได้จำนวน 5 ตัวอย่าง โดยวิธีการให้คะแนนความชอบตามความหมายที่กำหนด 1 คะแนนคือ ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คะแนน คือ ชอบมากที่สุด ประเมินความชอบด้านลักษณะปรากฏ สีกลิ่น รสชาติ ความง่ายในการกลืน และความชอบโดยรวม ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) สำหรับคะแนนความชอบน้ำเสาวรสพร้อมดื่มจากการประเมินด้วยวิธี 9-point hedonic scale สรุปได้ดังตารางที่ 4-40 และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale แสดงดังตารางที่ 4-41

ตารางที่ 4-35 คำศัพท์ ความหมาย และการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี QDA

คำศัพท์	ความหมาย	การทดสอบ
สีส้มแดง	สีส้มแดงของน้ำเสาวรสพร้อมดื่ม	ผู้ทดสอบพิจารณาดูความเข้มสีส้มของน้ำเสาวรสพร้อมดื่ม
การตกตะกอน	ลักษณะตะกอนของผงใยอาหารในน้ำเสาวรสพร้อมดื่ม	ผู้ทดสอบพิจารณาลักษณะปรากฏด้านการตกตะกอนของผงใยอาหารในน้ำเสาวรสพร้อมดื่ม
กลิ่นเสาวรส	กลิ่นเสาวรสของน้ำเสาวรสพร้อมดื่ม	ผู้ทดสอบพิจารณาความเข้มกลิ่น โดยการดมกลิ่นเสาวรสในน้ำเสาวรสพร้อมดื่ม
รสหวาน	รสหวานของน้ำเสาวรสพร้อมดื่ม	ผู้ทดสอบพิจารณารสหวาน โดยการชิมน้ำเสาวรสพร้อมดื่ม และประเมินความเข้มของรสหวาน
รสเปรี้ยว	รสเปรี้ยวของน้ำเสาวรสพร้อมดื่ม	ผู้ทดสอบพิจารณารสเปรี้ยวโดยการชิมน้ำเสาวรสพร้อมดื่ม และประเมินความเข้มของรสเปรี้ยว
ความหนืดในปาก	ความหนืดของน้ำเสาวรสพร้อมดื่ม	ผู้ทดสอบพิจารณาความหนืด เมื่อน้ำเสาวรสอยู่ในปากก่อนการกลืน
ความสากลิ้น	ความรู้สึกสากลิ่น เมื่อนาเสาวรสพร้อมดื่มอยู่ในปากจนกระทั่งกลืน	ไม่กำหนดสภาวะในทดสอบ ผู้ทดสอบสามารถประเมินความสากลิ้นที่เวลาใดๆ ระหว่างการรับประทานน้ำเสาวรสพร้อมดื่ม

ตารางที่ 4-36 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเข้มคุณลักษณะน้ำเสาวรสพร้อมดื่มจากการทดสอบโดยวิธี QDA เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส (ADFP) และอุณหภูมิการเตรียม (TEMP)

คุณลักษณะ	ADFP[#]	TEMP	ADFP*TEMP
สีส้มแดง	sig	sig	sig
การตกตะกอน	sig	sig	sig
กลิ่นเสาวรส	sig	ns	ns
รสหวาน	sig	sig	ns
รสเปรี้ยว	sig	sig	sig
ความหนืดในปาก	sig	ns	sig
ความสากลิ้น	sig	sig	sig

sig หมายถึง ปัจจัยที่ศึกษามีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ns หมายถึง ปัจจัยที่ศึกษาไม่มีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ADFP มาจาก Antioxidant dietary fiber powder

ตารางที่ 4-37 ค่าความเข้มของคุณลักษณะจากการทดสอบโดยวิธี QDA ของน้ำเสาวรสพร้อมดื่ม เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส และอุณหภูมิการเตรียม

สิ่งทดลอง	ปริมาณผงใยอาหาร (%)	อุณหภูมิการเตรียม (องศาเซลเซียส)	สีส้มแดง	การตกตะกอน	ค่าเฉลี่ย* ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน				
					กลิ่นเสาวรส^{ns}	รสหวาน^{ns}	รสเปรี้ยว	ความหนืดในปาก	ความสากลิ้น
1	1	อุณหภูมิห้อง (28 ± 2)	2.94^{j} ± 0.07	2.95^{j} ± 0.05	12.31 ± 0.17	3.00 ± 0.00	6.53^{a} ± 0.02	3.84^{g} ± 0.01	1.75^{g} ± 0.24
2	2		4.41^{h} ± 0.18	4.52^{g} ± 0.04	12.31 ± 0.17	3.94 ± 0.20	5.50^{c} ± 0.19	4.70^{f} ± 0.06	4.73^{f} ± 0.14
3	3		6.47^{e} ± 0.16	5.70^{f} ± 0.09	12.31 ± 0.11	4.06 ± 0.20	5.34^{c} ± 0.13	6.32^{e} ± 0.23	6.26^{d} ± 0.18
4	4		7.62^{d} ± 0.13	8.14^{d} ± 0.09	12.44 ± 0.22	4.47 ± 0.10	4.11^{e} ± 0.13	7.41^{d} ± 0.19	6.92^{bc} ± 0.07
5	5		12.27^{b} ± 0.58	10.77^{b} ± 0.18	12.56 ± 0.19	4.56 ± 0.19	4.14^{e} ± 0.06	12.23^{a} ± 0.29	7.90^{a} ± 0.17
6	1	60 ± 1	2.38^{j} ± 0.27	2.08^{j} ± 0.12	12.27 ± 0.14	3.28 ± 0.11	5.93^{b} ± 0.16	3.17^{h} ± 0.21	1.44^{g} ± 0.11
7	2		4.67^{g} ± 0.07	4.50^{h} ± 0.27	12.40 ± 0.20	3.90 ± 0.20	4.00^{ef} ± 0.03	4.83^{f} ± 0.04	4.94^{f} ± 0.32
8	3		5.75^{f} ± 0.13	6.52^{e} ± 0.14	12.40 ± 0.25	4.19 ± 0.20	3.81^{f} ± 0.15	7.28^{d} ± 0.04	5.58^{e} ± 0.35
9	4		11.32^{c} ± 0.17	8.67^{c} ± 0.14	12.42 ± 0.24	4.50 ± 0.01	4.45^{d} ± 0.18	8.00^{c} ± 0.07	6.55^{cd} ± 0.05
10	5		13.52^{a} ± 0.38	12.27^{a} ± 0.31	12.46 ± 0.25	4.61 ± 0.03	4.52^{d} ± 0.17	11.81^{b} ± 0.29	7.17^{b} ± 0.36
Control	-	-	0.60 ± 0.12	0.31 ± 0.00	14.73 ± 0.04	3.10 ± 0.13	6.57 0.04	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00

$^{a,b,c,...}$ คือค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p<0.05$)

Control คือน้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่ไม่มีการเติมผงใยอาหาร * คะแนนจากการทดสอบด้วยวิธีQDA คือคะแนนตังแต่ 0-15

ตารางที่ 4-38 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเข้มคุณลักษณะน้ำเสาวรส จากการทดสอบโดยวิธี Scoring Test เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส (ADFP) และอุณหภูมิการเตรียม (TEMP)

ลักษณะ	ADFP[#]	TEMP	ADFP*TEMP
การตกตะกอน	sig	ns	sig
ความหนืดในปาก	sig	ns	sig
ความสากลิ้น	sig	sig	sig
ความง่ายในการกลืน	sig	sig	sig

sig หมายถึง ปัจจัยที่ศึกษามีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ADFP มาจาก Antioxidant dietary fiber powder

ตารางที่ 4-39 ค่าความเข้มของคุณลักษณะจากการทดสอบโดยวิธี Scoring ของน้ำเสาวรสพร้อมดื่ม เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส และอุณหภูมิการเตรียม

สิ่งทดลอง	ปริมาณผงใยอาหาร (%)	อุณหภูมิการเตรียม (องศาเซลเซียส)	การตกตะกอน	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
				ความหนืดในปาก	ความสากลิ้น	ความง่ายในการกลืน
1	1	อุณหภูมิห้อง (28 ± 2)	2.25^{e} ± 0.46	1.75^{f} ± 0.71	2.25^{e} ± 0.46	4.13^{b} ± 0.35
2	2		3.00^{d} ± 0.00	2.25^{ef} ± 0.71	2.88^{d} ± 0.35	3.50^{c} ± 0.53
3	3		3.50^{bcd} ± 0.53	3.25^{bc} ± 0.89	3.88^{b} ± 0.64	2.50^{d} ± 0.53
4	4		4.00^{ab} ± 0.53	3.75^{b} ± 0.89	4.00^{b} ± 0.00	2.13^{d} ± 0.35
5	5		4.50^{a} ± 0.53	4.87^{a} ± 0.35	4.50^{a} ± 0.53	1.00^{e} ± 0.00
6	1	60 ± 1	1.63^{f} ± 0.52	1.00^{g} ± 0.00	1.63^{f} ± 0.52	4.75^{a} ± 0.46
7	2		3.38^{cd} ± 0.52	2.50^{de} ± 0.76	3.00^{cd} ± 0.00	3.38^{c} ± 0.52
8	3		3.38^{cd} ± 0.52	3.00^{cd} ± 0.53	3.38^{c} ± 0.52	3.13^{c} ± 0.35
9	4		3.75^{bc} ± 0.46	3.63^{bc} ± 0.74	3.88^{b} ± 0.35	2.25^{d} ± 0.46
10	5		4.50^{a} ± 0.53	4.87^{a} ± 0.35	4.63^{a} ± 0.52	1.13^{e} ± 0.35

a,b,c,... คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ns คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

* คะแนนจากการทดสอบด้วยวิธี Scoring Test คือคะแนนตั้งแต่ 1-5

ตารางที่ 4-40 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความชอบน้ำเสาวรส เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส (ADFP) และอุณหภูมิการเตรียม (TEMP)

ลักษณะ	ADFP[#]	TEMP	ADFP*TEMP
ความชอบลักษณะปรากฏ	sig	sig	sig
ความชอบสี	ns	ns	sig
ความชอบกลิ่น	sig	ns	sig
ความชอบรสชาติ	ns	sig	sig
ความชอบด้านการกลืน	ns	ns	sig
ความชอบโดยรวม	ns	sig	sig

sig หมายถึง ปัจจัยที่ศึกษามีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ns หมายถึง ปัจจัยที่ศึกษาไม่มีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ADFP มาจาก Antioxidant dietary fiber powder

ตารางที่ 4-41 คะแนนความชอบจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale ของน้ำเสาวรสพร้อมดื่ม เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส และอุณหภูมิการเตรียมที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลองที่	ปริมาณผงใยอาหาร (%)	อุณหภูมิการเตรียม (องศาเซลเซียส)	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน					
			ความชอบลักษณะปรากฏ	ความชอบสี	ความชอบกลิ่น	ความชอบรสชาติ	ความชอบด้านการกลืน	ความชอบโดยรวม
1	1	28±2	6.53^{b} ± 0.90	7.03^{a} ± 1.16	6.80^{a} ± 0.76	7.43^{ab} ± 0.77	7.50^{a} ± 0.78	7.20^{b} ± 0.55
2	2	28±2	6.43^{b} ± 0.82	6.17^{c} ± 1.09	5.97^{b} ± 0.96	6.67^{c} ± 0.84	6.97^{b} ± 0.67	6.83^{b} ± 0.91
3	1	60±1	6.63^{b} ± 0.96	6.37^{bc} ± 0.96	6.60^{a} ± 0.67	7.17^{ab} ± 1.05	7.27^{ab} ± 0.83	7.07^{b} ± 0.69
4	2	60±1	7.30^{a} ± 0.99	6.87^{ab} ± 1.01	6.47^{a} ± 1.14	7.63^{a} ± 1.07	7.33^{ab} ± 1.06	7.60^{a} ± 0.93
5	3	60±1	6.37^{b} ± 1.07	6.53^{abc} ± 0.82	6.77^{a} ± 0.94	7.03^{bc} ± 0.76	7.10^{ab} ± 0.88	7.00^{b} ± 0.64

a,b,c,... คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

4.5.2 ผลของปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ต่อคุณภาพของเต้าหู้เย็น

จากการแปรปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส (2% 4% 6% 8% และ 10%) และการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ (แคปป้า-คาราจีแนน (K-carragenan) 1.0% และวุ้น (Agar) 0.5%) จัดสิ่งทดลองแบบ Factorial 5×2 ได้เป็น 10 สิ่งทดลอง ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของคุณภาพทางกายภาพของเต้าหู้เย็น ได้แก่ ค่าสี (L* a* b* Hue angle, Chroma และ ΔE) และลักษณะเนื้อสัมผัสที่ได้จากการวิเคราะห์ ด้วยวิธี Texture profile analysis (Hardness Adhesiveness Springiness Cohesiveness Gumminess Chewiness และ Resilience) ทั้งหมด สรุปได้ดังตารางที่ 4-42

ตารางที่ 4-42 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคุณภาพทางกายภาพของเต้าหู้เย็น เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส (ADFP) และการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloid) ที่แตกต่างกัน

ค่าคุณภาพ	ADFP#	Hydrocolloid	ADFP# * Hydrocolloid
L*	sig	sig	sig
a*	sig	sig	sig
b*	sig	sig	sig
Hue angle	sig	sig	sig
Chroma	sig	sig	sig
ΔE	sig	sig	sig
Hardness	sig	sig	sig
Adhesiveness	sig	sig	sig
Springiness	ns	sig	sig
Cohesiveness	sig	sig	sig
Gumminess	sig	sig	sig
Chewiness	ns	sig	sig
Resilience	sig	sig	sig

sig หมายถึง ปัจจัยที่ศึกษามีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ns หมายถึง ปัจจัยที่ศึกษาไม่มีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ADFP มาจาก Antioxidant dietary fiber powder

ก) แคปป้า-คาราจีแนน 1.0%

ข) แคปป้า-คาราจีแนน 1.0% ผงใยอาหาร 2%

ค) แคปป้า-คาราจีแนน 1.0% ผงใยอาหาร 4%

ง) แคปป้า-คาราจีแนน 1.0% ผงใยอาหาร 6%

จ) แคปป้า-คาราจีแนน 1.0% ผงใยอาหาร 8%

ฉ) แคปป้า-คาราจีแนน 1.0% ผงใยอาหาร 10%

ช) วุ้น 0.5%

ซ) วุ้น 0.5% ผงใยอาหาร 2%

ฌ) วุ้น 0.5% ผงใยอาหาร 4%

ญ) วุ้น 0.5% ผงใยอาหาร 6%

ฎ) วุ้น 0.5% ผงใยอาหาร 8%

ฏ) วุ้น 0.5% ผงใยอาหาร 10%

ภาพที่ 4-20 ลักษณะปรากฏของเต้าหู้เย็นสูตรแคปป้า-คาราจีแนนที่ไม่มีการเติมผงใยอาหาร (ก) และเต้าหู้เย็นสูตรแคปป้า-คาราจีแนนที่มีการเติมผงใยอาหาร 2% (ข) ผงใยอาหาร 4% (ค) ผงใยอาหาร 6% (ง) ผงใยอาหาร 8% (จ) ผงใยอาหาร 10% (ฉ) รวมทั้งเต้าหู้เย็นสูตรวุ้นที่ไม่มีการเติมผงใยอาหาร (ช) และเต้าหู้เย็นสูตรวุ้นที่มีการเติมผงใยอาหาร 2% (ซ) ผงใยอาหาร 4% (ฌ) ผงใยอาหาร 6% (ญ) ผงใยอาหาร 8% (ฎ) ผงใยอาหาร 10% (ฏ)

ลักษณะปรากฏของเต้าหู้เย็นสูตรแคปป้า-คาราจีแนน ที่ไม่เติมและเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส รวมทั้งเต้าหู้เย็นสูตรวุ้นที่ไม่เติมและเติมผงใยอาหาร ที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส แสดงดังภาพที่ 4-20

สำหรับผลการวิเคราะห์ค่าสี L* a* b* Hue angle Chroma และ ΔE รวมถึงลักษณะเนื้อสัมผัสที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Texture profile analysis (Hardness Adhesiveness Springiness Cohesiveness Gumminess Chewiness และ Resilience) แสดงดังตารางที่ 4-43 ถึง 4-45

ตารางที่ 4-43 ค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ค่าเฉดสี (Hue angle) ค่าความเข้มของสี (Chroma) และค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE) ของเต้าหู้เย็น เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์

สิ่งทดลอง	ปริมาณใยอาหารผง (%)	การใช้สารไฮโดรคอลลอยด์	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน					
			L*	a*	b*	Hue angle	Chroma	$\Delta E^{\#}$
1	2	1%K-carragenan	67.98^{b} ± 0.05	0.71^{h} ± 0.03	16.00^{ef} ± 0.15	87.46^{b} ± 0.13	16.01^{e} ± 0.15	12.71^{h} ± 0.11
2	4	1%K-carragenan	64.62^{d} ± 0.04	2.16^{f} ± 0.12	16.32^{e} ± 0.18	82.46^{d} ± 0.48	16.46^{d} ± 0.16	16.15^{f} ± 0.07
3	6	1%K-carragenan	60.39^{f} ± 0.11	3.53^{d} ± 0.04	17.62^{cd} ± 0.21	78.68^{f} ± 0.16	17.97^{c} ± 0.21	20.74^{d} ± 0.17
4	8	1%K-carragenan	59.70^{g} ± 0.17	4.31^{c} ± 0.03	18.30^{b} ± 0.06	76.75^{g} ± 0.10	18.80^{b} ± 0.06	21.86^{c} ± 0.14
5	10	1%K-carragenan	59.23^{h} ± 0.02	5.17^{a} ± 0.03	17.43^{d} ± 0.27	73.49^{i} ± 0.30	18.18^{c} ± 0.26	22.28^{b} ± 0.07
6	2	0.5%Agar	70.77^{a} ± 0.07	0.23^{i} ± 0.04	13.47^{g} ± 0.09	89.01^{a} ± 0.16	13.47^{f} ± 0.09	9.15^{i} ± 0.08
7	4	0.5%Agar	66.54^{c} ± 0.16	1.17^{g} ± 0.03	15.74^{f} ± 0.16	85.76^{c} ± 0.12	15.78^{e} ± 0.16	13.95^{g} ± 0.20
8	6	0.5%Agar	63.71^{e} ± 0.09	2.72^{e} ± 0.05	16.32^{e} ± 0.09	80.54^{e} ± 0.21	16.54^{d} ± 0.08	17.12^{e} ± 0.09
9	8	0.5%Agar	58.95^{i} ± 0.18	4.23^{c} ± 0.04	17.81^{c} ± 0.44	76.64^{g} ± 0.28	18.31^{c} ± 0.44	22.30^{b} ± 0.32
10	10	0.5%Agar	58.18^{j} ± 0.01	5.02^{b} ± 0.05	19.03^{a} ± 0.14	75.22^{h} ± 0.23	19.67^{a} ± 0.13	23.69^{a} ± 0.04

a,b,c,... คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

คำนวณค่า ΔE เมื่อเปรียบเทียบกับ Control ที่ใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ชนิดเดียวกัน

Control คือ เต้าหู้เย็นที่ไม่เติมผงใยอาหาร (เมื่อใช้ K-carragenan ค่าสี L* = 78.32 a*= -3.49 และ b*= 9.91 เมื่อใช้ Agar ค่าสี L* = 78.37 a*=-3.47 และ b*= 10.02)

ตารางที่ 4-44 ลักษณะเนื้อสัมผัสจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี TPA ของเต้าหู้เย็น เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์

สิ่งทดลองที่	ปริมาณใยอาหารผง (%)	การใช้สารไฮโดรคอลลอยด์	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
			Hardness (g)	Adhesiveness (g.sec)	Springiness	Cohesiveness
1	2	1%K-carragenan	$1616.834^{b} \pm 56.011$	$-232.403^{a} \pm 21.095$	$0.681^{a} \pm 0.051$	$0.295^{b} \pm 0.020$
2	4	1%K-carragenan	$1629.223^{b} \pm 112.819$	$-357.052^{abc} \pm 46.133$	$0.531^{bc} \pm 0.092$	$0.196^{c} \pm 0.034$
3	6	1%K-carragenan	$1818.834^{a} \pm 86.544$	$-412.792^{bcd} \pm 54.684$	$0.575^{abc} \pm 0.052$	$0.184^{c} \pm 0.010$
4	8	1%K-carragenan	$1922.523^{a} \pm 127.380$	$-542.451^{d} \pm 38.145$	$0.609^{ab} \pm 0.049$	$0.211^{c} \pm 0.010$
5	10	1%K-carragenan	$649.419^{d} \pm 127.301$	$-1434.679^{g} \pm 38.998$	$0.691^{a} \pm 0.080$	$0.475^{a} \pm 0.061$
6	2	0.5%Agar	$1360.859^{c} \pm 44.927$	$-240.267^{a} \pm 14.348$	$0.603^{ab} \pm 0.038$	$0.177^{c} \pm 0.031$
7	4	0.5%Agar	$1466.739^{bc} \pm 66.547$	$-319.756^{ab} \pm 19.468$	0.646^{ab} 0.067	0.198^{c} ±0.031
8	6	0.5%Agar	$1485.262^{bc} \pm 30.711$	$-505.457^{cd} \pm 45.692$	0.582^{abc} 0.044	$0.229^{c} \pm 0.009$
9	8	0.5%Agar	$1608.629^{b} \pm 34.379$	$-710.874^{e} \pm 52.095$	0.563^{abc} 0.085	$0.220^{c} \pm 0.032$
10	10	0.5%Agar	$1338.034^{c} \pm 114.253$	$-1192.881^{f} \pm 234.311$	0.463^{c} 0.070	$0.320^{b} \pm 0.070$

a,b,c... หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ 4-45 ลักษณะเนื้อสัมผัสจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี TPA ของเต้าหู้เย็น เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์

สิ่งทดลองที่	ปริมาณใยอาหารผง (%)	การใช้สารไฮโดรคอลลอยด์	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
			Gumminess (g)	Chewiness (g)	Resilience
1	2	1% K-carragenan	$476.530^{a} \pm 43.553$	$326.655^{a} \pm 51.456$	$0.064^{a} \pm 0.003$
2	4	1% K-carragenan	$317.676^{c} \pm 33.750$	$170.363^{c} \pm 46.975$	$0.035^{b} \pm 0.004$
3	6	1% K-carragenan	$333.814^{c} \pm 31.332$	$191.202^{cd} \pm 12.412$	$0.026^{bc} \pm 0.002$
4	8	1% K-carragenan	$407.258^{ab} \pm 41.584$	$247.763^{bc} \pm 30.331$	$0.024^{c} \pm 0.002$
5	10	1% K-carragenan	$304.517^{cd} \pm 87.777$	$212.292^{bc} \pm 99.214$	$0.027^{bc} \pm 0.003$
6	2	0.5% Agar	$240.814^{d} \pm 34.929$	$146.208^{c} \pm 28.993$	$0.029^{bc} \pm 0.005$
7	4	0.5% Agar	$289.444^{cd} \pm 37.945$	$185.933^{bc} \pm 21.223$	$0.027^{bc} \pm 0.011$
8	6	0.5% Agar	$340.547^{bc} \pm 12.314$	$197.901^{bc} \pm 8.450$	$0.026^{bc} \pm 0.002$
9	8	0.5% Agar	$352.382^{bc} \pm 42.859$	$195.977^{bc} \pm 9.133$	$0.024^{c} \pm 0.003$
10	10	0.5% Agar	$408.431^{ab} \pm 130.340$	$189.361^{bc} \pm 38.996$	$0.026^{bc} \pm 0.004$

a,b,c,... หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Quantitative Descriptive Analysis (QDA) โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 8 คน ซึ่งร่วมกันคิดคา ศัพท์ที่ใช้อธิบายคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่าง และคัดเลือกคา ศัพท์เพื่อใช้ในการประเมินผลทางประสาทสัมผัส โดยคัดเลือกคา ศัพท์ได้ 6 คำศัพท์ ได้แก่ สีน้ำตาล ความเป็นเนื้อเดียวกัน การแยกตัวของน้ำความแข็งความสากลิ้น และความง่ายในการกลืน โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 4-46 สำหรับผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) สำหรับคะแนนความเข้มคุณลักษณะเต้าหู้เย็นจากการประเมินด้วยวิธี QDA สรุปได้ดังตารางที่ 4-47 สำหรับผลการประเมินทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี QDA แสดงดังตารางที่ 4-48

ตารางที่ 4-46 คำศัพท์ ความหมายและการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี QDA

คำศัพท์	ความหมาย	การทดสอบ
สีน้ำตาล	สีน้ำตาลของเนื้อเต้าหู้เย็น	ผู้ทดสอบพิจารณาดูความเข้มสีน้ำตาลของเต้าหู้เย็น
ความเป็นเนื้อเดียวกัน	ลักษณะปรากฏด้านความเป็นเนื้อเดียวกันของเนื้อเต้าหู้เย็นกับผงใยอาหารที่เติม	ผู้ทดสอบพิจารณาลักษณะปรากฏด้านความเป็นเนื้อเดียวกนของเต้าหู้เย็นกับผงใยอาหารจากการมองด้วยตาเปล่า
การแยกตัวของน้ำ	ปริมาณน้ำที่แยกตัวออกมาจากเต้าหู้เย็น (การเกิด Syneresis)	ผู้ทดสอบพิจารณาปริมาณนาที่แยกตัวออกมาจากเต้าหู้เย็นเมื่อใช้ช้อน
ความแข็ง	แรงกดที่ใช้ในการทำให้เต้าหู้เสียรูปร่าง	ผู้ทดสอบวางตัวอย่างระหว่างลิ้นและเพดานปาก และบีบตัวอย่าง โดยประเมินการใช้แรงที่ ทำให้เต้าหู้เย็นเสียรูปร่างไป
ความสากลิ้น	ความรู้สึกสากลิ้นเมื่อเต้าหู้เย็นอยู่ในปากขณะรับประทาน	ไม่ได้กำหนดเงื่อนไขในการเคี้ยว และกลืนผู้ทดสอบสามารถประเมินความสากลิ้นที่เวลาใด ๆ ระหว่างการรับประทานเต้าหู้เย็น
ความง่ายในการกลืน	ความรู้สึกสะดวกเมื่อต้องกลืนเต้าหู้เย็น	ไม่กำหนดสภาวะในการเคี้ยวและกลืน ผู้ทดสอบสามารถประเมินความง่ายในการกลืนที่เวลาใดๆระหว่างการรับประทานเต้าหู้เย็น

ตารางที่ 4-47 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเข้มคุณลักษณะเต้าหู้เย็น จากการประเมินด้วยวิธี QDA เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส (ADFP) และการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloid)

คุณลักษณะ	ADFP[#]	Hydrocolloid	ADFP[#]* Hydrocolloid
สีน้ำตาล	sig	sig	sig
ความเป็นเนื้อเดียวกัน	sig	sig	sig
การแยกตัวของน้ำ	sig	sig	sig
ความแข็ง	sig	sig	sig
ความสากลิ้น	sig	sig	sig
ความง่ายในการกลืน	sig	ns	sig

sig หมายถึง ปัจจัยที่ศึกษามีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ns หมายถึง ปัจจัยที่ศึกษาไม่มีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ADFP มาจาก Antioxidant dietary fiber powder

ตารางที่ 4-48 ค่าความเข้มของคุณลักษณะจากการทดสอบด้วยวิธี QDA ของเต้าหู้เย็น เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส และการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์

สิ่งทดลองที่	ปริมาณใยอาหารผง (%)	การใช้สารไฮโดรคอลลอยด์	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน					
			สีน้ำตาล	ความเป็นเนื้อเดียวกัน	การแยกตัวของน้ำ	ความแข็ง	ความสากลิ้น	ความง่ายในการกลืน
1	2	1% K-carragenan	$1.96^{h} \pm 0.10$	$2.86^{g} \pm 0.09$	$13.40^{ab} \pm 0.04$	$3.08^{e} \pm 0.06$	$5.02^{h} \pm 0.04$	$10.20^{b} \pm 0.04$
2	4	1% K-carragenan	$3.82^{f} \pm 0.26$	$3.90^{f} \pm 0.10$	$12.52^{c} \pm 0.10$	$4.59^{d} \pm 0.07$	$6.43^{f} \pm 0.08$	$9.23^{c} \pm 0.13$
3	6	1% K-carragenan	$6.27^{d} \pm 0.03$	$6.00^{d} \pm 0.15$	$11.29^{d} \pm 0.16$	$5.67^{c} \pm 0.12$	$7.80^{d} \pm 0.11$	$8.30^{e} \pm 0.10$
4	8	1% K-carragenan	$7.15^{c} \pm 0.09$	$8.39^{b} \pm 0.09$	$7.44^{e} \pm 0.06$	$7.57^{b} \pm 0.38$	$9.51^{c} \pm 0.06$	$6.96^{g} \pm 0.14$
5	10	1% K-carragenan	$9.13^{a} \pm 0.11$	$10.72^{a} \pm 0.06$	$3.03^{g} \pm 0.12$	$2.15^{g} \pm 0.18$	$10.83^{b} \pm 0.04$	$1.90^{h} \pm 0.09$
6	2	0.5% Agar	$1.00^{i} \pm 0.11$	$2.92^{g} \pm 0.27$	$13.56^{a} \pm 0.11$	$2.61^{f} \pm 0.03$	$4.44^{i} \pm 0.10$	$10.83^{a} \pm 0.22$
7	4	0.5% Agar	$2.98^{g} \pm 0.04$	$4.74^{e} \pm 0.10$	$13.08^{b} \pm 0.04$	$4.33^{d} \pm 0.21$	$5.68^{g} \pm 0.10$	$8.62^{d} \pm 0.08$
8	6	0.5% Agar	$4.96^{e} \pm 0.13$	$6.35^{c} \pm 0.02$	$12.42^{c} \pm 0.10$	$5.53^{c} \pm 0.20$	$7.41^{e} \pm 0.18$	$7.24^{f} \pm 0.21$
9	8	0.5% Agar	$6.23^{d} \pm 0.16$	$8.59^{b} \pm 0.19$	$6.94^{f} \pm 0.40$	$8.80^{a} \pm 0.44$	$9.61^{c} \pm 0.19$	$8.38^{e} \pm 0.04$
10	10	0.5% Agar	$8.13^{b} \pm 0.06$	$10.77^{a} \pm 0.19$	$2.75^{g} \pm 0.43$	$3.08^{e} \pm 0.06$	$11.58^{a} \pm 0.38$	$1.60^{i} \pm 0.07$

a,b,c... หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

* คะแนนจากการทดสอบด้วยวิธี QDA คือคะแนนตั้งแต่ 0-15

สำหรับผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale โดยใช้ผู้ทดสอบเป็นผู้สูงอายุ (อายุตั้งแต่ 60 ปี ขึ้นไป) จำนวน 30 คน เสนอตัวอย่างโดยการแบ่งชิมครั้งละ 5 ตัวอย่าง เพื่อลดความเมื่อยล้าทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบ โดยวิธีการให้คะแนนความชอบตามความหมายที่กำหนด 1 คะแนน คือ ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คะแนน คือ ชอบมากที่สุด ประเมินความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ความง่ายในการเคี้ยว ความง่ายในการกลืน และความชอบโดยรวม ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) สาหรับคะแนนความชอบเต้าหู้เย็นจากการประเมินด้วยวิธี 9-point hedonic scale สรุปได้ดังตารางที่ 4-49 และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale แสดงดังตารางที่ 4-50

ชื่อตัวแปร พารามิเตอร์ (คำศัพท์) ทางลักษณะเนื้อสัมผัส และความหมายที่ประเมินทางประสาทสัมผัส (ใช้ผู้ทดสอบวิธี QDA) กับลักษณะเนื้อสัมผัสที่วัดด้วยเครื่องมือ (ใช้เครื่องวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธี TPA) แสดงดังตารางที่ 4-51 สำหรับผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ทางประสาทสัมผัสกับลักษณะเนื้อสัมผัสที่วัดด้วยเครื่องมือ พิจารณาจากค่า Pearson'scorrelation coefficients แสดงดังตารางที่ 4-52 สาหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PrincipleComponent Analysis: PCA) เพื่อจับกลุ่มหรือรวมพารามิเตอร์ลักษณะเนื้อสัมผัสที่วิเคราะห์ได้ซึ่งมีความสัมพันธ์กันไว้ในกลุ่มเดียวกัน แสดงผลดังตารางที่ 4-53 ตารางที่ 4-54 และ ภาพที่ 4-21

ตารางที่ 4-49 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความชอบเต้าหู้เย็น จากการประเมินด้วยวิธี 9-point hedonic scale เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส (ADFP) และการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloid)

ลักษณะ	ADFP[#]	Hydrocolloid	ADFP[#] * Hydrocolloid
ลักษณะปรากฏ	sig	sig	sig
สี	sig	ns	ns
กลิ่น	sig	sig	sig
รสชาติ	sig	sig	ns
ความง่ายในการเคี้ยว	sig	sig	sig
ความง่ายในการกลืน	sig	sig	sig
ความชอบโดยรวม	sig	sig	ns

sig หมายถึง ปัจจัยที่ศึกษามีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p<0.05$)

ns หมายถึง ปัจจัยที่ศึกษาไม่มีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างนัยสำคัญทางสถิติ($p\geq0.05$)

[#]ADFP มาจาก Antioxidant dietary fiber powder

ตารางที่ 4-50 คะแนนความชอบจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale ของเต้าหู้เย็น เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส และการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์

สิ่งทดลอง	ปริมาณผงใยอาหาร (%)	การใช้สารไฮโดรคอลลอยด์	ค่าเฉลี่ย* ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน						
			ลักษณะปรากฏ	สี ^{ns}	กลิ่น	รสชาติ ^{ns}	ความง่ายในการเคี้ยว	ความง่ายในการกลืน	ความชอบโดยรวม ^{ns}
1	2	1% K-carragenan	6.60^{a} ± 1.00	6.63 ± 0.61	6.33^{a} ± 1.12	6.53 ± 1.01	7.36^{a} ± 0.93	7.60^{a} ± 0.77	7.10 ± 0.61
2	4	1% K-carragenan	6.63^{a} ± 0.93	6.73 ± 0.87	6.70^{a} ± 1.02	6.57 ± 1.10	7.36^{a} ± 0.96	7.60^{a} ± 0.67	7.17 ± 0.70
3	6	1% K-carragenan	6.37^{a} ± 1.00	6.10 ± 0.96	6.27^{a} ± 1.05	6.33 ± 1.06	6.77^{b} ± 1.07	6.87^{b} ± 0.57	6.73 ± 1.14
4	8	1% K-carragenan	6.07^{ab} ± 1.08	5.97 ± 1.19	6.23^{a} ± 0.77	6.20 ± 1.00	6.20^{bc} ± 1.10	6.30^{de} ± 1.02	6.23 ± 1.14
5	10	1% K-carragenan	5.33^{c} ± 1.06	5.20 ± 1.21	5.23^{b} ± 1.14	5.70 ± 1.09	5.97^{c} ± 1.30	6.07^{e} ± 0.87	6.00 ± 1.17
6	2	0.5% Agar	6.60^{a} ± 0.89	6.53 ± 0.68	6.27^{a} ± 0.78	6.07 ± 0.94	6.30^{bc} ± 0.60	6.77^{bc} ± 0.86	6.80 ± 0.85
7	4	0.5% Agar	6.60^{a} ± 0.97	6.67 ± 0.71	6.30^{a} ± 0.99	6.07 ± 0.98	6.23^{bc} ± 1.01	6.70^{bcd} ± 0.99	6.60 ± 0.67
8	6	0.5% Agar	5.77^{bc} ± 1.04	5.90 ± 1.06	5.60^{b} ± 0.93	5.87 ± 1.07	6.23^{bc} ± 0.77	6.33^{cde} ± 0.99	6.47 ± 1.11
9	8	0.5% Agar	5.43^{c} ± 1.17	5.53 ± 0.82	5.53^{b} ± 0.94	5.63 ± 1.03	6.23^{bc} ± 1.04	6.33^{cde} ± 0.84	6.20 ± 1.06
10	10	0.5% Agar	5.50^{c} ± 1.07	5.03 ± 1.13	5.47^{b} ± 0.78	5.83 ± 0.99	6.10^{c} ± 1.06	6.23^{e} ± 0.50	5.77 ± 0.86

a,b,c,... หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

* คะแนนจากการทดสอบด้วยวิธี 9-point hedonic scale คือคะแนนตั้งแต่ 1-9

ตารางที่ 4-51 ชื่อตัวแปร พารามิเตอร์ (คำศัพท์) ทางลักษณะเนื้อสัมผัส และความหมายที่ประเมินทางประสาทสัมผัส (ใช้ผู้ทดสอบวิธี QDA) กับลักษณะเนื้อสัมผัสที่วัดด้วยเครื่องมือ (ใช้เครื่องวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธี TPA)

ชื่อตัวแปร	พารามิเตอร์	ความหมาย
การประเมินทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี QDA		
S1	ความเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneity)	ลักษณะปรากฏด้านความเป็นเนื้อเดียวกนของเนื้อเต้าหู้เย็นกบผงใยอาหารที่เติม
S2	การแยกตัวของน้ำ (Syneresis)	ปริมาณน้ำที่แยกตัวออกมาจากเต้าหู้เย็น (การเกิด Syneresis)
S3	ความแข็ง (Hardness for QDA)	แรงกดที่ใช้ในการทำให้เต้าหู้เย็นเสียรูปร่าง
S4	ความสากลิ้น (Rough Tongue)	ความรู้สึกสากลิ้นเมื่อเต้าหู้เย็นอยู่ในปากขณะรับประทาน
S5	ความง่ายในการกลืน (Easy to Swallow)	ความรู้สึกสะดวกเมื่อต้องกลืนเต้าหู้เย็น
*การวิเคราะห์ ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธีTPAโดยใช้ เครื่องมือ**		
T6	ความแข็ง (Hardness)	แรงที่ใช้ในการทำให้ตัวอย่างเสียรูปร่าง
T7	ความสามารถในการเกาะติดผิววัสดุ (Adhesiveness)	งานที่ใช้ในการเอาชนะแรงระหว่างพื้นผิวของตัวอย่างกับพื้นผิวของวัสดุที่ตัวอย่าง
		สัมผัสอยู่
T8	ความยืดหยุ่น(Springiness)	อัตราการคืนรูปของวัสดุหลังจากการถูกกด
T9	ความสามารถเกาะรวมตัวกัน (Cohesiveness)	ขอบเขตของวัสดุที่สามารถเสียรูปก่อนที่จะเกิดการแตกหัก
T10	ความเหนียวเป็นยางหรือกาว(Gumminess)	แรงที่ต้องใช้ในการแยกตัวอย่างที่เป็นกึ่งของแข็งจนเสียรูป (Hardness * Cohesiveness)
T11	การทนต่อการเคี้ยว (Chewiness)	แรงที่ใช้ในการเคี้ยวหรือบดตัวอย่างจนเสียรูป (Gumminess * Springiness)
T12	ความหดตัวได้(Resilience)	ความสามารถในการหดตัวได้โดยยังไม่เสียรูปร่าง

* ดัดแปลงจาก Civille and Szczesniak (1973)

ตารางที่ 4-52 ค่า Pearson’s correlation coefficients แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ทางประสาทสัมผัสกับลักษณะเนื้อสัมผัสที่วัดด้วยเครื่องมือ

	S1	S2	S3	S4	S5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
S1	-	-0.958**	0.171	0.984**	-0.900**	-0.386	0.912**	-0.246	0.601	0.165	-0.056	-0.566
S2	-0.958**	-	-0.016	-0.955**	0.899**	0.461	-0.943**	0.232	-0.689*	-0.207	0.005	0.416
S3	0.171	-0.016	-	0.218	0.235	0.655*	-0.196	-0.237	-0.497	0.166	0.010	-0.396
S4	0.984**	-0.955**	0.218	-	-0.876**	-0.287	0.884**	-0.344	0.557	0.249	0.028	-0.526
S5	-0.900**	0.899**	0.235	-0.876**	-	0.592	-0.951**	0.204	-0.764*	-0.143	0.047	0.387
T6	-0.386	0.461	0.655*	-0.287	0.592	-	-0.695*	-0.303	-0.812**	0.357	0.178	0.072
T7	0.912**	-0.943**	-0.196	0.884**	-0.951**	-0.695*	-	-0.123	0.829**	0.060	-0.072	-0.376
T8	-0.246	0.232	-0.237	-0.344	0.204	-0.303	-0.123	-	0.326	-0.048	0.494	0.423
T9	0.601	-0.689*	-0.497	0.557	-0.764*	-0.812**	0.829**	0.326	-	0.199	0.311	0.132
T10	0.165	-0.207	0.166	0.249	-0.143	0.357	0.060	-0.048	0.199	-	0.841**	0.033
T11	-0.056	0.005	0.010	-0.028	0.047	0.178	-0.072	0.494	0.311	0.841**	-	0.727*
T12	-0.566	0.416	-0.396	-0.526	0.387	0.072	-0.376	0.423	0.132	0.523	0.727*	-

** ค่า Pearson’s correlation coefficients ที่มีความสัมพันธ์กันที่ระดับนัยสำคัญ 0.01($p<0.01$)

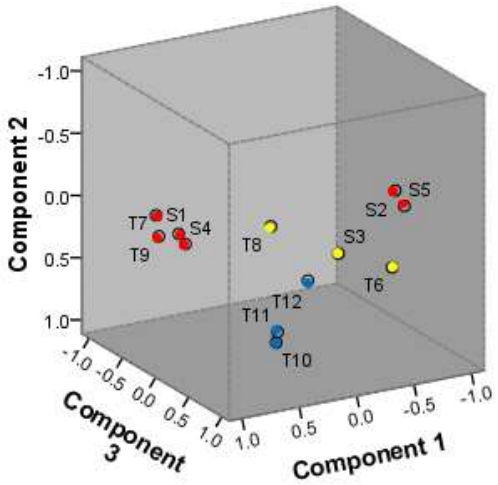
* ค่า Pearson’s correlation coefficients ที่มีความสัมพันธ์กันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-53 ค่าสถิติที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis) ของพารามิเตอร์ลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้เย็น

Initial Eigenvalues				Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
Component	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative%	Total	% of Variance	Cumulative %
1	5.845	48.710	48.710	5.845	48.710	48.710	5.726	47.713	47.713
2	2.850	23.746	72.456	2.850	23.746	72.456	2.610	21.751	69.464
3	2.240	18.663	91.119	2.240	18.663	91.119	2.599	21.655	91.119
4	.814	6.784	97.903						
5	.156	1.297	99.201						
6	.064	.536	99.737						
7	.023	.194	99.931						
8	.006	.049	99.981						
9	.002	.019	100.000						
10	2.804E-16	2.337E-15	100.000						
11	5.850E-17	4.875E-16	100.000						
12	2.095E-17	1.746E-16	100.000						

ตารางที่ 4-54 ค่าน้ำหนักขององค์ประกอบ (Factor loading) ของพารามิเตอร์ลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้เย็น แต่ละองค์ประกอบ (Component)

ชื่อตัวแปร	พารามิเตอร์	Component		
		1	2	
S1	ความเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneity)	.981	-.056	.123
S2	การแยกตัวของน้ำ (Syneresis)	-.979	-.009	-.001
S3	ความแข็ง (Hardness for QDA)	.015	.044	.864
S4	ความสากลิ้น (Rough Tongue)	.974	-.002	.213
S5	ความง่ายในการกลืน (Easy to Swallow)	-.949	.051	.188
T6	ความแข็ง (Hardness)	-.477	.260	.817
T7	ความสามารถในการเกาะติดผิววัสดุ (Adhesiveness)	.961	-.084	-.252
T8	ความยืดหยุ่น (Springiness)	-.245	.338	-.610
T9	ความสามารถเกาะรวมตัวกัน (Cohesiveness)	.708	.255	-.646
T10	ความเหนียวเป็นยางหรือกาว(Gumminess)	.213	.912	.263
T11	การทนต่อการเคี้ยว (Chewiness)	-.009	.983	-.100
T12	ความหดตัวได้ (Resilience)	-.445	.742	-.396



ภาพที่ 4-21 Component plot แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้เย็นที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis) โดย Component 1 ประกอบด้วย S1 S2 S4 S5 T7 T9 Component 2 ประกอบด้วย T10 T11 T12 และComponent 3 ประกอบด้วย S3 T6 T8

4.5.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์อาหารจำลองสำหรับผู้สูงอายุต้นแบบที่พัฒนาได้

ผลการวิเคราะห์ค่าคุณภาพของน้ำเสาวรสพร้อมดื่มต้นแบบที่ผลิตได้ คือ น้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส 2% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิในการเตรียมที่ 60 องศาเซลเซียส และน้ำเสาวรสพร้อมดื่มสูตรพื้นฐานที่ไม่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส แสดงดังตารางที่ 4-55ผลการวิเคราะห์ค่าคุณภาพของเต้าหู้เย็นต้นแบบที่ผลิตได้ คือ เต้าหู้เย็นที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส 4% ร่วมกับการใช้แคปป้า-คาราจีแนน เป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ และเต้าหู้เย็นสูตรพื้นฐานที่ไม่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส แสดงดังตารางที่ 4-56

ตารางที่ 4-55 ค่าคุณภาพของน้ำเสาวรสพร้อมดื่มต้นแบบที่ผลิตได้และน้ำเสาวรสพร้อมดื่มสูตรพื้นฐาน

ค่าคุณภาพ	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	น้ำเสาวรสพร้อมดื่มต้นแบบที่ผลิต	น้ำเสาวรสพร้อมดื่มสูตรพื้นฐาน
ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (กรัม/100 มิลลิลิตร)	0.969^{a} ± 0.099	0.052^{b} ± 0.0034
ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ (กรัม/100 มิลลิลิตร)	0.444^{a} ± 0.058	0.052^{b} ± 0.034
ปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (กรัม/100 มิลลิลิตร)	0.524^{a} ± 0.122	0.000^{b} ± 0.000
ปริมาณแอนโทไซยานิน (มิลลิกรัมCyn-3-Glu /100 มิลลิลิตร)	0.200^{a} ± 0.069	0.060^{b} ± 0.022
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมกรดแกลลิก100/ มิลลิลิตร)	61.756^{a} ± 2.150	53.543^{b} ± 2.594
สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ(%Inhibition)	60.824^{a} ± 0.936	44.837^{b} ± 0.196

a,b คือ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-56 ค่าคุณภาพของเต้าหู้เย็นต้นแบบที่ผลิตได้และเต้าหู้เย็นสูตรพื้นฐาน

ค่าคุณภาพ	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	เต้าหู้เย็นแบบที่ผลิต	เต้าหู้เย็นสูตรพื้นฐาน
ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (กรัม/100 กรัม)	2.673[a] ± 0.137	0.392[b] ± 0.192
ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ[ns] (กรัม/100 กรัม)	0.551 ± 0.187	0.392 ± 0.192
ปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (กรัม/100 กรัม)	2.121[a] ± 0.054	0.000[b] ± 0.000
ปริมาณแอนโทไซยานิน(มิลลิกรัมCyn-3-Glu /100 กรัม)	0.765[a] ± 0.057	0.567[b] ± 0.044
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมกรดแกลลิก100/ กรัม)	10.729[a] ± 0.244	8.061[b] ± 0.201
สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ(%Inhibition)	13.188[a] ± 0.274	0.000[b] ± 0.000

[a,b] คือ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p<0.05$)

5.อภิปรายผลการวิจัย

5.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของเปลือกเสาวรสสดและผง

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของเปลือกเสาวรสสด พบว่า เปลือกเสาวรสสดมีปริมาณความชื้นสูงถึง 84.52 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักเปียก มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณกากใย ปริมาณเถ้า ปริมาณโปรตีน และปริมาณไขมัน เท่ากับ 8.97 4.63 0.99 0.79 และ 0.11 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ (ตารางที่ 4-1) ซึ่งปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่วิเคราะห์ได้มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ ณัชชา บุญปลื้ม (2550) ที่รายงานว่าเปลือกเสาวรสสดพันธุ์สีม่วง มีปริมาณความชื้น ปริมาณกากใย ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณเถ้า ปริมาณโปรตีน และปริมาณไขมัน เท่ากับ 79.49 10.43 6.66 1.98 1.13 และ 0.30 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับจากลักษณะสัณฐานวิทยาของเปลือกเสาวรสคาดว่าน่าจะมีองค์ประกอบของใยอาหารเนื่องจากลักษณะเปลือกเสาวรสส่วนใหญ่เป็นส่วนของอัลบิโด (Albedo) มีลักษณะคล้ายฟองน้ำมีสีขาว ประกอบด้วยใยอาหาร ต่าง ๆ เช่น เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และเพคติน (Pectins) ซึ่งใยอาหารเหล่านี้ประกอบด้วยโมเลกุลของคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนที่ไม่ใช่แป้ง (Figuerola, Hurtado, Estevez, Chiffelle, & Asenjo, 2005; Yangilar,2013) พบได้ในผนังเซลล์พืช ดังนั้นเปลือกเสาวรสจึงมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูง นอกจากนี้กากใยที่วิเคราะห์ได้ เป็นสารประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่เหลือจากการย่อยด้วยกรดอ่อนและด่างอ่อน ซึ่งส่วนใหญ่ใยอาหารที่ทนต่อการย่อยด้วยกรดอ่อนและด่างอ่อนเป็นใยอาหารพวกเซลลูโลส (Dhingra et al.,2012) ดังนั้นจากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณที่พบว่ามีปริมาณคาร์โบไฮเดรตและกากใย จึงแสดงให้เห็นว่าเปลือกเสาวรสพันธุ์สีม่วงนี้น่าจะเป็นแหล่งของใยอาหาร ซึ่งเมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมดของเปลือกเสาวรสสด พบว่า มีปริมาณเท่ากับ 13.49 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักเปียก หรือ 87.11 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง (ตารางที่4-1) เป็นการยืนยันได้ว่าเปลือกเสาวรสพันธุ์สีม่วงเป็นแหล่งที่ดีของใยอาหาร ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยก่อนหน้าที่รายงานว่าเปลือกเสาวรสสดมีปริมาณใยอาหารทั้งหมด 18.30 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักเปียก หรือ 88.30 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง (ณัชชา บุญปลื้ม, 2550) จากปริมาณใยอาหารที่วิเคราะห์ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับส่วนเหลือทิ้งจากพวกเปลือกและกากของผักผลไม้ชนิดอื่น ๆ พบว่าเปลือกเสาวรสมีปริมาณใยอาหารทั้งหมดมากกว่าส่วนเหลือทิ้งหลายชนิด เช่น เปลือกส้ม (*Citrussinensis* L.) มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด 64.3 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง (Figuerola et al., 2005)เปลือกมะม่วง (*Mangifera indica* L.) มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด 78.40 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง (Ajila, Bhat, & Rao, 2007) เปลือกมะนาว (*Citrus aurantifolia* Swingle) มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด 70.76 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง (Peerajit et al., 2012) เปลือกทับทิม (*Punica granatum* L.) มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด 45.6 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง (Viuda-Martos et al, 2012) กากลูกแพร์ (*Pyrus communis* L.) มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด อยู่ในช่วง 36.1-43.9 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง (Grigelmo-Miguel & Martin-Belloso, 1999; Laufenberg, Kunz, & Nystroem, 2003) และกากพีช (*Prunus persica* L.) มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด อยู่ในช่วง 35.8-54.2 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง (Grigelmo-Miguel & Martin-Belloso,

1999; Pagan, Ibarz, Llorca, Pagan, & Barbosa-Canovas,2001) เป็นต้น และปริมาณใยอาหารทั้งหมดของเปลือกเสาวรสสดในงานวิจัยนี้อยู่ในช่วงใกล้เคียงกับส่วนเหลือทิ้งจากพวกเปลือกและกากของผักผลไม้ชนิดอื่น ๆ เช่น เปลือกกล้วย (*Musa* (ABBgroup)) มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดอยู่ในช่วง 83.00-89.35 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง (Wachirasiriet al., 2009) เปลือกส้มโอ (*Citrus grandis* L. หรือ *Citrus maxima* Merr.) มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดอยู่ในช่วง 78.08-80.03 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง (Naowakul, Wirjantoro, &Phianmongkhol, 2013) และกากแอปเปิ้ ล (*Malus domestica*) มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด อยู่ในช่วง60.7-89.8 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง (Figuerola et al., 2005)

สำหรับผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของเปลือกเสาวรสสด พบว่า มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเท่ากับ 2.56 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักเปียก หรือ 16. 56 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 4-1) โดยน้ำตาลส่วนใหญ่ที่พบน่าจะได้มาจากส่วนของ เอกโซคาร์ป (Exocarp) มีโซคาร์ป(Mesocarp) และเอนโดคาร์ป (Endocarp) ของเปลือก ตามที่งานวิจัยของ Canteri et al. (2010) ได้รายงานองค์ประกอบของน้ำตาลจากเปลือกเสาวรส พบว่า ในเปลือกเสาวรสมีองค์ประกอบเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด ได้แก่ แรมโนส (Rhamnise) ฟิ วโคส (Fucose) อะราบิโนส(Arabinose) ไซโลส (Xylose) แมนโนส (Mannose) กาแลคโตส (Galactose) และกลูโคส (Glucose) จากผลการวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน พบว่าปริมาณแอนโทไซยานินของเปลือกเสาวรสสด มีค่าเท่ากับ 3.44 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/ 100 กรัม น้ำหนักเปียก หรือ 22.20 มิลลิกรัมCyn-3-Glu/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 4-1) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับเปลือกผลไม้ที่มีสีม่วงชนิดอื่น เช่น เปลือกมังคุด โดยมีรายงานว่ามีปริมาณแอนโทไซยานิน เท่ากับ 19.71 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/100 กรัม น้ำหนักแห้ง (อุรษา เชาวนลิขิต และ อรัญญา มิ่งเมือง,2550) สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกเป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวนปิดที่มีหมู่ไฮดรอกซิลเป็นองค์ประกอบ ซึ่งมักมีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (วิวัฒน์ หวังเจริญ,2545) จากผลการทดลอง พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในเปลือกเสาวรสสดมีค่าเท่ากับ 15.06 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/ 100 กรัม น้ำหนักเปียก หรือ 97.31 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง ด้านสมบัติการต้านอนุมูลอิสระที่วิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH radical scavengingassay และรายงานเป็นค่า %Inhibition พบว่า ค่า % Inhibition ในเปลือกเสาวรสสด มีค่าเท่ากับ 89.36% แสดงให้เห็นว่าเปลือกเสาวรสพันธุ์สีม่วงนี้นอกจากเป็นแหล่งของใยอาหารแล้ว ยังเป็นแหล่งของสารพฤกษเคมี โดยเฉพาะแอนโทไซยานิน และสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้เมื่อนำเปลือกเสาวรสสดมาผลิตเป็นผงโดยการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 400 นาที ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี (ตารางที่ 4-2) พบว่า เปลือกเสาวรสผงมีปริมาณความชื้นลดลงเหลือ 7.33 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักเปียก โดยพบว่า เปลือกเสาวรสผงที่ได้ มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณ กากใย ปริมาณเถ้า ปริมาณโปรตีน และปริมาณไขมัน เท่ากับ 48.10 37.51 8.33 5.50 และ 0.56 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด (71.04 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ปริมาณแอนโทไซยานิน (7.72 มิลลิกรัมCyn-3-Glu/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (73.51 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition เท่ากับ

88.69%) น้อยกว่าเปลือกเสาวรสสด ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการนำเปลือกเสาวรสมาผลิตเป็นผงแห้งด้วยวิธีอย่างง่ายไม่ต้องผ่านการเตรียมขั้นต้น มีผลให้องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญดังกล่าวสูญเสียไปได้ สอดคล้องกับที่ Chantaro et al. (2008) รายงานว่า การนำเปลือกแครอทสด ซึ่งเป็นแหล่งของสารพฤกษเคมีที่สำคัญ มาผลิตเป็นผงใยอาหารที่มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ โดยนำเปลือกแครอทมาทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิในการทำแห้งสูงขึ้น เป็นผลให้สารพฤกษเคมีที่สำคัญในเปลือกแครอท เช่น เบต้าแคโรทีน และสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลงและสูญเสียไปมากหลังจากการทำแห้ง ซึ่งเป็นผลให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์สุดท้ายลดลง และ Nilnakara (2006) รายงานว่า การเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกกาบกะหล่ำปลีในหน้า ร้อนที่อุณหภูมิ 93±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที และทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส สามารถรักษาสารพฤกษเคมีในผงใยอาหารจากกาบกะหล่าปลี โดยเฉพาะปริมาณสารประกอบ ฟีนอลิกทั้งหมด (80.50 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/ 100 กรัม น้ำ หนักแห้ง)ไว้ได้มากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับผงใยอาหารจากกาบกะหล่ำปลีที่ไม่ผ่านการลวกและทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส (77.10มิลลิกรัมกรดแกลลิก/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง)

เมื่อพิจารณาด้านองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ พบว่า เปลือกเสาวรสผงยังมีองค์ประกอบอื่นๆ ที่ไม่ใช่ใยอาหารเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย โดยพบว่ามีปริมาณเถ้า 8.33 กรัม/ 100กรัม น้ำหนักแห้ง ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด 7.10 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง ปริมาณโปรตีน 5.50 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง และปริมาณไขมัน 0.56 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง การที่เปลือกเสาวรสผงมีองค์ประกอบอื่นที่ไม่ใช่ใยอาหารเป็นองค์ประกอบอยู่มาก แสดงให้เห็นว่าเป็นใยอาหารผงที่มีความบริสุทธิ์น้อย เพื่อให้เกิดผลดีต่อการนำไปใช้ประโยชน์ควรหาวิธีที่เหมาะสมในการกำจัดองค์ประกอบอื่นที่ไม่ใช่ใยอาหารออกไป สอดคล้องกับที่ Larrauri (1999) กล่าวว่าใยอาหารในอุดมคติที่เหมาะสำหรับนำไปใช้ประโยชน์เป็นส่วนผสมในอาหาร ต้องไม่มีส่วนประกอบที่ให้คุณค่าทางโภชนาการ (Nutritional objectionable components) มีความบริสุทธิ์ของใยอาหารสูง และสามารถใช้ใยอาหารได้ในปริมาณน้อย แต่ให้ผลที่ดีต่อร่างกายมาก โดยทำให้อาหารมีรสชาติ สี เนื้อสัมผัสที่ดี มีสัดส่วนของใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ละลายน้ำ ที่สมดุล มีอายุการเก็บรักษาที่ดีโดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพอาหารที่มีการเติมใยอาหาร สามารถนำมาใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหารได้ มีภาพลักษณ์ที่ดีในมุมมองของผู้บริโภคโดยคำนึงถึงแหล่งที่มา และความบริสุทธิ์ มีผลที่ดีต่อร่างกาย และราคาสมเหตุสมผล ซึ่งส่วนใหญ่แล้วส่วนเหลือทิ้งจากผักผลไม้ก่อนนำมาผลิตเป็นผงใยอาหาร มักมีองค์ประกอบที่ไม่ใช่ใยอาหารรวมอยู่ด้วยดังนั้นจึงต้องมีวิธีการเตรียมขั้นต้นเพื่อกำจัดหรือแยกองค์ประกอบที่ไม่ต้องการออกจากวัตถุดิบ โดยเฉพาะสารที่ละลายน้ำได้ ได้แก่ น้ำตาลอิสระ กรดอิสระและองค์ประกอบของสารอนินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ รวมทั้งการกำจัดโปรตีน หรือไขมันออกไป เพื่อให้ใยอาหารมีความบริสุทธิ์มากขึ้นและยังสามารถช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหารได้ด้วย

เมื่อพิจารณาค่าสีของเปลือกเสาวรสสด (ตารางที่ 4-3) พบว่า มีค่า L* a* และ b* เท่ากับ35.51 19.95 และ 8.69 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า มีความสว่างน้อย โดยมีสีออกสีม่วงแดง เนื่องจากมีค่า a* เป็นค่าบวก (+) และมีค่า b เป็นค่าบวก (+) เมื่อนำมาคำนวณค่า Hue angle และ Chroma พบว่า มีค่าเท่ากับ 23.53 และ 21.76 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเปลือกเสาวรสสดมีเฉดสีอยู่ในช่วงของสีม่วงแดงถึงสีส้มแดง (0-45

องศา) และมีสีค่อนข้างเข้ม (ค่า Chroma มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ หมายถึงวัตถุมีสีซีดจาง (เทา) ถ้ามีค่าเข้าใกล้ 60 หมายถึง วัตถุมีสีเข้ม) ซึ่งสอดคล้องกับสีของเปลือกเสาวรสสดที่มองเห็นด้วยสายตา คือส่วนผิวเปลือกเสาวรสสุกมีสีออกม่วงแดง เนื่องจากมีรงควัตถุพวกแอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุหลัก (Kidoy et al., 1997) เมื่อนำเปลือกเสาวรสสดไปผลิตเป็นเปลือกเสาวรสผง พบว่ามีสีเปลี่ยนแปลงไปมาก โดยมี L* a* และ b* เท่ากับ 64.57 7.28 และ 21.25 ตามลำดับ เมื่อนำมาคำนวณหาค่า Hue angle และ Chroma พบว่า มีค่าเท่ากับ 71.08 และ 22.46 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า เปลือกเสาวรสผงมีเฉดสีอยู่ในช่วงของสีส้มแดงถึงสีเหลือง (45-90องศา) และมีสีค่อนข้างเข้ม ซึ่งมีความสอดคล้องกับสีที่มองเห็นด้วยสายตา คือ เปลือกเสาวรสผง มีสีน้ำตาลอ่อน ทั้งนี้อาจเกิดจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลทั้งแบบ Enzymatic browning และ Non enzymaticbrowning โดยปฏิกิริยา Enzymatic browning เกิดได้ตั้งแต่ขั้นตอนของการลดขนาด ซึ่งการหั่นหรือตัดเปลือกเสาวรสเป็นชิ้นเล็ก ๆ เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับอากาศ โดยปฏิกิริยา Enzymatic browning นี้เกิดขึ้นได้จากการที่เปลือกเสาวรสโดยทั่วไปมีเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase) อยู่ มีสารประกอบฟีนอลิกซึ่งทำหน้าที่เป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาร่วมกับการสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ จึงมีโอกาสเกิดปฏิกิริยา Enzymatic browning ทำให้เกิดสีน้ำตาลได้ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2553) และส่วนปฏิกิริยา Non enzymatic browning เกิดได้ในระหว่างการทำแห้ง ซึ่งการเปลี่ยนสีเป็นผลมาจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด เกิดจากการที่น้ำตาลรีดิวส์ซิงทั้งคีโตสและแอลโดส รวมกับหมู่อะมิโนได้เป็นไกลโคซิลเอมีน (N-substituted glycosylamine) เกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันได้เป็นอิมีน (Imine หรือ Schiffbase) จากนั้นมีการเรียงตัวใหม่ซึ่งมีชื่อเรียกว่า Amadori rearrangement ได้เป็นแอลโดสเอมีน (Aldoseamine) หรือคีโตสเอมีน(Ketoseamine) เรียกว่า Amadori product เกิดปฏิกิริยา Enolization ของ Amadori product แล้วได้เป็นคีโตสเอมีนหรือไดอะมิโนซูการ์ เกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันต่อไปได้เป็นอนุพันธ์ของฟูแรน (Furan) อนุพันธ์ฟูแรนวงแหวน เช่น HMF (5-hydroxymethyl-2-furaldehyde) จะเกิดพอลิเมอร์อย่างรวดเร็วได้เป็นสารสีน้ำตาล ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยและไม่ละลายน้ำ สารสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นเรียกว่า เมลานอยดิน (Fennema, 1996) โดยอัตราเร็วของปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ดังนั้นการที่เปลือกเสาวรสสดมีองค์ประกอบของน้ำตาลอยู่มาก รวมทั้งมีโปรตีนหรือสารประกอบไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ในระหว่างการทำแห้งจึงอาจเกิดเป็นสารสีน้ำตาล เนื่องจากมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ นอกจากนี้รงควัตถุหลักแอนโทไซยานินสามารถสลายตัวได้ด้วยความร้อน หรือทำให้โครงสร้างของแอนโทไซยานินเปลี่ยนแปลงไป โดยโอกาสการสลายตัวของแอนโทไซยานินจะมากขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิในการแปรรูปสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการเปิดออกของวงแหวน Pyrylium ในโครงสร้างของแอนโทไซยานินทา ให้แอนโทไซยานินเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ Chalcone และการสลายตัวของแอนโทไซยานิดิน(Anthocyanidin) หรืออะไกลโคน เป็นขั้นแรกของการสลายตัวของสารแอนโทไซยานิน และอาจเกิดการแตกสลายเป็นอนุพันธ์ Coumarin รวมถึงอาจเกิดการสลายตัว หรือเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชั่น (Polymerization) และเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้ (Patras, Brunton, O’Donnell, & Tiwari, 2010) สอดคล้องกับที่ Kessy, Hu, Zhao, & Zhou (2016) รายงานว่า การทำ

แห้งเปลือกลิ้นจี่ที่อุณหภูมิสูงขึ้น มีผลให้ปริมาณแอนโทไซยานินลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการสัมผัสความร้อนที่อุณหภูมิสูง เพิ่มโอกาสให้แอนโทไซยานินสลายตัวจากความร้อน (Thermal degradation) ได้มากขึ้น

จากผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี และค่าสีแสดงให้เห็นว่าเปลือกเสาวรสสดมีความชื้นค่อนข้างสูง และมีองค์ประกอบอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ใยอาหารอยู่หลายชนิด ที่พบมากที่สุด คือน้ำตาลทั้งหมด (16. 56 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) รองลงมาคือ เถ้า (6.38 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) โปรตีน (5.10 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) และไขมัน (0.72 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) เมื่อนำมาผลิตเป็นเปลือกเสาวรสผงแห้งด้วยวิธีอย่างง่ายไม่ต้องผ่านการเตรียมขั้นต้น พบว่า ได้ใยอาหารผงที่มีความบริสุทธิ์น้อย (71.04 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) โดยยังคงมีองค์ประกอบของเถ้า (8.33 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) น้ำตาลทั้งหมด (7.10 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) โปรตีน (5.50 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) และไขมัน (0.56 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) รวมทั้งปริมาณสารพฤกษเคมีลดลงมาก โดยมีปริมาณแอนโทไซยานิน (7.72 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (73.51 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition เท่ากับ 88.69%) นอกจากนี้ผงเปลือกเสาวรสที่ได้มีสีน้ำตาลอ่อน จากข้อด้อยที่พบจึงต้องการปรับปรุงคุณภาพของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสพันธุ์สีม่วงให้ดีขึ้น โดยการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเป็นผงใยอาหาร เพื่อกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ใช่ใยอาหาร ให้ได้ผงใยอาหารที่มีความบริสุทธิ์สูงขึ้น รวมถึงรักษาให้มีการคงอยู่ของสารพฤกษเคมีที่สำคัญ และรักษาสีธรรมชาติของเปลือกเสาวรส จึงควรมีการศึกษาในขั้นตอนของการเตรียมขั้นต้น และการหาสภาวะที่เหมาะสมในการทา แห้งต่อไป

5.2 การศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นต่อคุณภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส

โดยทั่วไปการผลิตใยอาหารผงเริ่มจากการนำวัตถุดิบมาทำความสะอาดและลดขนาดให้เล็กลงโดยการหั่นหรือบดเพื่อสะดวกในการอบแห้ง โดยมักมีการเตรียมขั้นต้นวัตถุดิบก่อนการนำไปอบแห้งเพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบ (Larrauri,1999; Nilnakara,2006) มักดำเนินการโดยการใช้ความร้อน เพื่อยับยั้งเอนไซม์ที่ทำ ให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ช่วยให้เนื้อเยื่ออ่อนนุ่มลง ทำให้มีอัตราการทำแห้งเร็วขึ้น จึงช่วยลดเวลาในการทำ แห้ง รวมถึงเป็นการลดจำนวนจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อน (Larrauri,1999; Nilnakara,2006; Wachirasiri et al.,2009; Tanongkankit,2011) และการเตรียมขั้นต้นโดยการใช้สารเคมีมีหลายชนิด เช่นโซเดียมคลอไรด์ แคลเซียมคลอไรด์หรือสารละลายกรด เป็นต้น (Lewicki, 2006) โดยการแช่วัตถุดิบในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์เป็นรูปแบบหนึ่งที่นิยมใช้ เพื่อกำจัดน้ำบางส่วนออกจากเนื้อเยื่อ ทำให้มีอัตราการทำแห้งเร็ว จึงช่วยลดเวลาในการทำแห้งลง และสามารถต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน จึงช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของรงควัตถุระหว่างการทำแห้ง นอกจากนี้ยังสามารถช่วยกำจัดสารที่ให้กลิ่นรสที่ไม่ต้องการในวัตถุดิบ เช่น รสฝาดขม ของแทนนิน (Lewicki, 2006;กุลนรี ศาสตร์ประสิทธิ์ และกุลยาลิ้มรุ่งเรืองรัตน์, 2552; สุภาพร อภิรัตนานุสรณ์, 2554) อย่างไรก็ตามในขั้นตอนของการเตรียมขั้นต้นนั้นอาจมีผลต่อการสูญเสียปริมาณใยอาหารผง การคงอยู่ของสารพฤกษเคมีที่สำคัญรวมถึงสมบัติเชิงหน้าที่ (Nilnakara,2006; Wachirasiri et al.,2009; Tanongkankit,2011)

ดังนั้นเพื่อพัฒนากระบวนการเตรียมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส ให้มีการสูญเสียองค์ประกอบของใยอาหาร สารพฤกษเคมีที่สำคัญในเปลือกเสาวรสพันธุ์สีม่วง ได้แก่ กลุ่มของสารประกอบโพลีฟีนอล แอนไทไซยานินและฟลาโวนอยด์ (Zibadi et al.,2007; Farid et al.,2010; Zeraik et al.,2011) ให้น้อยที่สุด เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อสุขภาพ รวมถึงปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค งานวิจัยนี้จึงศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นโดยการใช้ความร้อนและการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อคุณภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส

5.2.1 ผลของการเตรียมขั้นต้นโดยการใช้ความร้อนต่อคุณภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส

วัตถุประสงค์สำคัญหนึ่งของการเตรียมขั้นต้นโดยการใช้ความร้อน คือ การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ตัวอย่างเช่น โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenoloxidase) เปอร์ออกซิเดส(Peroxidase) และฟีนอเลส(Phenolase) และช่วยยับยั้งปฏิกิริยาเคมีที่ไม่พึงประสงค์ซึ่งเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอาหาร ดังนั้นเพื่อพิจารณาความสามารถของวิธีการเตรียมขั้นต้นที่มีผลต่อการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ในงานวิจัยนี้จึงทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสหลังการลวกเปลือกเสาวรส เมื่อใช้วิธีการให้ความร้อนและเวลาการให้ความร้อนที่ต่างกัน ซึ่งกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสนิยมใช้เป็นดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการเตรียมขั้นต้นเนื่องจากเป็นเอนไซม์ที่ทนความร้อนได้ดีที่สุด จึงใช้บ่งบอกถึงความสามารถในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่มีอยู่ในตัวอย่างได้ การทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส ดำเนินการโดยนำเปลือกเสาวรสที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นมาบด แล้วเติมสารละลายกัวไอคอล (Guaiacol) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งเป็นการเพิ่มสารตั้งต้น (Substrate) และออกซิเจนให้กับระบบเขย่าให้ผสมกันแล้วสังเกตสีของตัวอย่าง หากมีสีน้ำตาลแดง แสดงถึงยังมีกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสอยู่ แต่หากไม่ปรากฏสี แสดงว่าไม่มีกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสดังนั้นการทดสอบดังกล่าวมีหลักการสำคัญคือ เมื่อเนื้อเยื่อตัวอย่างถูกทา ลาย เช่นจากการบด หั่นหรือสับ หากเอนไซม์ในตัวอย่างยังไม่ถูกทำลายไปจะสามารถทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้นในสภาวะที่มีออกซิเจน ทำให้สารโมโนฟีนอล (Monophenol) (ไม่มีสี) ถูกออกซิไดซ์เป็นไดฟีนอล (Diphenol) (ไม่มีสี) และถูกออกซิไดซ์ต่อเป็น ออโทคิวโนน (*o*-quinone) ซึ่งมีสีน้ำตาล และจะรวมตัวกันเป็นพอลิเมอร์เกิดเป็นสารโมเลกุลใหญ่มีสีน้ำตาลแดง (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2553)

จากตารางที่ 4-4 พบว่า สิ่งทดลองที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการใช้ความร้อนทุกสิ่งทดลอง ตรวจไม่พบกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส แสดงให้เห็นว่าการเตรียมขั้นต้นเปลือกเสาวรสโดยการใช้ความร้อนตามสภาวะในงานวิจัยนี้ เพียงพอที่จะสามารถยับยั้งเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสได้ ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนทำให้เอนไซม์ซึ่งเป็นโปรตีนเกิดการเสียสภาพ (Denature) จึงไม่สามารถทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีได้ (Kendall, DiPersio, & Sofos, 2004) การจัดสิ่งทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial experiment) เป็นการศึกษาทุกปัจจัยพร้อมกัน (Treatment combination) โดยที่แต่ละปัจจัยมีได้หลายระดับ สามารถศึกษาอิทธิพลหลักของปัจจัยและปฏิกิริยาสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยได้ หากมีปฏิกิริยาสัมพันธ์ (Interaction)

หรือ มีอิทธิพลร่วมของปัจจัยที่ศึกษา แสดงให้เห็นว่าผลตอบสนองของการใช้ปัจจัยหนึ่งในระดับต่างๆ จะมีแนวโน้มไม่เหมือนกันกับการใช้อีกปัจจัยหนึ่งในระดับต่าง ๆ ในทางตรงกันข้ามหากไม่มีปฏิกิริยาสัมพันธ์กัน หรือ ไม่มีอิทธิพลร่วมของปัจจัยที่ศึกษา แสดงให้เห็นว่าผลตอบสนองของการใช้ปัจจัยหนึ่งในระดับต่าง ๆ มีแนวโน้มเหมือนกันกับการใช้อีกปัจจัยหนึ่งในระดับต่าง ๆ (สุรพล อุปดิสสกุล, 2526)

จากตารางที่ 4-5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ค่าสีของเปลือกเสาวรสหลังการเตรียมขั้นต้นโดยใช้ความร้อน พบว่า อิทธิพลระหว่างวิธีการให้ความร้อนและเวลาการให้ความร้อน (Method*Time) มีผลต่อค่าสี (L* a* b* Hue angle Chroma และΔE) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และจากตารางที่ 4-6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) คุณภาพของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างวิธีการให้ความร้อนและเวลาการให้ความร้อน (Method*Time) มีผลต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และค่าสี (L* a* b* Hue angle Chroma และΔE) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในขณะที่ไม่มีอิทธิพลร่วมกันระหว่างวิธีการให้ความร้อนและเวลาการให้ความร้อนต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ($p\geq0.05$) รวมถึงปัจจัยหลักทั้งของวิธีการให้ความร้อนและเวลาการให้ความร้อนไม่มีผลต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระเช่นกัน ($p\geq0.05$)

จากตารางที่ 4-7 พบว่า เปลือกเสาวรสหลังการเตรียมขั้นต้นโดยใช้ความร้อน มีค่า L* a*และ b* อยู่ในช่วงอยู่ในช่วง 37.76-45.16 6.95-14.61 และ 11.37-14.80 ตามลำดับ โดยภาพรวมแสดงให้เห็นว่าเปลือกเสาวรสหลังการเตรียมขั้นต้นโดยการให้ความร้อนทุกสิ่งทดลองมีความสว่างน้อย (ถ้าค่า L* มีค่าเข้าใกล้ 100 แสดงถึงวัตถุมีความสว่างมาก) มีค่าสี a* และ b* เป็นบวกแสดงถึงมีความเป็นสีแดงและสีเหลืองตามลำดับ ค่าสี a* ซึ่งแสดงความเป็นสีแดง เป็นดัชนีที่สอดคล้องกับชนิดของรงควัตถุแอนโทไซยานินมากที่สุด (ญาณี จินดามัง และปิ ยะวิทย์ ทิพรส, 2555) ซึ่งสอดคล้องกับสีม่วงแดงของเปลือกเสาวรสด้วย เมื่อพิจารณาค่าสี a* ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยน้า ร้อนเป็นเวลา 6 นาที ในสิ่งทดลองที่ 2 เปลือกเสาวรสมีค่า a*ต่ำที่สุด ในขณะที่การเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำ เป็นเวลา 3 นาที ในสิ่งทดลองที่ 3 เปลือกเสาวรสมีค่า a* สูงที่สุด แสดงให้เห็นว่าสภาวะการเตรียมขั้นต้นชิ้นเปลือกเสาวรสโดยวิธีลวกด้วยน้ำร้อนโดยใช้เวลาลวกนานมีผลให้ค่าความเป็นสีแดงลดลงได้มากกว่าวิธีอื่น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแอนโทไซยานินมีสมบัติละลายได้ดีในน้ำสลายตัวได้ง่ายด้วยความร้อน ออกซิเจน และแสง ทำให้โครงสร้างของแอนโทไซยานินเปลี่ยนไป ความเป็นสีม่วงแดงจึงเปลี่ยนไปด้วย (Lila , 2004; Yang& Zhai, 2010) การลวกในน้ำร้อนเป็นเวลานานจึงมีโอกาสให้แอนโทไซยานินสลายตัวได้มากขึ้นและการใช้น้ำร้อนเป็นตัวกลางในการลวกยิ่งเพิ่มโอกาสการชะออกของแอนโทไซยานินออกมาในน้ำที่ใช้ลวกได้มากขึ้นอีกด้วย ซึ่งพบข้อสังเกตจากน้ำที่ใช้ลวกมีสีม่วงแดงอ่อนหลังการลวก ในขณะที่การลวกด้วยไอน้ำ เป็นเวลาสั้นเป็นการให้ความร้อนโดยใช้ไอน้ำ เป็นตัวกลางซึ่งมีความรุนแรงน้อยกว่า จึงมีโอกาสรักษาแอนโทไซยานินได้มากกว่าสิ่งทดลองอื่น เมื่อพิจารณาค่าสี L* และ b*ร่วมด้วย พบว่า สิ่งทดลองที่ 2 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำร้อน เป็นเวลา 6 นาทีเปลือกเสาวรสมีค่า L* สูงที่สุด (43.21) และมีค่า b* ต่ำที่สุด

(11.37) แสดงถึงมีความสว่างมากที่สุดและมีความเป็นสีเหลืองต่ำที่สุด ซึ่งอาจเป็นผลจากเกิดการสลายตัวและการถูกชะของแอนโทไซยานินนั่นเอง รวมทั้งการเตรียมขั้นต้นโดยการให้ความร้อนสามารถยับยั้งเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล เช่น Polyphenoloxidase Peroxidase และ Phenolase โดยความร้อนทำให้เอนไซม์ซึ่งเป็นโปรตีนเกิดการเสียสภาพ จึงไม่สามารถทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีได้ (Lewicki, 2006) ส่งผลให้ไม่เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ทำให้เปลือกเสาวรสมีสีคล้ำ จึงทำให้เปลือกเสาวรสยังคงมีความสว่างมาก

จากตารางที่ 4-7 สาหรับผลของค่า Hue angle และค่า Chroma พบว่า สิ่งทดลองที่ 2 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำร้อน เป็นเวลา 6 นาที เปลือกเสาวรสมีค่า Hue angle สูงที่สุด (58.59) และมีค่า Chroma ต่ำที่สุด (13.32) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 3 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำ เป็นเวลา 3 นาที เปลือกเสาวรสมีค่า Hue angle ต่ำที่สุด (41.77) และมีค่า Chroma สูงที่สุด (19.60) โดยหากค่า Hue angle อยู่ในช่วง 0-45 องศา แสดงถึงมีเฉดสีม่วงแดงถึงสีส้มแดงค่า Hue angle อยู่ในช่วง 45-90 องศา แสดงถึงเฉดสีส้มแดงถึงสีเหลืองและหากค่า Chroma มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงถึงวัตถุมีสีซีดจาง (เทา) ถ้ามีค่าเข้าใกล้ 60 แสดงถึง วัตถุมีสีเข้ม (McGuire, 1992) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสภาวะการเตรียมขั้นต้นเปลือกเสาวรสโดยใช้ความร้อนโดยวิธีลวกด้วยน้ำร้อนร่วมกับการใช้เวลาลวกนาน (6 นาที) มีผลให้เปลือกเสาวรสมีเฉดสีส้มแดงถึง สีเหลืองและมีความเข้มสีต่ำกว่าสิ่งทดลองอื่น ในขณะที่การลวกด้วยไอน้ำ เป็นเวลาสั้น (3 นาที) มีผลให้เปลือกเสาวรสยังคงมีเฉดสีม่วงแดงถึงสีส้มแดงและมีความเข้มสีมากกว่าสิ่งทดลองอื่นๆ และจากผลการคำนวณค่า ΔE เมื่อเปรียบเทียบค่าสีกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการใช้ความร้อน พบว่า การเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำร้อน เป็นเวลา 6 นาที มีค่า ΔE สูงที่สุดในขณะที่การเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำ เป็นเวลา 3 นาที มีค่า ΔE ต่ำที่สุด แสดงผลยืนยันให้เห็นว่าสภาวะการเตรียมขั้นต้นชิ้นเปลือกเสาวรสโดยการใช้ความร้อนด้วยวิธีลวกด้วยน้ำร้อนร่วมกับการใช้เวลา 6 นาที ทำให้ค่าสีเปลี่ยนแปลงไปจากตัวอย่างควบคุมมากที่สุด และการลวกด้วยไอน้ำ เป็นเวลา 3 นาที ทำให้ค่าสีเปลี่ยนแปลงไปจากตัวอย่างควบคุมน้อยที่สุด

จากตารางที่ 4-7 เมื่อพิจารณาผลการเตรียมขั้นต้นโดยการให้ความร้อนด้วยไอน้ำภายใต้ความดัน พบว่า มีผลให้ค่าสีเปลือกเสาวรสหลังการลวกเปลี่ยนแปลงไปน้อยกว่าการลวกด้วยน้ำร้อน แต่มากกว่าการลวกด้วยไอน้ำ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในการลวกด้วยน้ำร้อนมีการใช้น้ำร้อนเป็นตัวกลางและชิ้นตัวอย่างมีโอกาสสัมผัสกับน้ำ ที่ใช้ลวกได้โดยตรง รวมถึงชิ้นตัวอย่างมีโอกาสกระแทกกันได้ระหว่างการลวก ในขณะที่การลวกด้วยไอน้ำ และการลวกด้วยไอน้ำ ภายใต้ความดันมีการใช้ไอน้ำร้อนเป็นตัวกลางและชิ้นตัวอย่างอยู่กับที่ จึงมีโอกาสให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าสีไปน้อยกว่า การใช้ไอน้ำ ภายใต้ความดัน 15 psi มีผลให้ระดับอุณหภูมิของไอน้ำ สูงถึง 121 องศาเซลเซียส จึงอาจมีผลให้เนื้อเยื่อของเปลือกเสาวรสมีลักษณะนุ่มขึ้นมากกว่าการใช้ไอน้ำ จากสภาวะความดันปกติ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rein (2005) ที่กล่าวว่า อุณหภูมิมีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานิน โดยอัตราการสลายตัวของแอนโทไซยานินจะเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิสูงขึ้น และมีรายงานว่าในเนื้อเยื่อพืชแอนโทไซยานินจะอยู่ในรูปของ Cyanidin 3-glucoside

และ Cyanidin 3-rutinoside ซึ่งสามารถสลายตัวได้ดีที่อุณหภูมิสูงตั้งแต่ 100 องศาเซลเซียส ในสภาวะกรดอ่อน ทั้งสภาวะที่มีและไม่มีออกซิเจน (Adams, 1973; Mercadante &Bobbio, 2008) รงควัตถุแอนโทไซยานินที่อยู่ในเซลล์เนื้อเยื่อส่วนเปลือกเสาวรสจึงมีโอกาสถูก ชะออกและได้รับความร้อนทำให้แอนโทไซยานินสลายตัวหรือเปลี่ยนโครงสร้างไปได้มาก

จากตารางที่ 4-8 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส พบว่า สิ่งทดลองที่ 3 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำ เป็นเวลา 3 นาที ทำให้ได้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดสูงที่สุด (5.76 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ($p<0.05$) รองลงมาคือ สิ่งทดลองที่ 4 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกด้วยไอน้ำ เป็นเวลา 6 นาที ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 1 2 5 และ 6 ที่ผ่านการลวกด้วยน้ำร้อนและการลวกด้วยไอน้า ภายใต้ความดัน เป็นเวลา 3 นาที และ 6 นาที ตามลำดับ มีผลให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ได้มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดต่ำที่สุด (4.07-4.23 กรัม/100 กรัม น้า หนักแห้ง) ($p\geq0.05$) แสดงให้เห็นว่าน้ำตาลสามารถถูกกำจัดออกไปได้มากกว่า เมื่อลวกด้วยน้ำร้อนหรือไอน้ำ ภายใต้ความดัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเตรียมขั้นต้นโดยการให้ความร้อนด้วยการลวกมีผลทำ ให้โครงสร้างพืชเกิดการเปลี่ยนแปลง เนื้อเยื่อพืชอ่อนนุ่มลง (Larrauri,1999; Nilnakara, 2006; Wachirasiri et al.,2009;Tanongkankit, 2011) ประกอบกับการใช้น้ำ เป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน ชิ้นเปลือกเสาวรสมีโอกาสสัมผัสกับน้ำที่ใช้ลวกได้โดยตรง จึงทำให้เกิดการสูญเสียสารที่มีโมเลกุลต่ำ และละลายน้ำได้ เช่น น้ำตาล ไปกับน้ำที่ใช้ลวกได้ (Wennbeg, Ekvall,Olsson, & Nyman, 2006) ซึ่งเป็นการเพิ่มโอกาสที่น้ำตาลอิสระที่อยู่ในเปลือกเสาวรสมีโอกาสถูกชะออกมาได้มากกว่าการลวกด้วยไอน้ำ ซึ่งมีไอน้ำ เป็นตัวพาความร้อน และชิ้นเปลือกเสาวรสอยู่กับที่ สำหรับการใช้ไอน้ำ ภายใต้ความดัน 15psi มีผลให้ระดับอุณหภูมิของไอน้ำ สูงถึง 121 องศาเซลเซียส มีโอกาสทำให้เนื้อเยื่อของเปลือกเสาวรสมีลักษณะนุ่มขึ้นมากกว่าการใช้ไอน้ำจากสภาวะปกติ จึงมีผลให้เกิดการสูญเสียน้ำตาลอิสระออกมาได้มาก อย่างไรก็ตามพบว่า การเตรียมขั้นต้นเปลือกเสาวรสโดยการใช้ความร้อนตามสภาวะในงานวิจัยนี้สามารถกำจัดน้ำตาลออกจากวัตถุดิบได้ เนื่องจากมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่คงอยู่ในผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส (4.07-5.76 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) น้อยกว่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของเปลือกเสาวรสผงที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้น (7.10 กรัม/100 กรัม น้า หนักแห้ง) คิดเป็นการลดลง 1.34%-3.03%

จากตารางที่ 4-9 ผลการวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมดของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 และ 2 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำร้อน เป็นเวลา 3 นาที และ 6 นาที ตามลำดับ มีผลให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ได้มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดมากที่สุด (90.43 และ 92.05 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการลวกด้วยน้ำร้อน มีน้ำเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน ดังนั้นสารประกอบต่าง ๆ ที่ไม่ใช่ใยอาหารและสามารถละลายน้ำได้ จึงถูกชะออกไปกับน้ำที่ใช้ในการลวก ทำให้ปริมาณใยอาหารทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้จากผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสมีปริมาณค่อนข้างสูง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wennberg et al. (2006) ที่กล่าวว่าการลวกด้วยน้ำ ส่งผลต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของใยอาหาร ได้แก่ สัดส่วนใยอาหารที่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และทำให้เกิดการสูญเสียสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ที่มีสมบัติละลายน้ำได้ ได้แก่ แร่ธาตุ

วิตามิน และน้ำตาลไปกับน้ำ ที่ใช้ลวก ซึ่งมีผลให้เพิ่มความบริสุทธิ์ของใยอาหารนั่นเอง เมื่อพิจารณาที่เวลาการให้ความร้อนในการลวกด้วยน้ำพบว่า การใช้เวลา 3 นาที และ 6 นาที ทำให้ได้ ผงใยอาหารที่มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) นั่นแสดงให้เห็นว่าเวลาการให้ความร้อนในการลวกด้วยน้ำ 3 นาที ก็เพียงพอที่ทำให้ได้ผงใยอาหารที่มีความบริสุทธิ์ได้ เป็นการประหยัดเวลา และค่าใช้จ่ายในกระบวนการเตรียมขั้นต้นได้

ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 3 และ 4 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำ เป็นเวลา 3 นาที และ 6 นาที ตามลำดับ มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) แต่มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด (81.94-84.58 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) น้อยกว่าสิ่งทดลองที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำ (90.43-92.05 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ทั้งนี้เนื่องจากการลวกด้วยไอน้ำ อาศัยไอน้ำ เป็นตัวพาความร้อน และชิ้นเปลือกเสาวรสอยู่กับที่ แม้ไอน้ำ ที่ให้กับชิ้นเปลือกเสาวรสอาจมีผลทำให้เปลือกเสาวรสอ่อนนุ่มลงได้ และมีโอกาสที่สารประกอบส่วนอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ใยอาหารสามารถถูกกำจัดออกมาได้ (Larrauri, 1999; Nilnakara, 2006; Wachirasiri et al., 2009;Tanongkankit, 2011) แต่ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความรุนแรงในการให้ความร้อนมีน้อยกว่าซึ่งอาจมีผลในการกำจัดสารประกอบต่าง ๆ ที่ไม่ใช่ใยอาหารออกไปได้ในปริมาณที่น้อยกว่าการลวกด้วยน้ำ

สำหรับสิ่งทดลองที่ 5 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำ ภายใต้ความดัน เป็นเวลา 3 นาที มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดไม่แตกต่างกับสิ่งทดลองที่ 3 และ 4 ซึ่งผ่านการเตรียมขั้นต้น โดยการลวกด้วยไอน้ำ ($p \geq 0.05$) และสิ่งทดลองที่ 6 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำภายใต้ความดัน เป็นเวลา 6 นาที มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดน้อยที่สุด (77.73 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) แสดงให้เห็นแนวโน้มว่าการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำ ภายใต้ความดัน มีผลให้มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดคงอยู่น้อยโดยเฉพาะเมื่อใช้เวลาในการลวกนานขึ้น ยิ่งทำให้มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดน้อยที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการลวกด้วยไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียสภายใต้ความดัน 15 psi เป็นการให้ความร้อนโดยใช้ไอน้ำร้อนและอยู่ในระบบปิดเพื่อให้เกิดแรงดันอากาศสูง ซึ่งมีผลทำให้เนื้อเยื่อพืชอ่อนนุ่มลงมาก แม้มีโอกาสทำให้สารประกอบต่าง ๆ ที่ไม่ใช่ใยอาหารสูญเสียไปได้ แต่มีโอกาสที่ใยอาหารที่ละลายน้ำ ได้ ที่เป็นองค์ประกอบในเนื้อเยื่อพืช เช่น เพคติน (Dhingra et al., 2012) จะถูกชะออกมาระหว่างการลวกด้วยไอน้ำ ภายใต้ความดันได้มาก เช่นกัน แสดงให้เห็นว่าการใช้สภาวะการให้ความร้อนที่รุนแรงมาก และใช้เวลาในการลวกนานอาจมีผลต่อเนื้อเยื่อของพืช โดยทำลายผนังเซลล์พืชทำให้อ่อนนุ่มลง และมีผลให้เกิดการสูญเสียใยอาหารโดยเฉพาะกลุ่มที่ละลายน้ำได้ และเป็นองค์ประกอบของเนื้อเยื่อพืชได้มาก สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sila et al. (2008) รายงานว่า เพคตินเป็นพอลิแซ็กคาไรด์หลักที่ถูกสกัดออกมาได้ระหว่างกระบวนการให้ความร้อน การละลายของพอลิเมอร์ในผนังเซลล์เกิดขึ้นพร้อม ๆ กับการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อเซลล์ ทา ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่ควบคุมขนาดช่องเปิดของเซลล์และมีโอกาสสูญเสียไปได้ มากระหว่างการให้ความร้อน อย่างไรก็ตามพบว่า การเตรียมขั้นต้นเปลือกเสาวรสโดยการใช้ความร้อนตามสภาวะในงานวิจัยนี้สามารถทำให้ใยอาหารมีความบริสุทธิ์มากขึ้น เนื่องจากมีปริมาณใยอาหารทั้งหมดของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส (77.73-92.05 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) มากกว่าปริมาณใยอาหาร

ทั้งหมดของเปลือกเสาวรสผงที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้น (71.04 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) คิดเป็นการเพิ่มขึ้น 6.69%-21.01%

จากตารางที่ 4-10 ผลการวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส พบว่า สิ่งทดลองที่ 3 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำ เป็นเวลา 3 นาที มีผลให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ได้มีปริมาณแอนโทไซยานินมากที่สุด (21.08 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำ เป็นเวลาสั้นเป็นสภาวะที่ทำให้เปลือกเสาวรสมีโอกาสสัมผัสไอน้ำ ในสภาวะที่รุนแรงน้อย เป็นเวลาสั้น จึงสามารถรักษารงควัตถุแอนโทไซยานิน ที่มีสมบัติละลายได้ดีในน้ำ สลายตัวได้ง่ายด้วยความร้อนแสง และออกซิเจน (Rein, 2005) ทา ให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสยังคงรักษาปริมาณแอนโทไซยานินได้มาก สอดคล้องกับงานวิจัยของ Roy et al. (2009) กล่าวว่า การลวกด้วยไอน้ำเป็นทางเลือกหนึ่งในการเตรียมขั้นต้นที่ช่วยลดการสูญเสียสารพฤกษเคมีที่ละลายน้ำ และสลายตัวได้ง่ายด้วยความร้อนในระหว่างการลวก และ Tanongkankit (2011) รายงานว่า การเตรียมขั้นต้นโดยการลวกกะหล่ำปลีด้วยไอน้ำ ก่อนการทำแห้ง สามารถรักษาสารพฤกษเคมีไว้ได้ดีกว่าการลวกด้วยน้ำร้อน

ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 1 และ 2 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำร้อน เป็นเวลา 3 นาที และ 6 นาที ตามลำดับ รวมถึงสิ่งทดลองที่ 4 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำ เป็นเวลา 6 นาที มีผลให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ได้มีปริมาณแอนโทไซยานินไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) โดยมีปริมาณแอนโทไซยานิน (13.57-14.82 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) น้อยกว่าปริมาณแอนโทไซยานินของสิ่งทดลองที่ 3 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำ เป็นเวลา 3 นาที (21.08 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ทั้งนี้เนื่องจากการลวกด้วยน้ำร้อน มีน้ำเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน จึงทำให้มีโอกาสชะแอนโทไซยานินออกมาได้มากกว่าการลวกด้วยไอน้ำ เป็นเวลา 3 นาที อย่างไรก็ตามเมื่อลวกด้วยไอน้ำ เป็นเวลา 6 นาที ทำให้เปลือกเสาวรสมีโอกาสสัมผัสกับความร้อนได้นานขึ้น จึงทำให้รงควัตถุแอนโทไซยานินซึ่งไม่เสถียรต่อความร้อนสลายตัวไปได้มาก และมีโอกาสละลายออกมากับไอน้ำระหว่างการลวกปริมาณแอนโทไซยานินที่คงอยู่จึงเหลือน้อยกว่าการลวกด้วยไอน้ำ เป็นเวลา 3 นาที

สำหรับสิ่งทดลองที่ 5 และ 6 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำ ภายใต้ความดัน เป็นเวลา 3 นาที และ 6 นาที ตามลำดับ มีผลให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ได้มีปริมาณแอนโทไซยานินน้อยที่สุด (11.06-11.48 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ทั้งนี้อาจเนื่องจากแอนโทไซยานินเป็นสารประกอบที่ไม่เสถียร สามารถสลายตัวได้ง่ายด้วยความร้อน โดยอัตราการสลายตัวของแอนโทไซยานินจะเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิสูงขึ้น (Rein,2005) การใช้ความร้อนในการเตรียมขั้นต้นถึง 121 องศาเซลเซียส มีโอกาสทำให้กลุ่มสารที่เป็นองค์ประกอบของแอนโทไซยานิน เช่น Cyanidin 3-glucoside และ Cyanidin 3-rutinoside เกิดการสลายตัวได้มาก (Adams, 1973; Mercadante & Bobbio, 2008) อย่างไรก็ตามพบว่า การเตรียมขั้นต้นเปลือกเสาวรสโดยการใช้ความร้อนตามสภาวะในงานวิจัยนี้สามารถรักษาแอนโทไซยานินในวัตถุดิบได้ เนื่องจากมีปริมาณแอนโทไซยานินคงอยู่ในผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส (11.06-21.08 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu ต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) มากกว่า

ปริมาณแอนโทไซยานินของเปลือกเสาวรสผงที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้น (7.72 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu ต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) คิดเป็นการเพิ่มขึ้น 3.34%-13.36%สารประกอบฟีนอลิก เป็นสารประกอบที่สูตรโครงสร้างมีหมู่ไฮดรอกซิล (OH group)บนวงแหวนอะโรมาติก (Aromatic ring) ตั้งแต่ 1 กลุ่มขึ้นไป เป็นสารที่พบได้ในพืช ผัก และผลไม้มักจะรวมอยู่ในโมเลกุลของน้ำตาลในรูปของสารประกอบไกลโคไซด์ (Glycoside) น้ำตาลชนิดที่พบมากที่สุดในโมเลกุลของสารประกอบฟีนอลิก คือ น้ำตาลกลูโคส (Glucose) และพบว่าอาจมีการรวมตัวกันระหว่างสารประกอบฟีนอลิกด้วยกันเอง หรือสารประกอบฟีนอลิกกับสารประกอบอื่น ๆเช่น กรดอินทรีย์ (Organic acid) รวมอยู่ในโมเลกุลของโปรตีน แอลคาลอยด์ (Alkaloid) และเทอร์ พีนอยด์ (Terpenoid) เป็นต้น สารประกอบฟีนอลิกจากผักและผลไม้มีประโยชน์ต่อร่างกายและมีฤทธิ์ในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antixodant) ส่วนใหญ่กลุ่มที่พบคือ ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) กรดฟีนอลิก (Phenolic acid) โดยมีสมบัติสามารถละลายได้ในน้ำ (วิวัฒน์ หวังเจริญ,2545; Kim, Padilla-Zakour, & Griffiths, 2004; พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์,ม.ป.ป.) ดังนั้นในขั้นตอนการแปรรูปต่าง ๆ อาจทำให้เกิดการสูญเสียสารประกอบฟีนอลิกเหล่านี้ได้ทั้งจากออกซิเจน ความร้อน การชะ และอื่น ๆ

จากตารางที่ 4-10 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส พบว่า การเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีการให้ความร้อนและเวลาการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน มีผลให้ได้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดแตกต่างกัน ($p<0.05$) โดยสิ่งทดลองที่ 3 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำ เป็นเวลา 3 นาที มีผลให้ได้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ได้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด (106.87 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำ มีการใช้ไอน้ำ เป็นตัวพาความร้อน ชิ้นเปลือกเสาวรสอยู่กับที่ และมีโอกาสที่ชิ้นเปลือกเสาวรสสัมผัสกับไอน้ำ เป็นเวลาสั้นเพียง 3 นาที จึงกล่าวได้ว่าเป็นสภาวะการเตรียมขั้นต้นที่รุนแรงน้อยที่สุด จึงทำให้สารพฤกษเคมีกลุ่มโพลีฟีนอล ฟลาโวนอยด์ และแอนโทไซยานิน ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลิกที่พบในเปลือกเสาวรส ซึ่งมีสมบัติละลายได้ดีในน้ำ และเสื่อมสลายได้ง่ายด้วยความร้อน (ศรัณย์ ลาภนิธิพร, ณัฏฐา เลาหกุลจิตต์ และอรพิน เกิดชูชื่น, 2555) มีโอกาสยังคงอยู่ในเปลือกเสาวรสได้มากที่สุดดังนั้นการเตรียมขั้นต้นด้วยสภาวะนี้จึงยังคงสามารถรักษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสไว้ได้มากนั่นเอง แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับเปลือกเสาวรสผงที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นใด ๆ พบว่า ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำ เป็นเวลา 3 นาที มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (104.87 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) มากกว่าเปลือกเสาวรสผง (73.50 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเปลือกเสาวรสสดมีเอนไซม์กลุ่มฟีนอเลส โดยเอนไซม์ที่สำคัญ ได้แก่ โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase)และเปอร์ออกซิเดส (Peroxidase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สำคัญที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล หากเอนไซม์ในตัวอย่างยังไม่ถูกทำลายไปจะสามารถทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้นพวกกลุ่มสารประกอบฟีนอลิก ในสภาวะที่มีออกซิเจน ทำให้สารโมโนฟีนอล (Monophenol) (ไม่มีสี) ถูกออกซิไดซ์เป็นไดฟีนอล(Diphenol) (ไม่มีสี) และถูกออกซิไดซ์ต่อเป็น ออโทคิว

โนน (*o*-quinone) ซึ่งมีสีน้ำตาล และจะรวมตัวกันเป็นพอลิเมอร์เกิดเป็นสารโมเลกุลใหญ่มีสีน้ำตาลแดง (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2553) ดังนั้น การเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำ เป็นเวลา 3 นาที จึงเป็นสภาวะที่รุนแรงน้อย ที่ทำให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ได้ยังคงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากกว่าเปลือกเสาวรสผงนั่นเอง นอกจากนี้พบข้อสังเกตว่า ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำ เป็นเวลา 3 นาที มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากกว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของเปลือกเสาวรสสด (97.31 มิลลิกรัม กรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ทั้งนี้อาจเกิดจากการเตรียมขั้นต้นเปลือกเสาวรสก่อนการทำแห้ง นอกจากสามารถยับยั้งเอนไซม์ที่ทำลายสารประกอบฟีนอลิกแล้วยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเซลล์ และมีโอกาสปลดปล่อยสารประกอบฟีนอลิกอิสระออกมามากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Kessy et al. (2016) ที่ศึกษาผลของการเตรียมวัตถุดิบด้วยการลวกด้วยไอน้ำ ต่อคุณภาพของเปลือกลิ้นจี่แห้ง โดยติดตามปริมาณการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด พบว่า เปลือกลิ้นจี่ที่ผ่านการลวกด้วยไอน้ำ และทำแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (82.26 มิลลิกรัม กรดแกลลิก/กรัม) มากกว่าเมื่อเทียบกับเปลือกลิ้นจี่ที่ไม่ผ่านการลวกด้วยไอน้ำและทำแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส (59.68 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/กรัม) นอกจากนี้ยังพบว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากกว่าเมื่อเทียบกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของเปลือกลิ้นจี่สด (72.61 มิลลิกรัม กรดแกลลิก/กรัม) ทั้งนี้เนื่องมาจากเปลือกลิ้นจี่สดมีเอนไซม์ต่าง ๆ เช่น โพลีฟีนอล ออกซิเดสเปอร์ ออกซิเดส และแอนโทไซยาเนส เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิชัน (Enzymatic oxidation) ดังนั้นในระหว่างการทำแห้ง จึงมีโอกาสให้เอนไซม์ที่ยังคงอยู่ในเปลือกลิ้นจี่ทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอลิกในสภาวะที่มีออกซิเจน ทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลงได้ นอกจากนี้การสัมผัสความร้อนเป็นเวลานานยังเพิ่มโอกาสให้สารประกอบฟีนอลิกที่ไม่ทนต่อความร้อนสลายตัวได้มากขึ้น (Thermal degradation) ในขณะที่เปลือกลิ้นจี่ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกด้วยไอน้ำ ก่อนการทำแห้ง สามารถยับยั้งเอนไซม์ที่ทำลายสารประกอบฟีนอลิก และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเซลล์ และมีโอกาสให้สารประกอบฟีนอลิกที่สามารถสกัดได้(Extractable phenolic compounds) และสารประกอบฟีนอลิกที่ไม่สามารถสกัดได้ (Non-Extractable phenolic compounds) ถูกปลดปล่อยออกมา ดังนั้นเปลือกลิ้นจี่แห้งที่ผ่านการลวกด้วยไอน้ำ ก่อนการทำแห้งจึงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากกว่าเปลือกลิ้นจี่แห้งที่ไม่ผ่านการลวกด้วยไอน้ำ และมากกว่าเปลือกลิ้นจี่สดด้วยเช่นเดียวกัน

ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 2 ที่ผ่านการลวกด้วยน้ำร้อน เป็นเวลา 6 นาที มีผลให้ได้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดต่ำที่สุด (41.68 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำร้อน มีการใช้น้ำเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน มีโอกาสให้ชิ้นเปลือกเสาวรสสัมผัสกับน้ำ ที่ใช้ลวกได้มากกว่าการลวกด้วยไอน้ำ จึงทำให้สารประกอบฟีนอลิกที่มีสมบัติสามารถละลายน้ำ เกิดการสูญเสียไปกับน้ำ ที่ใช้ลวกได้มากขึ้น ซึ่งเมื่อใช้เวลาในการลวกนานขึ้น จึงมีแนวโน้มทำ ให้สารพฤกษเคมีมีโอกาสถูกชะและสลายตัวได้มากขึ้น (Davey et al., 2000; Singh, Singh, & Rai,2008) Ismail, Marjan, & Foong (2004) กล่าวว่า สารประกอบฟีนอลิกในผักผลไม้ที่พบ ส่วนใหญ่ คือ สารกลุ่มฟลาโวนอยด์ มีสมบัติสลายตัวได้เมื่อสัมผัสกับความร้อนในการลวก

ด้วยน้ำ รวมถึงมีโอกาสชะละลายไปกับน้ำ ที่ใช้ลวกได้ประมาณ 20 % เมื่อลวกในน้ำร้อน เป็นเวลา 1 นาที เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างสด จากผลการทดลองเมื่อพิจารณาการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำภายใต้ความดัน พบว่า ทำให้ได้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากกว่าผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ผ่านการลวกด้วยน้ำร้อน แต่มีปริมาณน้อยกว่าผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ผ่านการลวกด้วยไอน้ำ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการลวกโดยการใช้อุณหภูมิสูงถึง 121 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่มีความดัน 15 psi เป็นสภาวะการให้ความร้อนที่รุนแรงมากกว่า จึงมีแนวโน้มทำให้สารพฤกษเคมีสลายตัวได้มากกว่าการลวกด้วยไอน้ำ ที่ใช้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสในสภาวะความดันปกติ สอดคล้องกับที่ Volden et al. (2008) กล่าวว่าการสูญเสียสารประกอบฟีนอลิกสามารถเกิดขึ้นได้เนื่องจากการสลายตัวด้วยความร้อน และการละลายออกไปกับน้ำ ที่ใช้ลวก ดังนั้นการใช้อุณหภูมิสูงถึง 121 องศาเซลเซียส จึงมีโอกาสกระตุ้นให้สารประกอบฟีนอลิกสลายตัวและละลายออกไประหว่างการลวกได้มาก นอกจากนี้อุณหภูมิในการลวกที่สูงภายใต้ความดันนี้ ส่งผลให้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของชิ้นเปลือกเสาวรส ทำให้เปลือกผักผลไม้มีความนุ่มและมีลักษณะเป็นรูพรุน (Porosity) มากขึ้น จึงเพิ่มโอกาสการถ่ายมวลสารและเพิ่มโอกาสในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกออกมากับน้ำ ในระหว่างการลวกได้มากขึ้น (Cipriano, Ekici, Barnes, Gomes, & Talcott, 2015; Lin et al., 2012; Stamatopoulos, Katsoyannos,Chatzilazarou, & Konteles, 2012) แต่อย่างไรก็ตามจากผลการทดลอง พบว่า สิ่งทดลองที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำ และการลวกด้วยไอน้ำ ภายใต้ความดัน ยังคงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากกว่าสิ่งทดลองที่ผ่านการลวกด้วยน้ำร้อน

จากตารางที่ 4-10 ผลการวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส ซึ่งในงานวิจัยนี้รายงานเป็นค่า % inhibition เป็นการทดสอบประสิทธิภาพการจับกับอนุมูลอิสระ 2,2-diphenyl-1-picryhydrazyl (DPPH) โดยมีหลักการคือ DPPH ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระสังเคราะห์ที่มีความคงตัว เมื่ออยู่ในรูปสารละลาย DPPH จะมีสีม่วง ถ้าทำปฏิกิริยากับตัวอย่างที่มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและสามารถดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ดังนั้นการลดลงของความเข้มข้น DPPH (สีอ่อนลง) บ่งบอกถึงความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระของสารต้านอนุมูลอิสระ (Molyneux, 2004; บุหรัน พันธุ์สวรรค์, 2556) และเมื่อคำนวณเป็นค่า Inhibition แล้วเป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถของสารที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ หากมีค่า Inhibition มาก แสดงว่าสารสกัดนั้นมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระมาก จากผลการทดลอง พบว่า การเตรียมขั้นต้นโดยวิธีการให้ความร้อนและใช้เวลาการให้ความร้อนต่างกันไม่มีผลต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($p \geq 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกในน้ำร้อน การลวกด้วย ไอน้ำ และการลวกด้วยไอน้ำ ภายใต้ความดัน สามารถทำลายเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการทำลายของสารต้านอนุมูลอิสระ โดยเฉพาะเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอลิกไปเป็นสารอื่น (Nishiba &Suda, 1998) ดังนั้นผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการใช้ความร้อนในทุกสิ่งทดลองจึงแสดง % Inhibition ในปริมาณที่สูง โดยพบข้อสังเกตว่า แม้ปริมาณแอนโทไซยานิน และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้จากทุกสิ่งทดลองจะแตกต่างกัน ($p<0.05$) แต่ยังคงมี

ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระเพียงพอที่จะดักจับอนุมูลอิสระ DPPH ได้สูงถึง 89% และใกล้เคียงกันมาก จนเมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่า ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) นอกจากนี้สมบัติการต้านอนุมูลอิสระของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสอาจมาจากสารอื่น เช่น เบต้าแคโรทีน ซึ่งมีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ (Martini et al.,2010) ดังนั้นจึงอาจไม่ถูกชะออกไประหว่างการลวกและยังคงอยู่ในผงใยอาหาร โดยแสดงสมบัติการต้านอนุมูลอิสระได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nilnakara (2006) ที่รายงานว่าสารพฤกษเคมีที่มีสมบัติต้านอนุมูลอิสระ DPPH ไม่ได้มีเพียงแค่กลุ่มของสารประกอบฟีนอลิกเท่านั้น แต่หมายรวมถึงสารประกอบกลุ่มอื่นด้วย เช่น เบต้าแคโรทีน วิตามินซี ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ว่าแม้ผลการวิเคราะห์แสดงว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดแตกต่างกัน แต่ให้สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในระดับที่ใกล้เคียงกันได้

จากภาพที่ 4-1 แสดงลักษณะของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ไม่ผ่านและผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีและเวลาการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน พบว่า เปลือกเสาวรสผงที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นมีสีน้ำตาลอ่อนไม่เห็นลักษณะสีออกทางม่วงแดง ในขณะที่ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกด้วยน้ำ และไอน้ำ มีสีออกทางม่วงแดงมากกว่า ส่วนผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกด้วยไอน้ำ ภายใต้ความดันมีสีออกทางน้ำตาลค่อนข้างเข้ม และจากตารางที่ 4-11 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าสีของเปลือกเสาวรสผงที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยเครื่องมือวัด พบว่า มีค่าสี L* a* และ b* เท่ากับ 64.57 7.28 และ 21.25 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการประเมินด้วยตาเปล่า ที่เห็นว่าเปลือกเสาวรสผงมีสีน้ำตาลอ่อนทั้งนี้เนื่องจากการที่เปลือกเสาวรสไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นจึงมีโอกาสให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ โดยเกิดขึ้นเมื่อเซลล์ของพืชถูกบดหรือหั่น ทำให้เกิดปฏิกิริยาของสารประกอบฟีนอลิกที่อยู่ในเซลล์พืช เช่น กลุ่มของสารประกอบโพลีฟีนอล ฟลาโวนอยด์ และแอนโทไซยานิน ทำหน้าที่เป็นสารตั้งต้นสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ และมีเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชันได้เป็นออร์โท-ไดฟีนอล (*o*-diphenol) สารนี้จะถูกออกซิไดซ์ต่อให้เป็นออร์โท-ควิโนน (*o*-quinone) ซึ่งควิโนนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาที่เร่งด้วยเอนไซม์ PPO นี้ จะรวมตัวกันและเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดกับสารประกอบฟีนอลอื่นๆ หรือกับกรดอะมิโนได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำตาล (นิธิยารัตนาปนนท์, 2553) ดังนั้นเมื่อนำเปลือกเสาวรสที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นไปทำแห้งและบดเป็นผงทำให้ได้เปลือกเสาวรสผงที่มีสีน้ำตาลอ่อนซึ่งเป็นสีคล้ำ ไม่มีสีออกทางม่วงแดง

จากตารางที่ 4-11 เมื่อพิจารณาค่าสี L* และ a* พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 และ 2 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำร้อน เป็นเวลา 3 และ 6 นาที ตามลา ดับ และสิ่งทดลองที่ 3 และ 4 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำ เป็นเวลา 3 และ 6 นาที ตามลำดับ ได้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่มีค่าสี L* และ a* ใกล้เคียงกันและมีค่าค่อนข้างมาก โดยมีค่าสี L* อยู่ในช่วง 67.53-68.36 และมีค่าสี a* อยู่ในช่วง 8.11-8.72 แสดงถึง มีความสว่างและมีความเป็นสีแดงมาก ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 5 และ 6 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอนeh ภายใต้ความดัน เป็นเวลา 3 และ 6 นาที ตามลา ดับ มีค่าสี L* และ a* แนวโน้มต่า กว่า โดยมีค่าสี L* อยู่ในช่วง 66.15-67.01 และมีค่าสี a* อยู่ในช่วง 7.76-7.80 แสดง

ถึง มีความสว่างและสีแดงน้อยกว่า แสดงให้เห็นว่าการเตรียมขั้นต้นชิ้นเปลือกเสาวรสโดยการให้ความร้อนด้วยวิธีลวกด้วยน้ำ ร้อนและไอน้ำ ช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้จึงทำให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสมีความสว่างไม่เกิดสีน้ำตาลคล้ำ นอกจากนี้ยังสามารถรักษาวัตถุแอนโทไซยานินไว้ได้ แม้ผ่านการสัมผัสความร้อนในการทำแห้งยังคงได้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่มีสีออกม่วงแดง สำหรับการเตรียมขั้นต้นชิ้นเปลือกเสาวรสโดยการให้ความร้อนด้วยวิธีการลวกด้วยไอน้ำ ภายใต้ความดัน พบข้อสังเกตว่าชิ้นเปลือกเสาวรสก่อนการทำแห้งมีลักษณะนุ่ม และมีสีคล้ำ มากกว่าสิ่งทดลองอื่น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการลวกด้วยไอน้ำ ภายใต้ความดันเป็นการให้ความร้อนสูงถึง 121 องศาเซลเซียส ในระบบปิด ด้วยความร้อนที่สูงทำให้มีโอกาสทำลายเนื้อเยื่อของเปลือกเสาวรสให้อ่อนนุ่มลง นอกจากนั้นยังมีโอกาสให้รงควัตถุแอนโทไซยานินสลายตัวไปได้จากความร้อน รวมถึงอาจเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้ ซึ่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลนี้เกิดขึ้นเมื่อน้ำตาลรีดิวซ์ได้รับความร้อนในสภาวะที่มีน้ำ (aw > 0.2) โดยทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโน กรดอะมิโน และโปรตีน ได้เป็นไกลโคซิลเอมีน (N-substitutedglycosylamine) และเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องจนได้เป็นสารสีน้ำตาล (นิธิยา รัตนปานนท์, 2553) ดังนั้นเปลือกเสาวรสที่ผ่านการลวกด้วยไอน้ำ ภายใต้ความดันเมื่อทำแห้งและบดเป็นผง จึงทำให้ได้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่มีสีน้ำตาลมากกว่าสิ่งทดลองอื่น Femenia (2007) กล่าวว่า ความร้อนในกระบวนการแปรรูปอาหาร อาจส่งผลให้พอลิแซ็กคาไรด์ในเซลล์พืช เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพคติน และลิกนิน เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง สมบัติทั้งทางกายภาพและสมบัติทางเคมี โดยเฉพาะการให้ความร้อนในกระบวนการลวกทำให้สารประกอบเพคตินสลายตัวและละลายจากผนังเซลล์และเซลล์ชั้นกลางระหว่างเซลล์ที่อยู่ติดกัน ส่งผลให้เกิดการสูญเสียแรงยึดระหว่างเซลล์ ก่อให้เกิดช่องว่างระหว่างเซลล์และทำให้เนื้อเยื่ออ่อนนุ่มลง (Greve, McArdle, Gohlke, & Labavitch, 1994; Stolle-Smits, Beekhuizen,Recourt, Voragen, & Dijk, 1997; Ni, Lin, & Barrett, 2005) ดังนั้นการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำ ภายใต้ความดัน ซึ่งเป็นการลวกที่ใช้อุณหภูมิสูง มีผลทำให้เนื้อเยื่อถูกทำลายและทำให้เนื้อเยื่ออ่อนนุ่มลงมากกว่าการให้ความร้อนด้วยการลวกวิธีอื่น ๆ จึงเอื้อให้เนื้อเยื่อสัมผัสกับความร้อนทั้งจากกระบวนการลวกและกระบวนการทำแห้งได้มากขึ้น เนื้อเยื่อถูกทำลายมากและเกิดช่องว่างระหว่างเซลล์เนื้อเยื่อมาก จึงทำให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ผ่านการลวกด้วยไอน้ำภายใต้ความดันมีสีคล้ำ มากกว่าสิ่งทดลองอื่น สำหรับค่า b* พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 และ 2 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำร้อน เป็นเวลา 3 และ 6 นาที ตามลำดับ มีค่าสี b* ค่อนข้างต่ำ โดยมีค่าสี b* อยู่ในช่วง 12.01-13.45แสดงถึง มีความเป็นสีเหลืองน้อย ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 3 และ 4 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำ เป็นเวลา 3 และ 6 นาที ตามลลำดับ และสิ่งทดลองที่ 5 และ 6 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น โดยการลวกด้วยไอน้ำ ภายใต้ความดัน เป็นเวลา 3 และ 6 นาที ตามลา ดับ มีค่าสี b* แนวโน้มสูงกว่า โดยมีค่า b* อยู่ในช่วง 15.00-16.85 แสดงถึง มีความเป็นสีเหลืองมากกว่า ซึ่งจากการพิจารณาค่าสี b* ของเปลือกเสาวรสสด พบว่า มีค่าสี b* เท่ากับ 8.69 แสดงถึงการมีความเป็นสีเหลืองค่อนข้างต่ำ จึงอาจกล่าวได้ว่าผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ผ่านการลวกด้วยน้ำร้อนมีลักษณะความเป็นสีเหลืองใกล้เคียงกับเปลือกเสาวรสสดมากกว่าสิ่งทดลองอื่น

จากตารางที่ 4-11 สาหรับผลของค่า Hue angle และค่า Chroma พบว่า สิ่งทดลองที่ 3 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยไอน้ำเป็นเวลา 3 นาที ได้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่มีค่า Hue angle และค่า Chroma สูงที่สุด เท่ากับ 63.62 และ18.81 ตามลำดับ ($p<0.05$) โดยหากค่า Hue angle อยู่ในช่วง 45-90 องศา แสดงถึงมีเฉดสีส้มแดงถึงเหลือง และหากค่า Chroma มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงถึงวัตถุมีสีซีดจาง (เทา) ถ้ามีค่าเข้าใกล้ 60 แสดงถึงวัตถุมีสีเข้ม (McGuire, 1992) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสภาวะการเตรียมขั้นต้นเปลือกเสาวรสโดยการให้ความร้อนด้วยวิธีลวกด้วยไอน้ำ เป็นเวลา 3 นาที มีผลให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสมีเฉดสีอยู่ในช่วงสีส้มแดงถึงเหลืองและมีสีค่อนข้างเข้ม มากกว่าสิ่งทดลองอื่น ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 1 ที่ผ่านการลวกด้วยน้ำร้อน เป็นเวลา 3 นาที มีค่า Hue angle และค่า Chroma ต่ำที่สุด เท่ากับ 54.02 และ 14.84 ตามลำดับ ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่าสภาวะการเตรียมขั้นต้นเปลือกเสาวรส โดยการให้ความร้อนด้วยวิธีลวกด้วยน้ำร้อนเป็นเวลา 3 นาที มีผลให้ได้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส มีเฉดสีอยู่ในช่วงสีส้มแดงถึงเหลือง และมีความเข้มสีต่ำกว่าสิ่งทดลองอื่น และจากผลการคำนวณค่า ΔE แสดงผลยืนยันให้เห็นว่าสภาวะการเตรียมขั้นต้นชิ้นเปลือกเสาวรสโดยการให้ความร้อนด้วยวิธีการลวกด้วยน้ำร้อน เป็นเวลา 3 นาที ทำให้ค่าสีของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสเปลี่ยนแปลงไปจากตัวอย่างควบคุมมากที่สุด ในขณะที่การลวกด้วยไอน้ำ เป็นเวลา 3 นาที ทำให้ค่าสีของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสเปลี่ยนแปลงไปจากตัวอย่างควบคุมน้อยที่สุด จากเกณฑ์ในการคัดเลือกสิ่งทดลองที่กำหนดไว้ คือ เลือกสิ่งทดลองที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการใช้ความร้อนที่ทำให้กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสหมดลงโดยสมบูรณ์ และทำให้ได้ผงใยอาหารที่มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดมากที่สุด มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูง รวมถึงพิจารณาเปรียบเทียบกับคุณภาพของผงใยอาหารที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการใช้ความร้อน ประกอบการตัดสินใจ พบว่า การเตรียมขั้นต้นโดยการใช้ความร้อนในทุกสิ่งทดลองสามารถทำให้กิจกรรมของเอนไซม์หมดลงโดยสมบูรณ์ และพบว่าสิ่งทดลองที่ผ่านการลวกด้วยน้ำร้อน ทั้งเวลาการให้ความร้อน 3 และ 6 นาที เป็นวิธีที่ทำ ให้ได้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่มีปริมาณใยอาหารมากที่สุด (90.43-92.05 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) เมื่อพิจารณาร่วมกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ พบว่า สิ่งทดลองที่ผ่านการลวกด้วยน้ำร้อนเป็นเวลา 3 นาที มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (66.47 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) สูงกว่า สิ่งทดลองที่ผ่านการลวกด้วยน้ำร้อนเป็นเวลา 6 นาทีรวมถึงมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูง (88.92%) ดังนั้น สิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งเป็นการเตรียมขั้นต้นด้วยการให้ความร้อนโดยการลวกในน้ำร้อน (90±2oC) เป็นเวลา 3 นาที จึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำไปใช้สำหรับขั้นตอนต่อไป แต่อย่างไรก็ตามพบว่า ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ได้ ยังไม่พร้อมใช้งาน เนื่องจากพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสเบื้องต้นด้วยวิธีการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา โดยวิธี Quantitative Descriptive Analysis (QDA) ร่วมด้วยโดยการทดสอบวิธี QDAที่ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 8 คน ที่ได้รับการฝึกฝนก่อนทำการทดสอบจริง ซึ่งการฝึกฝนผู้ทดสอบนั้นเริ่มต้นจากการให้ผู้ทดสอบคุ้นเคยกับตัวอย่างผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น และรสชาติ และให้ผู้ทดสอบคิดค้นคำศัพท์เพื่อใช้อธิบายคุณลักษณะของตัวอย่างขึ้นเองไม่ปรึกษาหารือกัน จากนั้นให้ผู้ทดสอบแต่ละคนอธิบายคำศัพท์ที่

คิดค้นขึ้นมาและช่วยกันอภิปรายคำศัพท์ร่วมกันนิยามศัพท์ เพื่อคัดเลือกคำศัพท์ที่จะนำมาใช้ในการทดสอบ แบบทดสอบที่ใช้เป็นแบบสเกลเส้นตรงความยาว 15 เซนติเมตร ในการให้คะแนนคุณลักษณะด้านต่าง ๆ ที่ได้ตกลงกันไว้ ได้แก่ สีม่วงแดง กลิ่นเสาวรส และความฝาดขม โดยขีดเส้นตั้งฉากบนสเกลความยาว 15 เซนติเมตร

จากตารางที่ 4-12 แสดงผลการประเมินความเข้มของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยวิธี QDA พบว่า เปลือกเสาวรสผงที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้น มีความเข้มสีม่วงแดง (1.25) โดยมีกลิ่นเสาวรส (8.16) และยังคงมีความฝาดขม (8.71) ในขณะที่ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำร้อน เป็นเวลา 3 นาที มีความเข้มสีม่วงแดง (4.95) โดยมีกลิ่นเสาวรส (6.75) และยังคงมีความฝาดขม (5.33) หลงเหลืออยู่ในผงใยอาหาร ซึ่งความฝาดขมนี้อาจเนื่องมาจากเปลือกเสาวรสมีแทนนินเป็นองค์ประกอบ (Lima et al., 2016) โดยแทนนินเป็นสารที่ให้ความฝาดขม มีสมบัติละลายได้ในน้ำ ทั้งนี้ความฝาดขมที่เกิดขึ้นจะเป็นความรู้สึกของการรับรสที่เกิดขึ้นในปาก แทนนินสามารถละลายกับน้ำ ที่มีอยู่ในปาก ทำให้ต่อมรับรสสามารถรับความรู้สึกฝาดของแทนนิน อีกทั้งอาจมีต้นเหตุมาจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างแทนนินกับโปรตีนที่มีอยู่ในน้ำลาย และไกลโคโปรตีนที่มีอยู่ในปาก เกิดการเชื่อมโยง (Crosslink) ของพอลิเมอร์แทนนินกับโปรตีน ทำให้มีความรู้สึกฝาดขมติดอยู่ภายในปาก (Gustavson, 1956; Haslam, 1966;สรศักดิ์ เหลี่ยวไชยพันธุ์, 2531) จากผลการประเมินทางประสาทสัมผัสนี้แสดงให้เห็นว่าการเตรียมขั้นต้นโดยการใช้ความร้อนตามวิธีที่เหมาะสมที่สุดที่เลือกได้ยังคงได้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่มีข้อจำกัดในการนำไปใช้เป็นส่วนผสมอาหารเพราะยังมีรสฝาดขม

5.2.2 ผลของการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อคุณภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส

จากการตรวจเอกสาร พบว่า แทนนินเป็นสารที่ให้ความฝาดขมที่มักพบในเปลือกผักผลไม้ มีสมบัติละลายได้ในน้ำ และสามารถตกตะกอนได้ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ การแช่เปลือกผักผลไม้ที่มีองค์ประกอบของแทนนินในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในระยะเวลาที่เพียงพอ จึงมีโอกาสให้แทนนินละลายน้ำ และตกตะกอนได้ (Haslam, 1966; Morton, 1987;สรศักดิ์ เหลี่ยวไชยพันธุ์, 2531) สอดคล้องกับที่มีรายงานว่า การแช่วัตถุดิบในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ เป็นรูปแบบหนึ่งที่นิยมใช้ โดยสามารถช่วยกำจัดสารที่ให้กลิ่นรสที่ไม่ต้องการในวัตถุดิบ เช่น รสฝาดขม ของแทนนิน (Lewicki, 2006; กุลนรี ศาสตร์ประสิทธิ์ และกุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์, 2552; สุภาพร อภิรัตนานุสรณ์, 2554) นอกจากนี้การเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ก่อนการทำแห้ง มีวัตถุประสงค์สำคัญ คือ เพื่อกำจัดน้ำบางส่วนออกจากเนื้อเยื่อ ทำให้มีอัตราการทำแห้งเร็ว จึงช่วยลดเวลาในการทำแห้งลง และสามารถต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอนโทไซยานิน จึงช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของรงควัตถุแอนโทไซนินระหว่างการทำแห้ง รวมทั้งยังสามารถช่วยกำจัดสารที่ให้กลิ่นรสที่ไม่ต้องการในวัตถุดิบ เช่น รสฝาดขมของแทนนินในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่เปลือกเสาวรสที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยการให้ความร้อนโดยการลวกในน้ำร้อน (90±2oC) เป็นเวลา 3 นาที หลังจากนั้นนำเปลือกเสาวรสมาเตรียมขั้นต้นต่อโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 3% โดยมีปัจจัยที่

ศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 เวลาการแช่ 2 ระดับ คือ 10 นาที และ 30 นาที และปัจจัยที่ 2 สภาวะการใช้และไม่ใช้สุญญากาศ

จากตารางที่ 4-13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) คุณภาพของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างเวลาการแช่และการใช้สภาวะสุญญากาศ (Time*Vacuum) มีผลต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ค่าสี (L* และ b*) รวมถึงค่า Chroma และ ΔE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในขณะที่ไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างเวลาการแช่และการใช้สภาวะสุญญากาศต่อปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน ค่าสี a* และค่า Hue angle ($p\geq0.05$) อย่างไรก็ตามพบว่า อิทธิพลของปัจจัยหลักด้านเวลาการแช่มีผลต่อปริมาณใยอาหารทั้งหมด ($p<0.05$) อิทธิพลของปัจจัยหลักด้านการใช้สภาวะสุญญากาศมีผลต่อปริมาณแอนโทไซยานิน และค่า Hue angle ($p<0.05$) โดยอิทธิพลของปัจจัยหลักด้านเวลาการแช่และการใช้สภาวะสุญญากาศมีผลต่อค่าสี a* ($p<0.05$)

จากตารางที่ 4-14 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่สารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสภาวะสุญญากาศ เป็นเวลา 10 นาที มีผลให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ได้มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมากที่สุด (3.25 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ($p<0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 2 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่สารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสภาวะที่ไม่ใช้สุญญากาศ เป็นเวลา 10 นาที มีผลให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ได้มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดน้อยที่สุด (2.53 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ($p<0.05$) การนำชิ้นเปลือกเสาวรสที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำร้อน มาเตรียมขั้นต้นต่อโดยการแช่เปลือกเสาวรสในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ มีโอกาสเกิดกลไกการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการแช่โดยน้ำ จากภายในเนื้อเยื่อของวัตถุดิบจะเคลื่อนออกสู่สารละลาย ในขณะเดียวกันจะเกิดการแพร่ของโมเลกุลของสารอื่น ๆ เช่น น้ำตาล กรดอินทรีย์ สี วิตามิน กลิ่นและเกลือแร่ จากภายในเนื้อเยื่อสู่สารละลายภายนอก (Raoult-Wack, 1994; Zhao & Xie, 2004) ชิ้นเปลือกเสาวรสที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกด้วยน้ำร้อน มีลักษณะเนื้อเยื่อที่อ่อนนุ่มลงและความเป็นเยื่อเลือกผ่านมากขึ้น (Larrauri, 1999; Deylami, Rahman, Tan, Bakar, & Olusegun,2016) เมื่อนำมาเตรียมขั้นต้นต่อโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ ชิ้นเปลือกเสาวรสมีการกระจายอิสระอยู่ในสารละลาย ทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างชิ้นเปลือกเสาวรสและสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ เอื้อต่อการที่น้ำตาลอิสระ ซึ่งสามารถละลายน้ำได้ ละลายออกมากับสารละลายที่ใช้แช่ สำหรับการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ชิ้นเปลือกเสาวรสในสารละลายเกลือโซเดียม คลอไรด์ ในสภาวะความดันสุญญากาศ มีหลักการคล้ายคลึงกับการแช่ในสภาวะความดันบรรยากาศปกติ แต่จะมีโอกาสเกิดกลไกที่เรียกว่า Hydrodynamic mechanism (HDM) กล่าวคือ การดึงอากาศออกจากภาชนะที่บรรจุตัวอย่างเพื่อให้ระบบอยู่ในสภาวะสุญญากาศ ทำให้ก๊าซที่แทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างเนื้อเยื่อถูกดึงออกมา เมื่อครบตามระยะเวลาที่กำหนด จึงทำการปล่อยอากาศเข้ามาในระบบ เพื่อให้ระบบกลับมาอยู่ในสภาวะความดันบรรยากาศปกติ โดยทำการลดความดันภายในภาชนะลงจนกระทั่งความดันภายในเท่ากับความดันภายนอกภาชนะ สารละลายจะแพร่เข้าไปแทรกอยู่ในช่องว่างนั้นแทน การถ่ายโอนมวลนี้จะเกิดมากขึ้นที่

ผิวหน้า (Saurel, 2002; Betoret etal., 2003) อย่างไรก็ตาม Moreno, Bugueno, Velasco, Petzold, & Tabilo-Munizaga (2004) กล่าวว่ากลไก HDM ที่เกิดขึ้น มีผลทำให้โครงสร้างภายในเซลล์พืชเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยที่โครงสร้างภายในเซลล์พืชถูกบีบอัดยุบตัวลง ส่งผลให้อากาศและของเหลวตามธรรมชาติที่อยู่ภายในช่องว่างระหว่างเซลล์ของเนื้อเยื่อพืชถูกดูดออก ในงานวิจัยนี้พบว่า การนำชิ้นเปลือกเสาวรสมาแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ เมื่อเข้าสู่สภาวะสุญญากาศ หรือมีการดูดอากาศออกจากระบบ ชิ้นเปลือกเสาวรสมีโอกาสเกิดการยุบตัวจากการถูกบีบอัดกันเองในระหว่างใช้สภาวะสุญญากาศ และจากการที่ก๊าซที่แทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างเนื้อเยื่อถูกดึงออกมา และสังเกตเห็นว่าชิ้นเปลือกเสาวรสเกาะอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม จึงอาจไม่เอื้อต่อการแพร่ออกของน้ำตาลอิสระได้เท่าที่ควร นอกจากนี้เวลาการแช่ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการกำจัดน้ำตาลออกจากชิ้นเปลือกเสาวรส โดยพบว่าการแช่ชิ้นเปลือกเสาวรสในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ เป็นเวลา 10 นาที ในสภาวะบรรยากาศ เอื้อให้น้ำตาลแพร่ออกมาได้มากที่สุด จนปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่คงอยู่ในผงใยอาหารที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสภาวะที่ไม่ใช้สุญญากาศ เป็นเวลา 10 นาที มีปริมาณน้อยที่สุด ในขณะที่ น้ำตาลมีโอกาสถูกกำจัดออกไปได้น้อยกว่า เมื่อแช่นานขึ้นถึง 30 นาที ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากเปลือกเสาวรสมีองค์ประกอบที่เป็นใยอาหารอยู่สูง ซึ่งใยอาหารมีความสามารถในการดูดซับน้ำ และเกิดการพองตัวได้ ทั้งใยอาหารที่ละลายน้ำ เช่น เพคติน และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ เช่น เซลลูโลส จึงมีโอกาสที่ใยอาหารเหล่านี้สามารถจับกับน้ำ ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์และเกิดการพองตัวได้มาก ทำให้อาจขัดขวางการแพร่ออกของน้ำตาลอิสระที่อยู่ในเปลือกเสาวรสได้

จากผลการทดลอง พบว่า การเตรียมขั้นต้นเปลือกเสาวรสโดยการแช่ในการสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ตามสภาวะในงานวิจัยนี้ ทำให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ได้มีปริมาณ น้ำตาลทั้งหมด (2.53-3.25 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) น้อยกว่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกในน้ำร้อน (90±2°C) เป็นเวลา 3 นาที เพียงอย่างเดียว (4.14 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) คิดเป็นการลดลง 0.89%-1.61%

จากตารางที่ 4-15 ผลการวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมดของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส พบว่า ผลด้านปริมาณใยอาหารทั้งหมดของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสมีอิทธิพลจากปัจจัยหลักด้านเวลาการแช่ โดยพบว่า การเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ทั้งในสภาวะใช้และไม่ใช้สุญญากาศ เป็นเวลา 10 นาที ทำให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ได้มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดสูงที่สุด (83.82 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ในขณะที่การเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ทั้งในสภาวะใช้และไม่ใช้สุญญากาศเป็นเวลา 30 นาที ทำให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ได้มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดน้อยที่สุด(81.68 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเปลือกเสาวรสที่ผ่านการลวกด้วยน้ำร้อน เป็นเวลา 3 นาที ทำ ให้เนื้อเยื่อของเปลือกเสาวรสมีความอ่อนนุ่มและมีความเป็นเยื่อเลือกผ่านมากขึ้น เมื่อนำมาเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ต่อในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในเวลานานขึ้น จึงมีโอกาสทำให้ใยอาหารบางส่วนที่มีสมบัติละลายน้ำ ได้ เช่น เพคติน ละลายออกมากับสารละลายเกลือที่ใช้แช่ได้มากขึ้น ดังนั้นการแช่เปลือกเสาวรสเพียง 10 นาที จึงช่วยลดโอกาสที่สูญเสียใย

อาหารระหว่างการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ได้มากกว่าการใช้เวลาในการแช่นาน ขึ้นถึง 30 นาที ที่ทำให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ได้มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดต่ำที่สุด (81.68 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) Sila et al. (2008) รายงานว่าเพคตินเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่สามารถละลายออกมาระหว่างกระบวนการให้ความร้อน การละลายออกมาของพอลิเมอร์ในผนังเซลล์เกิดขึ้นพร้อมๆ กับการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อซึ่งเกี่ยวข้องกับการแยกตัวของเซลล์ ทำให้เพิ่มการเป็นเยื่อเลือกผ่าน (Permeability) ของเยื่อหุ้มเซลล์ เปลือกเสาวรสที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยการให้ความร้อนโดยการลวกในน้ำร้อน (90±2°C) เป็นเวลา 3 นาที จึงมีโอกาสเกิดการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อได้มาก ใยอาหารที่ละลายได้มักอยู่บริเวณผนังเซลล์จึงมีโอกาสแพร่ออกมาได้ ดังนั้นการนำเปลือกเสาวรสมาเตรียมขั้นต้นต่อโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 3% เพียง 10 นาที จึงลดโอกาสสูญเสียใยอาหารจากเปลือกเสาวรสได้มากกว่าการแช่เวลา 30 นาที ทำให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ได้มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดสูงที่สุด ($p<0.05$)

จากผลการทดลอง พบว่า การเตรียมขั้นต้นเปลือกเสาวรสโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ตามสภาวะในงานวิจัยนี้ ทำให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ได้มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด (81.31-83.82 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) น้อยกว่าปริมาณใยอาหารทั้งหมดของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกในน้ำร้อน (90±2°C) เป็นเวลา 3 นาที เพียงอย่างเดียว (90.43 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) คิดเป็นการลดลง 6.61%-9.12% สำหรับด้านปริมาณสารพฤกษเคมีของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่สารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสภาวะต่าง ๆ พบว่า ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยสามารถอธิบายกลไกที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้ คือ เกิดกลไกการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการแช่ และกลไกการเกิด HDM ระหว่างการแช่ในสภาวะสุญญากาศ โดยกลไกทั้งสองมีโอกาสเกิดคล้ายกับกรณีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลทั้งหมดดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น สำหรับกลไกการถ่ายเทมวลสารระหว่างการแช่ กลไกสำคัญคือ การที่น้ำ แพร่ออกจากเนื้อเยื่อสู่สารละลายเกลือ โดยมีสารประกอบอื่น ๆ ที่ละลายน้ำ ได้ เช่น แอนโทไซยานิน ฟลาโวนอยด์ กรดฟีนอลิก รวมถึงแทนนิน จากภายในเนื้อเยื่อแพร่ออกมาด้วย (Gustavson, 1956;Haslam, 1966; Kidoy et al., 1997) ดังนั้นการแช่ชิ้นเปลือกเสาวรสในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ อาจทำให้สารพฤกษเคมีที่ละลายน้ำ ได้ที่อยู่ในเนื้อเยื่อละลายออกมากับสารละลายเกลือที่ใช้แช่ จึงส่งผลต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยเช่นเดียวกัน สำหรับการเกิด HDM มีกลไกที่สำคัญคือ การที่ก๊าซที่แทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างเนื้อเยื่อถูกดึงออกมา แล้วสารละลายเกลือจะแพร่เข้ามาแทนที่ (Saurel, 2002; Betoret et al., 2003) โดยในระหว่างการแพร่ของน้ำ จะสามารถชะสารที่ละลายน้ำ ได้ออกมาด้วย สำหรับในงานวิจัยนี้สารที่มีโอกาสชะละลายออกมาอาจจะประกอบด้วยแอนโทไซยานิน สารประกอบฟีนอลิก กรดฟีนอลิก รวมถึงแทนนินที่ละลายน้ำได้และตกตะกอนออกมาได้ การแช่ในสภาวะสุญญากาศจึงอาจนำไปสู่โอกาสให้สารพฤกษเคมีเหล่านี้ละลายออกมาได้มาก ซึ่งพบข้อสังเกตจากสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์มีสีแดงอ่อนหลังการแช่ แสดงให้เห็นว่าแอนโทไซยานิน สารประกอบฟีนอลิก และแทนนินที่ละลายน้ำได้ อาจมีโอกาสสูญเสียไปได้หลังการแช่ในสภาวะสุญญากาศ นอกจากการแช่ชิ้นเปลือกเสาวรสในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์จะสามารถทำให้

แทนนินละลาย และตกตะกอนลงมาแล้ว ยังมีส่วนช่วยในการลดปริมาณความชื้นของตัวอย่างได้ดีขึ้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ ทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสาร เกลือแพร่เข้าไปในเนื้อเยื่อ ส่งผลให้น้ำแพร่ออกมาได้มาก จึงมีผลในการลดความชื้นเริ่มต้นก่อนการทำแห้งได้ เนื่องจากสารละลายเกลือโซเดียม เป็นสารละลายอนินทรีย์ที่สามารถแตกตัวเป็นไอออน และกระจายตัวอยู่ในน้ำ ได้ จะทำให้เกิดไฮเดรชัน (Hydration) ระหว่างโมเลกุลของน้ำกับไอออนประจุบวก หรือไอออนประจุลบได้ โดยปลายด้านขั้วลบของโมเลกุลน้ำ จะหันเหเข้าล้อมรอบไอออนประจุบวก ขณะเดียวกันปลายด้านขั้วบวกของโมเลกุลน้ำจะหันเหเข้าล้อมรอบไอออนประจุลบ (นิธิยา รัตนปานนท์, 2553) ดังนั้นการแช่เปลือกเสาวรสลงในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ จึงมีโอกาสให้ไอออนของเกลือจับกับโมเลกุลของน้ำ ที่อยู่ในเปลือกเสาวรส ทำให้ความชื้นเริ่มต้นก่อน การทำแห้งของเปลือกเสาวรสลดลง จึงช่วยลดเวลาในการทำแห้งลง ทำให้โอกาสที่ชิ้นเปลือกเสาวรสสัมผัสกับความร้อนในระหว่างการทำแห้งสั้นลง มีผลให้สารพฤกษเคมีต่าง ๆ ที่มีส่วนประกอบของวงแหวนอโรมาติก (Aromatric ring) และหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) ซึ่งมีลักษณะเป็นโมเลกุลขนาดเล็ก สามารถระเหยกลายเป็นไอและถูกพาไปกับความร้อนระเหยออกมาสู่ผิวหน้าอาหารได้น้อยลง (Bravo, 1998; นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549; โอภา วัชระคุปต์, 2550;นันท์นภัส เติมวงษ์, 2551) และจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระยะเวลาการทำแห้งของสิ่งทดลองที่ผ่านการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ลดลง โดยใช้เวลา 350-360 นาที การแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์นอกจากช่วยลดความชื้นเริ่มต้นก่อนการทำแห้งแล้ว ยังช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยเกลือโซเดียมคลอไรด์สามารถจับกับออกซิเจนที่มีอยู่ในน้ำ ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ลดลง ดังนั้นโอกาสที่จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์จึงเกิดน้อย ทำให้ลดการสูญเสียสารประกอบฟีนอลิกทั้งหลายที่สามารถเปลี่ยนโครงสร้างไปได้ด้วยออกซิเจน (Saencom, 2011) แม้ว่าการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์เป็นเวลานาน จะช่วยลดเวลาการทำแห้งลง แต่มีโอกาสที่สารพฤกษเคมีที่ละลายน้ำ ได้ ได้แก่ แอนโทไซยานิน ฟลาโวนอยด์ กรดฟีนอลิกรวมถึงแทนนิน จากภายในเนื้อเยื่อแพร่ออกมาด้วย (Gustavson, 1956; Haslam, 1966; Kidoy et al.,1997) สามารถละลายออกมากับน้ำ ที่ใช้แช่ได้มาก เมื่อนำไปทำแห้งจึงรักษาสารพฤกษเคมีไว้ได้ แต่ในปริมาณที่น้อยกว่าการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในเวลาสั้นนั่นเอง

จากตารางที่ 4-16 ผลการวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส พบว่า ผลด้านปริมาณแอนโทไซยานินของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ผ่านการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์มีอิทธิพลจากปัจจัยหลักด้านการใช้สภาวะสุญญากาศ โดยพบว่าการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่เกลือโซเดียมคลอไรด์ในสภาวะที่ไม่ใช้สุญญากาศ ทำให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ได้มีปริมาณแอนโทไซยานินมากที่สุด (12.94 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/100 กรัมน้ำหนักแห้ง) ในขณะที่การเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสภาวะที่ใช้สุญญากาศ ทำให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ได้มีปริมาณแอนโทไซยานินน้อยที่สุด (10.33 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ทั้งนี้เป็นผลมาจากกลไก HDM ที่เกิดขึ้นเมื่อใช้การแช่ในสภาวะสุญญากาศ จึงมีโอกาสกระตุ้นให้มีการแพร่ออกของของเหลวรวมทั้งสารพฤกษเคมีที่มีสมบัติละลายน้ำ เช่น รงควัตถุแอนโทไซยานินแพร่ออกมาได้ง่าย (Betoret et al.,

2003) ซึ่งแอนโทไซยานินเป็นสารประกอบที่ไม่เสถียร ละลายน้ำได้ (Lazzc et al., 2004) ดังนั้นการใช้สภาวะสุญญากาศในการแช่จึงเป็นการเพิ่มโอกาสในการสูญเสียแอนโทไซยานินไปกับสารละลายได้มากกว่าการแช่ในสภาวะที่ไม่ใช้สุญญากาศ สอดคล้องกับที่ ทิพวรรณ ทองสุข (2553) รายงานว่าการแช่ในสภาวะสุญญากาศ เป็นการกำจัดน้ำบางส่วนออกแล้วแทนที่ด้วยตัวทำละลาย เมื่อเนื้อเยื่อถูกแช่ในสารละลายภายใต้สภาวะสุญญากาศ อากาศจะถูกดูดออกจากรูขนาดเล็ก เมื่อนำความดันสู่สภาวะปกติ (ความดันบรรยากาศ) สารละลายจะแพร่เข้าไปในช่องว่างระหว่างเซลล์โดยการแพร่ตามรูขนาดเล็ก (Capillary) และโดยความแตกต่างของความเข้มข้นสารละลายกับน้ำ ในเนื้อเยื่อทำให้เร่งการแพร่ของของเหลว ดังนั้นการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสภาวะสุญญากาศจึงอาจกระตุ้นให้ของเหลวที่อยู่ในเนื้อเยื่อเปลือกเสาวรส ซึ่งของเหลวนี้อาจมีสารพฤกษเคมีที่ละลายน้ำ ได้ เช่น แอนโทไซยานิน แพร่ออกมากับสารละลายที่ใช้แช่ได้มากกว่าการแช่ในสภาวะบรรยากาศ

จากผลการทดลอง พบว่า การเตรียมขั้นต้นเปลือกเสาวรสโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ตามสภาวะในงานวิจัยนี้ ทำให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ได้มีปริมาณแอนโทไซยานิน (10.23-13.15 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) น้อยกว่าปริมาณแอนโทไซยานินของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกในน้ำร้อน (90±2oC) เป็นเวลา 3 นาที เพียงอย่างเดียว (14.82 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) คิดเป็นการลดลง 1.67%-4.59%

จากตารางที่ 4-17 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผงใยอาหาร จากเปลือกเสาวรส พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสมีปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่า สิ่งทดลองที่ 2 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสภาวะที่ไม่ใช้สุญญากาศ เป็นเวลา 10 นาที มีผลให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ได้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด (61.14 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) รองลงมาคือ สิ่งทดลองที่ 1 ที่ผ่านการเตรียม ขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสภาวะที่ใช้สุญญากาศ เป็นเวลา 10 นาที และสิ่งทดลองที่ 4 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสภาวะที่ไม่ใช้สุญญากาศ เป็นเวลา 30 นาที ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการแช่สารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสภาวะที่ไม่ใช้สุญญากาศ เป็นเวลา 10 นาที เป็นสภาวะที่รุนแรงน้อยที่สุด จึงลดโอกาสที่สารประกอบฟีนอลิกที่ละลายน้ำ ได้ เช่น แอนโทไซยานิน ฟลาโวนอยด์ กรดฟีนอลิก รวมถึงแทนนิน สูญเสียไประหว่างแช่ในสารละลายเกลือ (กุลนรี ศาสตร์ประสิทธิ์ และกุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์, 2552; สุภาพร อภิรัตนานุสรณ์, 2554) ในขณะที่การแช่ในสภาวะสุญญากาศ เป็นเวลา 10 นาที มีโอกาสเกิดกลไก HDM ที่ทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารได้เร็วขึ้น จึงมีโอกาสให้สารละลายในเนื้อเยื่อของเปลือกเสาวรสแพร่ออกมากับสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ได้มากขึ้น แต่เนื่องด้วยใช้เวลาในการแช่สั้น จึงอาจช่วยรักษาสารประกอบฟีนอลิกไว้ได้ แต่อย่างไรก็ตามผงใยอาหารที่เตรียมขั้นต้นด้วยสภาวะนี้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดน้อยกว่าการแช่ในสภาวะที่ไม่ใช้สุญญากาศ เช่นเดียวกันกับการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสภาวะที่ไม่ใช้สุญญากาศเป็นเวลา 30 นาที ทำให้ยังคงรักษาสารพฤกษเคมีได้ไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้เวลาในการแช่นาน มีโอกาสให้สูญเสียสารประกอบฟี

นอลิกที่ละลายน้ำ ออกมากับสารละลายที่ใช้แช่ แต่การไม่มีสภาวะสุญญากาศ อาจทำให้การแพร่ออกของสารประกอบฟีนอลิกน้อยลง จึงยังคงรักษาสารประกอบฟีนอลิกไว้ได้ ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 3 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสภาวะที่ใช้สุญญากาศ เป็นเวลา 30 นาที มีผลให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ได้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดต่ำที่สุด (57.86 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก การแช่ชิ้นเปลือกเสาวรสในสภาวะสุญญากาศเป็นเวลา 30 นาที เป็นสภาวะที่รุนแรงมากที่สุด มีโอกาสเกิดกลไก HDM ที่ทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารได้เร็วขึ้น ประกอบกับเวลาที่ใช้แช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์นาน จึงมีโอกาสให้สารที่ละลายน้ำ ได้ในเนื้อเยื่อแพร่ออกมาได้มากขึ้น แม้เวลาในการทำแห้งจะลดลงเหลือ 350 นาที (ตารางที่ 4-18) แต่สารประกอบฟีนอลิกก็มีโอกาสสูญเสียไปมากในระหว่างการแช่เช่นเดียวกัน ดังนั้นเมื่อแช่ชิ้นเปลือกเสาวรสในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ ในสภาวะสุญญากาศ เป็นเวลานานขึ้น จึงมีโอกาสที่สารประกอบฟีนอลิกที่สามารถละลายน้ำ ได้ ละลายออกมาในระหว่างการแช่ได้ การแช่ที่สภาวะนี้จึงมีผลให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกน้อยที่สุด ซึ่งผลการวิเคราะห์มีแนวโน้มคล้ายกันกับปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Blanda et al. (2008) กล่าวว่า การแช่ชิ้นแอปเปิ้ลในสารละลายภายใต้การใช้สภาวะสุญญากาศ มีผลทำให้สูญเสียสารประกอบ ฟีนอลิก ซึ่งส่วนใหญ่เนื่องมาจากการแช่ในสภาวะสุญญากาศกระตุ้นให้เกิดการถ่ายเทมวลสาร เพิ่มโอกาสให้สารประกอบฟีนอลิกละลายออกไปกับสารละลายที่ใช้แช่มากขึ้น

จากผลการทดลอง พบว่า การเตรียมขั้นต้นเปลือกเสาวรสโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ตามสภาวะในงานวิจัยนี้ ทำให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ได้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (57.86-61.14 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) น้อยกว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกในน้ำร้อน (90±2°C) เป็นเวลา 3 นาที เพียงอย่างเดียว (66.47 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) คิดเป็นการลดลง 5.33%-8.61%

จากตารางที่ 4-17 ผลการวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส พบว่า ค่า % Inhibition ในผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยวิธีการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ยังคงรักษาสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสไว้ได้มากที่สุด คือสิ่งทดลองที่ 2 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสภาวะที่ไม่ใช้สุญญากาศ เป็นเวลา 10 นาที ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสภาวะที่ไม่ใช้สุญญากาศร่วมกับเวลาในการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์เป็นเวลาสั้น ทำให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ได้ยังคงมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงที่สุด (83.52%) ทั้งนี้เนื่องจากสภาวะนี้เป็นสภาวะที่รุนแรงน้อยที่สุด ทำให้ลดโอกาสที่สารพฤกษเคมีที่ละลายน้ำ ได้สูญเสียไปกับสารละลายเกลือที่ใช้แช่

จากผลการทดลอง พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสภาวะที่ใช้สุญญากาศ เป็นเวลา 10 นาที ใช้เวลาในการทำแห้ง 360 นาที ทำให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ได้มีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ต่า ที่สุด (81.61%) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการแช่ชิ้น

เปลือกเสาวรสในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสภาวะสุญญากาศ มีโอกาสสูญเสียสารประกอบฟีนอลิกที่มีสมบัติละลายได้ในน้ำ ระหว่างการแช่สารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ได้ดีกว่าการแช่ในสภาวะที่ไม่ใช้สุญญากาศ สมบัติการต้านอนุมูลอิสระจึงมีโอกาสลดลงมากกว่า เช่นเดียวกับสิ่งทดลองที่ 3 และ 4 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ทั้งในสภาวะที่ใช้สุญญากาศและสภาวะที่ไม่ใช้สุญญากาศ เป็นเวลา 30 นาที ตามลำดับ พบว่ามีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระต่ำที่สุด (81.23-81.25%) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้เวลาในการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่นาน มีผลทำให้สารพฤกษเคมีบางส่วนที่สามารถละลายน้ำได้ ละลายออกมากับสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ใช้ในการแช่ได้มากขึ้น สมบัติการต้านอนุมูลอิสระที่วิเคราะห์ได้จึงน้อยกว่าการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ไม่ใช้สภาวะสุญญากาศ เป็นเวลา 10 นาที เมื่อพิจารณาค่า %Inhibition ร่วมกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด พบว่า ให้แนวโน้มที่สอดคล้องกัน กล่าวคือ ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมาก จึงมีผลให้ค่า %Inhibition ซึ่งแสดงสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมาก เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกส่วนใหญ่มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระนั่นเอง (Velioglu, Mazza, Gao, & Oomah, 1998; Halliwell, 2009)

จากการประเมินด้วยสายตา (ภาพที่ 4-2) พบว่า สิ่งทดลองที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ ได้ผงใยอาหารที่มีสีออกทางม่วงแดงมากกว่าผงใยอาหารที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ (Control) และพบว่าผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ทั้งใช้และไม่ใช้สภาวะสุญญากาศ 30 นาที ได้ผงใยอาหารที่มีลักษณะสีออกทางม่วงแดงเข้มกว่าผงใยอาหาร จากสิ่งทดลองที่ใช้เวลาการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์เป็นเวลา 10 นาที เมื่อนำผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสของทุกสิ่งทดลองมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดสี รายงานเป็นค่า L* a* b* Hue angle Chroma และ ΔE ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4-19 พบว่าผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ (Control) มีค่าสี L* a* และ b* เท่ากับ 67.71 8.72 และ 12.01 ตามลำดับ แสดงถึงมีสีคล้ำหรือสีออกน้ำตาลค่อนข้างเข้ม ในขณะที่ผงใยอาหารที่ผ่านการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์มีค่า L* a* และ b* อยู่ในช่วง 66.55-73.04 9.18-11.30 และ 12.31-14.67 ตามลำดับ แสดงถึงมีสีออกทางม่วงแดงมากกว่าซึ่งสอดคล้องกับผลการประเมินด้วยสายตา พิจารณาค่า L* a* และ b* ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส เมื่อเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ แปรเวลาการแช่และการใช้สภาวะสุญญากาศที่แตกต่างกัน พบว่าการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสภาวะสุญญากาศ เป็นเวลา 10 นาที ในสิ่งทดลองที่ 1 ทำให้ได้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส มีค่า L* สูงที่สุด เท่ากับ 73.04 มีค่า a* และ b* ต่ำที่สุด เท่ากับ 9.18 และ 12.31 ตามลำดับในขณะที่การเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ในสภาวะสุญญากาศ และไม่ใช้สุญญากาศ เป็นเวลา 30 นาที ในสิ่งทดลองที่ 3 และ 4 ตามลำดับ มีค่า L* ต่ำ อยู่ในช่วง 66.55-67.25 และมีค่า a* และ b* สูง อยู่ในช่วง 10.95-11.30 และ 14.27-14.67 ตามลำดับ นั่นแสดงให้เห็นว่า ผงใยอาหารที่ได้มีความสว่างน้อยกว่าและมีความเป็นสีแดงและสีเหลืองมากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการประเมินด้วยสายตา นอกจากนี้จากผลการคำนวณค่า

Hue angle และ Chroma พบว่า การเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ทุกสิ่งทดลองมีค่า Hue angle อยู่ในช่วง 51.64-53.28 ซึ่งให้เฉดที่ไปทางม่วงแดงมากกว่าเมื่อเทียบกับผงใยอาหารที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้น โดยการแช่สารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ ที่มีค่า Hue angle เท่ากับ 54.02 และการเตรียมขั้นต้น โดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ ทั้งในสภาวะสุญญากาศและสภาวะที่ไม่ใช้สุญญากาศ เป็นเวลา 30 นาที ทำให้ได้ผงใยอาหารที่มีค่า Chroma สูงที่สุด เท่ากับ 18.20-18.31สำหรับค่า ΔE พบว่า การเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสภาวะที่ไม่ใช้สุญญากาศ เป็นเวลา 10 นาที มีค่า ΔE ต่ำที่สุด แสดงให้เห็นว่าผงใยอาหารที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงสีไปจากผงใยอาหารที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ซึ่งเป็นตัวอย่างควบคุมน้อยที่สุด เมื่อพิจารณาคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาด้วยวิธี QDA ของสิ่งทดลองที่ผ่านและไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ เมื่อเสนอตัวอย่างให้ผู้ทดสอบประเมินในลักษณะผงแห้ง (ภาพที่ 4-3) พบว่า สิ่งทดลองที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ทุกสิ่งทดลอง มีความฝาดขม (0.46-0.85) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเทียบกับตัวควบคุมที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ (5.33) โดยความฝาดขมที่รับรู้ได้นั้นอาจเกิดจากการที่ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสมีสารแทนนินเป็นองค์ประกอบ ซึ่งมักให้ความฝาดขมเฉพาะตัว โดยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนสามารถรับรู้ลักษณะเฉพาะตัวดังกล่าวได้อยู่ในระดับเล็กน้อย ทั้งนี้ความฝาดขมที่เกิดขึ้นจะเป็นความรู้สึกของการรับรสที่เกิดขึ้นจากสารประกอบเคมีประเภทแทนนินที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อพืชความรู้สึกของความฝาดขมที่เกิดขึ้นในปาก มีต้นเหตุมาจากการเกิดอัตรกิริยาระหว่างแทนนินกับโปรตีนที่มีอยู่ในน้ำลาย และไกลโคโปรตีนที่มีอยู่ในปาก ทำให้คุณสมบัติของการหล่อลื่นของน้ำลายสูญเสียไปเพราะเกิดการเชื่อมโยง (Crosslink) ของพอลิเมอร์แทนนินกับโปรตีน (Haslam,1966; สรศักดิ์ เหลี่ยวไชยพันธุ์, 2531) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสามารถลดความฝาดขมได้ โดยการนำเปลือกเสาวรสมาเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียม คลอไรด์ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สามารถกำจัดแทนนินออกได้ โดยทั่วไปแทนนินสามารถละลายน้ำได้ และสามารถถูกสกัดออกมาได้ด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (Figuerole et al., 2005; สุชาติ สุขสถิตย์ และผุสดี ตังวัชรินทร์, 2558) นอกจากนี้การแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์กระตุ้นให้เกิดการแพร่ออกของสารเนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นในสารละลายที่ใช้และชิ้นเปลือกเสาวรส จึงทำให้เกิดแรงดันออสโมติก สารแทนนินสามารถแพร่ออกมากับน้ำในระหว่างการแช่ได้ และอีกทางหนึ่งคือการแช่ในสารละลายเกลืออาจจะช่วยตกตะกอนแทนนินออกมาได้

จากภาพที่ 4-3 พบว่า สิ่งทดลองที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ทุกสิ่งทดลอง มีกลิ่นเสาวรส (2.69-3.91) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเทียบกับตัวควบคุมที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ (6.75) อาจเป็นไปได้ว่ากลิ่นที่ระเหยได้ของเสาวรสซึ่งเป็นสารที่สามารถละลายน้ำ ได้ เช่น esters, 3-methyl-thiohexan-1-ol, 2-methyl-4-propyl-1, 3oxathione enantiomers และ edulans I and II (Dhawan et al., 2004) สามารถละลาย

ไปพร้อมกับสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ใช้ ความเป็นกลิ่นเสาวรสจึงมีโอกาสลดลง แต่อย่างไรก็ตามก็สอดคล้องกับแนวทางของการผลิตใยอาหารในอุดมคติที่ Laurri (1999) กล่าวไว้ว่าใยอาหารที่ดีไม่ควรมีกลิ่นรสเฉพาะของสารนั้นเพื่อสามารถนำไปเติมในผลิตภัณฑ์อาหารได้ โดยไม่มีผลรบกวนกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์อาหาร ในขณะที่ให้ผงใยอาหารที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์มีสีม่วงแดง (9.13-10.03) มากขึ้น และมีรสเค็ม (1.00-1.43) เพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเทียบกับตัวควบคุมที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นที่มีสีม่วงแดงและรสเค็ม เท่ากับ 4.95 และ 0.67 ตามลำดับ โดยเปลือกเสาวรสที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ มีสีม่วงแดงมากกว่าเปลือกเสาวรสผงที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ประมาณ 2 เท่า นั่นแสดงให้เห็นว่าการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ สามารถรักษารงควัตถุโดยเฉพาะกลุ่มแอนโทไซยานินที่ให้สีม่วงแดงสำคัญของเปลือกเสาวรสให้คงอยู่ไว้ได้ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมที่ ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นมีสีม่วงแดงอ่อน นอกจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของตัวอย่างผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสแล้ว ยังได้มีการนำเสนอตัวอย่างในรูปแบบของสารละลายด้วย เพื่อจำลองการนำผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสมาใช้เป็นส่วนผสมในรูปแบบของสารละลาย เตรียมสารละลายโดยใช้น้ำที่อุณหภูมิห้อง (28 ± 2 องศาเซลเซียส) จากภาพที่ 4-4 พบว่า สารละลายที่เตรียมได้จากผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ทุกสิ่งทดลองมีคะแนนความเข้มด้านสีม่วงแดง/น้ำตาลแดง ความขุ่น กลิ่นเสาวรส ความฝาดขม และความสากลิ้น น้อยกว่าสารละลายจากผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสตัวอย่างควบคุม ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเตรียมขั้นต้นด้วยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ สามารถกำจัดกลิ่นเสาวรส และความฝาดขมของแทนนินออกได้ รวมทั้งปรับปรุงคุณภาพของผงใยอาหารให้มีสมบัติเชิงหน้าที่ เช่น ความสามารถในการอุ้มน้ำ (ประมาณ 18.51 กรัมน้ำ ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) และความสามารถในการพองตัว (ประมาณ 23.13 มิลลิลิตร ต่อ กรัมน้ำหนักแห้ง) ให้ดีขึ้น โดยผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสประกอบด้วยใยอาหารที่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลเป็นองค์ประกอบ และสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ และใยอาหารบางประเภท เช่น เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส มีสมบัติพองตัวได้ (López-Vargas et al.,2013; สหขวัญ โรจนคุณธรรม และอังคณา จันทรพลพันธ์, 2557) ดังนั้นเมื่อนำผงใยอาหารดังกล่าวละลายในน้ำ ผงใยอาหารจึงสามารถอุ้มน้ำ พองตัว และมีโอกาสเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำ ได้มากกว่าผงใยอาหารตัวควบคุม จึงมีลักษณะสากลิ้นและขุ่นน้อยกว่า ลักษณะของสารละลายผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส แสดงดังภาพที่ 4-5

จากภาพรวมผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า สิ่งทดลองที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น โดยการแช่เกลือโซเดียมคลอไรด์ ได้ผงใยอาหารที่มีกลิ่นเสาวรส และความฝาดขมน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม และช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงหน้าที่ของผงใยอาหารโดยทำให้ได้สารละลายที่มีความเป็นเนื้อเดียวกันดีขึ้น มีลักษณะสากลิ้นและขุ่นน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม แสดงให้เห็นว่าการเตรียมขั้นต้น โดยการแช่สารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ สามารถปรับปรุงผงใยอาหารให้คุณภาพที่ดีขึ้นได้

จากเกณฑ์ในการคัดเลือกสิ่งทดลอง คือ เลือกสิ่งทดลองที่สามารถกำจัดความฝาดขมได้และสิ่งทดลองที่ทำให้ได้ผงใยอาหารที่มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดมากที่สุด มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูง สามารถกำจัดกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ได้ รวมถึงพิจารณาเปรียบเทียบกับคุณภาพของผงใยอาหารที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ ประกอบการตัดสินใจ พบว่า สิ่งทดลองที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ทุกสิ่งทดลองสามารถกำจัดความฝาดขมได้ โดยสิ่งทดลองที่ 1 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสภาวะสุญญากาศ เป็นเวลา 10 นาที และสิ่งทดลองที่ 2 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสภาวะที่ไม่ใช้สุญญากาศ เป็นเวลา 10 นาที ได้ผงใยอาหารที่มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดสูงที่สุด เท่ากับ 83.82 และ 83.63 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เมื่อพิจารณาที่ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ พบว่าสิ่งทดลองที่ 2 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสภาวะที่ไม่ใช้สุญญากาศ เป็นเวลา 10 นาที ได้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด เท่ากับ 61.14 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง และ 83.52% ตามลำดับ เมื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบกับคุณภาพของตัวอย่างควบคุม คือ ผงใยอาหารที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ พบว่าตัวอย่างควบคุมมีปริมาณใยอาหารทั้งหมด (90.43 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ปริมาณแอนโทไซยานิน (14.82 มิลลิกรัม Cyn 3-Glu/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ทั้งหมด (66.47 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (88.92%) มีแนวโน้มมากกว่าสิ่งทดลองที่ 2 เท่ากับ 6.80 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง 2.09 มิลลิกรัม Cyn 3-Glu/100 กรัม น้ำหนักแห้ง 5.33 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง และ 5.40% ตามลำดับ แต่การเตรียมขั้นต้นตามสิ่งทดลองที่ 2 นี้ สามารถกำจัดความฝาดขมของผงใยอาหารลงได้ ซึ่งบรรลุจุดประสงค์หลักของการศึกษาในขั้นตอนนี้คือต้องการกำจัดความฝาดขม และกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส ที่จะช่วยเพิ่มศักยภาพในการนำมาใช้เป็นส่วนผสมในอาหารได้ในปริมาณที่มากขึ้น ดังนั้นจากเกณฑ์การคัดเลือกสิ่งทดลองข้างต้น สิ่งทดลองที่ 2 ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสภาวะที่ไม่ใช้สุญญากาศ เป็นเวลา 10 นาที จึงเป็นสิ่งทดลองที่มีความเหมาะสมมากที่สุด

5.3 ผลการศึกษาหาสภาวะในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่เหมาะสมของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาผลของการหาสภาวะในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่เหมาะสม โดยแปรปัจจัยอุณหภูมิการทำแห้ง (50-70 องศาเซลเซียส) และเวลาการทำแห้ง (300-420 นาที) ในการทำแห้งด้วยตู้อบ ลมร้อน แล้วนำผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ได้ นำมาวิเคราะห์ค่าคุณภาพ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ จากการวิเคราะห์ค่าคุณภาพต่าง ๆ พบว่า ปริมาณความชื้น ปริมาณแอนโทไซยานินปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสแตกต่างกัน ($p<0.05$) (ตารางที่ 4-20) โดยการใช้อุณหภูมิการทำแห้งร่วมกับเวลาการทำแห้งในระดับต่ำ (-1, -1) ในสิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งเป็นสภาวะที่รุนแรงน้อย ทำให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ได้มีปริมาณความชื้นสูงเกิน 8 กรัม/100 กรัม แต่ในขณะเดียวกันทำให้ผงใยอาหารมีปริมาณแอนโทไซยานิน (16.06 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu ต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ปริมาณสารประกอบ ฟีนอลิกทั้งหมด (64.23 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (86.81%) สูงที่สุด ($p< 0.05$) ทั้งนี้เนื่องมาจากการใช้อุณหภูมิการทำแห้งต่ำ ในที่นี้คือ 53 องศาเซลเซียส ร่วมกับเวลาการทำแห้ง 320 นาที อาจเป็นสภาวะในการทำแห้งที่รุนแรงน้อยกว่าสิ่งทดลองอื่น เป็นผลให้เมื่อนำชิ้นเปลือกเสาวรสมาทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ในเวลาสั้น จึงทำให้น้ำ ในชิ้นเปลือกเสาวรส (ปริมาณความชื้น 80.52 กรัม/100 กรัม) ระเหยออกไปได้น้อยกว่าสภาวะการทำแห้งอื่น ยังคงมีปริมาณความชื้นอยู่ 9.89 กรัม/100 กรัม แต่ทั้งนี้การที่ใช้อุณหภูมิการทำแห้ง 53องศาเซลเซียส และเวลาการทำแห้ง 320 นาที ส่งผลให้ชิ้นเปลือกเสาวรสสัมผัสกับความร้อนด้วยเวลาสั้น ทำให้ปริมาณแอนโทไซยานิน (16.06 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (64.23 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (86.81%) คงอยู่ในระดับที่สูง รงควัตถุแอนโทไซยานินเป็นสารประกอบฟีนอลิกชนิดหนึ่งที่มีสมบัติสลายตัวได้ง่ายด้วยความร้อน ออกซิเจน และแสง (Lazze et al., 2004) ดังนั้นการใช้อุณหภูมิการทำแห้งต่ำร่วมกับเวลาการทำแห้งสั้นจึงสามารถรักษาสารพฤกษเคมีให้คงอยู่มากขึ้น

จากผลการทดลองในตารางที่ 4-20 เมื่อพิจารณาตามเกณฑ์ปริมาณความชื้นที่กำหนดว่าผงใยอาหารควรมีปริมาณความชื้นต่ำ กว่าหรือเท่ากับ 8 กรัม/100 กรัม (Larruri, 1999; Nilnakara,2006; Peerajit et al., 2012) พบว่า มีเพียง 2 สิ่งทดลองเท่านั้นที่เป็นสภาวะการทำแห้งที่ทำให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ได้มีปริมาณความชื้นมากกว่า 8 กรัม/100 กรัม เกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้ คือ สิ่งทดลองที่ 1 การใช้อุณหภูมิการทำแห้งร่วมกับเวลาการทำแห้งระดับต่ำ (-1, -1) คือการใช้อุณหภูมิการทำแห้ง 53 องศาเซลเซียส ร่วมกับเวลาการทำ แห้ง 320 นาที และสิ่งทดลองที่ 5 การใช้อุณหภูมิการทำแห้งระดับต่ำที่สุดร่วมกับเวลาการทำแห้งในระดับ ปานกลาง (-1.414, 0) คือการใช้อุณหภูมิการทำแห้ง 50 องศาเซลเซียส ร่วมกับเวลาการทำแห้ง 360 นาที เมื่อพิจารณาสิ่งทดลองที่เหลือซึ่งมีปริมาณความชื้นเป็นไปตามเกณฑ์กำหนด พบว่า สิ่งทดลองที่ 3 การใช้อุณหภูมิการทำแห้งระดับสูงร่วมกับเวลาการทำแห้งระดับต่ำ (+1, -1) คือการใช้อุณหภูมิการทำแห้ง 67 องศาเซลเซียส ร่วมกับเวลาการทำแห้ง 320 นาที ทำให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ได้

มีปริมาณแอนโทไซยานิน (15.30 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (64.12 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (86.63%) มากที่สุด ($p<0.05$) เช่นเดียวกับสิ่งทดลองที่ 7 การใช้อุณหภูมิการทำแห้งปานกลางร่วมกับเวลาการทำแห้งต่ำที่สุด (0, -1.414) คือการใช้อุณหภูมิการทำแห้ง 60 องศาเซลเซียส ร่วมกับเวลาการทำแห้ง 300 นาที พบว่ายังคงรักษาปริมาณแอนโทไซยานิน (15.57 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (64.22 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (86.10%) ไว้ได้ไม่แตกต่างจากผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสสิ่งทดลองที่ 3 ($p\geq 0.05$) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Garau et al. (2007) ที่ศึกษาการทำแห้งเปลือกส้มที่อุณหภูมิการทำแห้ง 30-90 องศาเซลเซียส พบว่า อุณหภูมิในช่วง 50-70 องศาเซลเซียส ทำให้เปลือกส้มยังคงรักษาสมบัติการต้านอนุมูลอิสระไว้ได้สูง โดยเปลือกส้มแห้งมีสมบัติต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดเมื่อทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจากการใช้อุณหภูมิการทำแห้งระดับปานกลาง มีผลให้สารประกอบบางตัวที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระซึ่งไม่เสถียรและสลายไปได้จากความร้อน มีโอกาสสูญเสียน้อยลง ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผลจากการใช้อุณหภูมิการทำแห้ง 67 องศาเซลเซียส ร่วมกับเวลาการทำแห้ง 320 นาที และการใช้อุณหภูมิการทำแห้ง 60 องศาเซลเซียส ร่วมกับเวลาการทำแห้ง 300 นาที เป็นการใช้อุณหภูมิในระดับปานกลางร่วมกับเวลาสั้น ทำให้ผงใยอาหารที่ได้ยังคงมีปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระคงอยู่ในปริมาณสูง เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลอง มาวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (MC) ปริมาณแอนโทไซยานิน (AC) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition) ของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสกับอุณหภูมิ การทำแห้ง และเวลาการทำแห้ง (ตารางที่ 4-21) สามารถพิจารณาความน่าเชื่อถือของสมการจากค่า R2 ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ค่า Model Significance ซึ่งบอกความสัมพันธ์ระหว่างค่า Y และค่า X โดยการทดลองนี้กำหนดให้ Y คือตัวแปรตามที่วิเคราะห์ (MC AC TPC และ %Inhibition) และ X คือ ตัวแปรต้นที่ศึกษา (อุณหภูมิการทำแห้ง และเวลาการทำแห้ง) สำหรับค่า RMS เป็นค่าที่บ่งบอกความคลาดเคลื่อนของการทำนายจากการใช้สมการ พบว่า ทุกสมการ ได้แก่ สมการของปริมาณความชื้น (MC) ปริมาณแอนโทไซยานิน (AC) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition) มีความน่าเชื่อถือสำหรับการทำนายตามเกณฑ์ โดยมีค่า R2 มากกว่า 0.75 มีค่า Model Significance น้อยกว่า 0.05 และมีค่า RMS น้อยกว่าร้อยละ 20 (Hu, 1999; Julian, 2004) โดยสมการที่ได้ทั้งหมดมีรูปแบบความสัมพันธ์เหมือนกัน กล่าวคือมีเทอมของความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (Linear effect) และความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้ง (Quadratic Effect) ซึ่งจัดเป็นสมการถดถอยในรูปแบบพหุคูณ (Multiple Regression model) เมื่อพิจารณารูปสมการที่ได้สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นที่ศึกษากับตัวแปรตามที่วิเคราะห์ได้ดังนี้ สำหรับสมการของปริมาณความชื้น ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระมีรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตามที่วิเคราะห์ในรูปแบบสมการเทอมกำลังหนึ่ง (X1, X2) เทอมกำลังสองของตัวแปร X1 (X12) โดยเมื่อพิจารณาที่ค่าสัมประสิทธิ์ของ X1, X2 ของสมการปริมาณความชื้น ปริมาณแอนโทไซยานิน และ

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด พบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์เป็นลบ แสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มค่า X1 คือ อุณหภูมิการทำแห้ง และค่า X2 คือ เวลาการทำแห้ง มีแนวโน้มทำให้ค่า Y คือ ค่าที่วิเคราะห์ได้ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณแอนโทไซยานิน และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลงเมื่อนำสมการทั้งหมดมาสร้างกราฟพื้นผิวการตอบสนอง สามารถพิจารณาได้ดังนี้ ภาพที่ 4-6 ด้านปริมาณความชื้น พบแนวโน้มว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการทำแห้งและเพิ่มเวลาการทำแห้ง มีผลให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสมีปริมาณความชื้นลดลง (สังเกตได้จากบริเวณพื้นที่สีเขียว) ในขณะที่เมื่อใช้อุณหภูมิการทำแห้งร่วมกับเวลาการทำแห้งระดับต่ำ มีผลให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสมีปริมาณความชื้นสูง อยู่ในช่วง 8.0-9.0 กรัม/100 กรัม (สังเกตได้จากบริเวณพื้นที่สีน้ำตาลแดง) ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิการทำแห้งทำให้ชิ้นเปลือกเสาวรสมีโอกาสสัมผัสกับความร้อนที่สูง จึงทำให้น้ำระเหยออกจากชิ้นเปลือกเสาวรสได้มากและเร็วขึ้น รวมถึงการเพิ่มเวลาการทำแห้งเป็นการเพิ่มโอกาสให้ชิ้นเปลือกเสาวรสสัมผัสกับความร้อนได้นานขึ้น ความชื้นจึงลดลงได้มากขึ้น

จากภาพที่ 4-7 และ 4-8 เมื่อพิจารณาด้านปริมาณแอนโทไซยานิน และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ตามลำดับ แสดงแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ เมื่อใช้อุณหภูมิการทำแห้งอยู่ในช่วง 52 ถึง 66 องศาเซลเซียส (ค่ารหัส -1.131 ถึง 0.848) และใช้เวลาการทำแห้งอยู่ในช่วง 300 ถึง 357 นาที (ค่ารหัส -1.414 ถึง -0.212) ทำให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสมีปริมาณแอนโทไซยานินและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีปริมาณมาก (สังเกตได้จากบริเวณพื้นที่สีน้ำตาลแดง) ทั้งนี้เนื่องมาจากแอนโทไซยานินเป็นสารประกอบที่ไม่เสถียร ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มสารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compounds) กลุ่มพอลิฟีนอล (Polyphenol) สลายตัวได้ง่ายด้วยความร้อน ออกซิเจน และแสง (Lazze et al., 2004) ดังนั้นเมื่อใช้อุณหภูมิในการทำแห้งระดับสูงจึงอาจทำให้รงควัตถุนี้สลายตัวไปได้มากกว่า เมื่อใช้อุณหภูมิในการทำแห้งระดับต่ำกว่า ซึ่งเมื่อร่วมกับการใช้เวลานานจึงเป็นการเพิ่มโอกาสให้ชิ้นเปลือกเสาวรสสัมผัสกับความร้อนได้นานขึ้นแอนโทไซยานินจึงสลายตัวได้มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่วิเคราะห์ได้ด้วยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Méndez-Lagunas,Rodríguez-Ramírez,Cruz-Gracida,Sandoval-Torres,and Barriada-Bernal (2017) ที่ศึกษาจลนศาสตร์ของการสลายตัวของสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระในสตอเบอร์รี่ ระหว่างการทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และ 60 องศาเซลเซียส พบว่า การใช้อุณหภูมิการทำแห้งสูงขึ้นร่วมกับเวลาในการทำแห้งนานขึ้น มีแนวโน้มทำให้ปริมาณสารประกอบ ฟีนอลิกทั้งหมด แอนโทไซยานิน และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของสตอเบอร์รี่หลังการทำแห้งลดลง โดยเมื่อใช้อุณหภูมิการทำแห้ง 60 องศาเซลเซียส และเวลาการทา แห้งนานขึ้นถึง 300 นาที ทา ให้ปริมาณแอนโทไซยานิน และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลงถึง 45% และ 78.1% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับสตอเบอร์รี่ก่อนการทำแห้ง ในขณะที่การทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาณแอนโทไซยานิน และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลง 26% และ 60.9% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับสตอเบอร์รี่ก่อนการทำแห้ง ซึ่งส่งผลให้สมบัติการต้านอนุมูลอิสระลดลงด้วย นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kuljarachanan et al.(2009) ได้ศึกษาผลของการทำแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60-120 องศาเซลเซียส ต่อคุณภาพของกากมะนาว พบว่า เมื่อใช้

อุณหภูมิการทำแห้งสูงขึ้น ทำให้กากมะนาวมีปริมาณวิตามินซี และสารประกอบฟีนอลิกลดลง เนื่องจากการสลายตัวของสารประกอบฟีนอลจากความร้อนในระหว่างการทำแห้ง ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกเป็นสารสำคัญในกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระจึงมีความสัมพันธ์อย่างมากกับกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด โดยพบว่า ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ผ่านการอบแห้งกากมะนาวที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 840 นาที ซึ่งเป็นสภาวะการทำแห้งที่อุณหภูมิระดับต่ำ มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดสารประกอบฟีนอลิกที่ไม่เสถียรบางชนิดมีโอกาสสูญเสียไปได้เมื่อสัมผัสกับความร้อนในเวลาที่นานขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Samoticha, Wojdylo, and Lech (2016) ที่ศึกษาผลของการทำแห้งที่อุณหภูมิแตกต่างกันต่อคุณภาพของโช๊คเบอร์รี่ (Chokeberries) โดยติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด พบว่าโช๊คเบอร์รี่ที่ผ่านการทำแห้งที่ 50 และ 60 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 4956-5223 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัมน้ำหนักแห้ง แต่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดน้อยกว่าโช๊คเบอร์รี่ที่ผ่านการทำแห้งที่ 70 องศาเซลเซียส (5631 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ทั้งนี้เป็นผลมาจากเวลาการทำแห้ง โดยการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ใช้เวลาในการทำแห้ง (23 ชั่วโมง) มากกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส (11ชั่วโมง) จึงมีโอกาสให้สารประกอบ ฟีนอลิกบางชนิดที่ไม่เสถียรต่อความร้อนมีโอกาสสูญเสียไปได้มากกว่าเมื่อสัมผัสกับความร้อนเป็นเวลานาน

จากภาพที่ 4-9 เมื่อพิจารณาด้านสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ พบแนวโน้มว่า การใช้อุณหภูมิการทำแห้งในช่วง 50 ถึง 70 องศาเซลเซียส (ค่ารหัส -1.414 ถึง 1.414) การใช้เวลาการทำแห้งต่างกัน มีผลทำให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ได้มี %Inhibition แตกต่างกันด้วย โดยเมื่อใช้เวลาการทำแห้งนานขึ้น มีแนวโน้มทำให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสมี %Inhibition ลดลง (สังเกตได้จากบริเวณพื้นที่สีเขียว) ในขณะที่เมื่อใช้เวลาการทำ แห้งอยู่ในช่วง 300 ถึง 348 นาที (ค่ารหัส -1.414 ถึง -0.283) มีแนวโน้มทำให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส มี %Inhibition สูง อยู่ในช่วง 85.48%-86.78% (สังเกตได้จากบริเวณพื้นที่สีน้ำตาลแดง) แสดงแนวโน้มให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงสมบัติต้านอนุมูลอิสระของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสมีอิทธิพลมาจากเวลาการทำแห้งมากกว่าระดับอุณหภูมิในการทำแห้ง ผลจากการสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนองเหล่านี้ จะเห็นได้ว่ามีประโยชน์ในการอธิบายแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นที่ศึกษากับตัวแปรตามที่วิเคราะห์ โดยสามารถแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าคุณภาพที่สนใจ เมื่อระดับของปัจจัยที่ศึกษาเปลี่ยนแปลงไปนอกจากนี้กราฟพื้นผิวตอบสนองที่ได้สามารถนำมาใช้ในการเลือกสภาวะที่เหมาะสม (Optimization) ที่ทำให้ได้ค่าของตัวแปรตามที่วิเคราะห์หรือค่าคุณภาพที่สนใจที่ดีที่สุด ซึ่งสามารถดำเนินการโดยการกำหนดเกณฑ์ของตัวแปรตามที่วิเคราะห์หรือค่าคุณภาพต่าง ๆ ที่สนใจ เพื่อหาช่วงที่เหมาะสมของตัวแปรต้นที่ศึกษาซึ่งทำให้ได้ค่าคุณภาพต่าง ๆ อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้ เมื่อได้พื้นที่ที่ต้องการแล้ว จึงอาศัยเทคนิคการซ้อนทับกราฟพื้นผิวตอบสนอง เพื่อพิจารณาสภาวะที่เหมาะสมได้จากพื้นที่ที่ซ้อนทับกัน สำหรับงานวิจัยในขั้นตอนนี้เป็นการปรับปรุงคุณภาพของผงใยอาหาร ดังนั้นคุณภาพของผงใยอาหารที่ได้ด้านปริมาณความชื้น ปริมาณแอนโทไซยานินปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ต้องไม่ต่ำกว่าคุณภาพของผงใยอาหารที่ได้จากการใช้สภาวะการทำแห้งตาม

วิธีการผลิตเดิม จึงกำหนดว่าคุณภาพของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสต้องมีปริมาณความชื้นต่า กว่าหรือเท่ากับ 8 กรัม/100 กรัม มีปริมาณแอนโทไซยานินไม่ต่ำกว่า 12.73 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/100 กรัม น้ำหนักแห้ง สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดไม่ต่ำกว่า 61.14 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระที่รายงานเป็น %Inhibition มีค่าไม่ต่ำกว่า 83.52%

จากภาพที่ 4-10 4-11 4-12 และ 4-13 แสดงพื้นผิวตอบสนองของปริมาณความชื้น ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสกับอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาการทำแห้ง ตามลำดับโดยส่วนที่แรเงาเป็นขอบเขตพื้นที่สำหรับการคัดเลือกหาสภาวะที่เหมาะสมของคุณภาพด้านปริมาณความชื้นปริมาณแอนโทไซยานินปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาการทำแห้ง เมื่อนำพื้นที่ผิวการตอบสนองในภาพที่ 4-10 4-11 4-12 และ 4-13 มาซ้อนทับกัน จะได้พื้นที่ผิวการตอบสนองที่ทำให้ได้ค่าคุณภาพของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสตามที่ได้กำหนดไว้ จากภาพที่ 4-14 พบว่า การใช้อุณหภูมิการทำแห้งอยู่ในช่วง 52.88 ถึง 70 องศาเซลเซียส (ค่ารหัส-1.007 ถึง 1.414) และใช้เวลาการทำแห้งอยู่ในช่วง 300 ถึง 408.742 นาที (ค่ารหัส -1.414 ถึง 1.149) ทำให้ได้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่มีปริมาณความชื้นต่ำกว่า 8 กรัม/100 กรัม มีปริมาณแอนโทไซยานินอยู่ในช่วง 12.73 ถึง 15.66 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/100 กรัม น้ำหนักแห้ง มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ในช่วง 61.14 ถึง 64.74 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้งและมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระที่รายงานเป็นค่า %Inhibition อยู่ในช่วง 83.52% ถึง 86.78% ซึ่งงานวิจัยในขั้นตอนนี้ต้องการหาสภาวะในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส เพื่อคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้ง จึงพิจารณาที่จุดมุมรวมถึงจุดกึ่งกลางของพื้นที่ที่ได้จากการซ้อนทับกัน ได้จุดมุม 5 จุด และจุดกึ่งกลาง 1 จุด รวมได้ 6 สภาวะ แต่อย่างไรก็ตามระดับอุณหภูมิการทำแห้งและเวลาการทำแห้ง ที่ได้จากกราฟทั้ง 6 สภาวะ มีความละเอียดมากอาจไม่เอื้อกับการปฏิบัติการทดลองจริง ดังนั้นเพื่อให้เกิดความสะดวกในการดำเนินการทดลองจริง จึงมีการปรับค่าอุณหภูมิการทำแห้ง และเวลาการทำแห้ง ได้รายละเอียดตามตารางที่ 4-22 จากนั้นทา การทดลองตามสภาวะที่เลือกได้เพื่อทวนสอบสมการ และหาตำแหน่งการทำแห้งที่เหมาะสมที่สุด เปรียบเทียบกับ Control คือ ผงใยอาหารที่ได้จากการทำแห้งอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส 360 นาที (สภาวะการทำแห้งเดิม) มีงานวิจัยที่ใช้เทคนิคการซ้อนทับกราฟพื้นที่ผิวตอบสนองเพื่อพิจารณาหาสภาวะที่เหมาะสม ตัวอย่างเช่น Karaaslan and Dalgıç (2014) ได้ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้ง แบบพ่นฝอยของสารสกัดจากชะเอม โดยมีปัจจัยที่ศึกษาคืออุณหภูมิขาเข้าที่แตกต่างกัน (110-130 องศาเซลเซียส) การเติมมอลโตเดกซ์ตริน (Maltodextrin) ที่มีค่า DE ที่แตกต่างกัน (19 DE และ 20 DE) และความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ตรินที่แตกต่างกัน (20% 15% และ 10%) ต่อคุณภาพต่างๆได้แก่ ปริมาณความชื้น ความหนาแน่น ความสามารถในการดูดความชื้น ค่าสี และค่าความเป็นกรด-ด่าง ความสามารถในการละลาย และปริมาณผลได้ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการทำแห้ง โดยการสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนอง และใช้เทคนิคการซ้อนทับกราฟพื้นผิวตอบสนองเพื่อหาช่วงของสภาวะที่เหมาะสม จากการซ้อนทับกราฟพบช่วงที่เหมาะสมคือ การใช้อุณหภูมิขาเข้าอยู่

ในช่วง 120-130 องศาเซลเซียส การใช้มอลโตเดกซ์ตริน 12DE และความเข้มข้นมอลโตเดกซ์ตรินอยู่ในช่วง 15%-20% งานวิจัยของนันทพร อัคนิจ และสุพัฒน์ชลี สิริโชควรกิตติ์ (2555) ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทอดกะเพราด้วยเครื่องทอดแบบสุญญากาศ โดยการสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนอง มีตัวแปรอิสระ 2 ปัจจัย คือ อุณหภูมิในการทอดสุญญากาศ (90-110 องศาเซลเซียส) และเวลาในการทอด (3-5 นาที) จากการนำข้อมูลการทดลองมาสร้างสมการซึ่งใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ศึกษา และคัดเลือกเฉพาะสมการที่มีค่า R2 ไม่ต่ำ กว่า 0.75 ซึ่งแสดงความน่าเชื่อถือของสมการ ทำการทวนสอบความแม่นยำ ของสมการโดยการพิจารณาจากค่า RMS ต่ำ กว่า 20% แสดงว่ามีความคลาดเคลื่อนจากค่าจริงน้อย จากนั้นนำสมการที่ได้มาสร้างกราฟพื้นที่ผิวตอบสนอง โดยมีการกำหนดเกณฑ์ที่จะใช้หาขอบเขตของการศึกษา แล้วใช้เทคนิคการซ้อนทับกราฟพื้นผิวตอบสนอง จนได้พื้นที่ที่ต้องการ โดยเลือกที่จุดมุมและจุดกึ่งกลางของพื้นที่ที่ได้จากการซ้อนทับกัน พบว่าสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการผลิตกะเพราทอดสุญญากาศ คือ การทอดกะเพราที่อุณหภูมิ 102 องศาเซลเซียส และเวลาทอดนาน 3.65 นาที

จากการดำเนินการผลิตผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสโดยใช้การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ทดลองตามสภาวะที่เลือกได้ จำนวน 6 สภาวะ เปรียบเทียบกับ Control ซึ่งหมายถึงการผลิตผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสโดยใช้การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 360 นาที (สภาวะการทำแห้งเดิม) แล้วนำผงใยอาหารที่ผลิตได้มาวิเคราะห์คุณภาพ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-23 พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 การใช้อุณหภูมิการทำแห้ง 62 องศาเซลเซียส (ค่ารหัส 0.283) ร่วมกับเวลาการทำแห้ง 300 นาที (ค่ารหัส -1.414) มีผลทำให้ได้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่มีปริมาณความชื้นเท่ากับ 7.81กรัม/100 กรัม ปริมาณแอนโทไซยานิน (15.35 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก(64.38 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (86.26%) สูงที่สุด ($p<0.05$) นอกจากนี้พบว่า สภาวะการทำแห้งที่เลือกได้ทั้ง 6 สภาวะ ทำให้ได้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่มีความชื้นอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด (ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 8 กรัม/100 กรัม) โดยมีปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระมากกว่า Control ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้อุณหภูมิการทำแห้งอยู่ในช่วง 53 ถึง 70 องศาเซลเซียส ร่วมกับเวลาการทำแห้งอยู่ในช่วงที่ไม่เกิน 360 นาที เป็นสภาวะที่สามารถรักษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกไว้ได้มาก โดยสังเกตเห็นว่าเมื่อใช้เวลาในการทำแห้งนานขึ้น มีโอกาสให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลง

จากการคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) เพื่อทวนสอบความแม่นยำ ของสมการปริมาณความชื้น ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ แสดงดังตารางที่ 4-24 4-25 4-26 และ 4-27 ตามลำดับ พบว่าค่า RMS ของการใช้สมการปริมาณความชื้น ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 15.07% 10.26% 1.12% และ 1.62% ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่า 20% แสดงให้เห็นว่าสมการมีความน่าเชื่อถือและมีความแม่นยำ ในการทำนายค่า (Julian, 2004) เนื่องจากค่าที่ได้จากการทำนายมีความ

คลาดเคลื่อนจากค่าจริงน้อย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Garba, Kaur,Gurumayum, & Rasane (2015) ที่ศึกษาผลของอุณหภูมิการทำแห้งด้วยลมร้อนเพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการลวก กับอุณหภูมิการทำแห้งที่เหมาะสมในการทำแห้งชิ้นแครอทสีม่วง (*Daucus carota* L.) ซึ่งเกณฑ์ในการพิจารณาสมการที่เหมาะสมพิจารณาจากค่า R2 ที่มีค่าเข้าใกล้ 1 และค่า RMS ต้องมี ค่าน้อย จากการทดลองพบว่ามีค่า R2 อยู่ในช่วง 0.97-0.99 และค่า RMSอยู่ในช่วง 0.03-0.05 แสดงถึงสมการที่ได้มีความน่าเชื่อถือและมีความแม่นยำในการทำนาย

จากเกณฑ์ในการพิจารณาเลือกสภาวะที่เหมาะสมที่สุด จากการวิเคราะห์คุณภาพของผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 คือ การใช้อุณหภูมิการทำแห้ง เท่ากับ 62 องศาเซลเซียส ร่วมกับเวลาการทำแห้ง 300 นาที มีผลให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่ผลิตได้มีปริมาณความชื้นต่ำ (7.81 กรัม/100 กรัม) และยังคงรักษาสารพฤกษเคมีที่สำคัญไว้ได้มากที่สุด โดยมีปริมาณแอนโทไซยานิน (15.35 มิลลิกรัม Cya-3-Glu/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (64.38 มิลลิกรัมแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) รวมถึงสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (86.26%) สูงที่สุด ดังนั้นการใช้อุณหภูมิการทำแห้ง 62 องศาเซลเซียส ร่วมกับเวลาการทำแห้ง 300 นาที จึงเป็นสภาวะในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่เหมาะสมที่สุดสาหรับนำไปใช้ผลิตผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส เพื่อนำไปใช้เป็นส่วนผสมอาหารเพื่อสุขภาพต่อไป

5.4 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับเปลือกเสาวรสผง

โดยทั่วไปแหล่งใยอาหารสำคัญที่มีปริมาณใยอาหารสูง และสามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตผงใยอาหาร คือ เมล็ดธัญพืช ผัก และผลไม้ จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า วัสดุเศษเหลือผักและผลไม้มีศักยภาพที่สามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นผงใยอาหารได้ เนื่องจากวัสดุเศษเหลือจากผักและผลไม้เหล่านี้มีปริมาณใยอาหารสูง นอกจากนั้นยังมีสารพฤกษเคมีที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายหลายชนิด เช่น สารประกอบฟีนอลิก วิตามินซี และเบต้าแคโรทีน ซึ่งทำให้ผงใยอาหารมีคุณค่าทางโภชนาการมากขึ้น ใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant dietaryfiber) จึงหมายถึง ใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระเป็นองค์ประกอบ หรือกล่าวได้ว่า เป็นใยอาหารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยสามารถยับยั้งหรือชะลอปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำลายอนุมูลอิสระที่ร่างกายได้รับ ยับยั้งการรวมตัวของเกล็ดเลือด การต้านจุลินทรีย์ และการต้านปฏิกิริยาการอักเสบ จึงมีส่วนช่วยป้องกันโรคต่าง ๆ เช่น โรคมะเร็ง และโรคหัวใจ เป็นต้น (Saura-Calixto, 1998) สำหรับงานวิจัยนี้ได้พัฒนากระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสพันธุ์สีม่วง โดยผ่านการศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้น และการหาสภาวะในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่เหมาะสม ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ได้ คือ การนำชิ้นเปลือกเสาวรส มาลวกในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที และแช่ต่อในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 3% เป็นเวลา

10 นาที แล้วนา มาทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 62 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 300 นาที จากนั้นนำเปลือกเสาวรสแห้งที่ได้มาบดให้เป็นผง โดยใช้เครื่องบดอาหารแห้ง ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช ในขณะที่เปลือกเสาวรสผงผลิตได้โดยนำชิ้นเปลือกเสาวรส มาทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 400 นาที จากนั้นนำเปลือกเสาวรสแห้งที่ได้มาบดให้เป็นผง โดยใช้เครื่องบดอาหารแห้ง ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช แผนภาพการผลิตแสดงดังภาพที่ 4-15 และจากผลการทดลองวิเคราะห์ค่าคุณภาพทางเคมีกายภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระที่ผลิตได้ และเปลือกเสาวรสผง แสดงดังตารางที่ 4-28

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณผลได้ พบว่า ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและเปลือกเสาวรสผงมีปริมาณผลได้แตกต่างกัน ($p<0.05$) โดยผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมีปริมาณผลได้ เท่ากับ 12.01% ซึ่งน้อยกว่าเปลือกเสาวรสผงที่มีปริมาณผลได้ เท่ากับ 18.52% แสดงให้เห็นว่าผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ผ่านกระบวนการเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้ง มีโอกาสสูญเสียของแข็งไปได้ระหว่างขั้นตอนการลวกและการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ ปริมาณผลได้จึงน้อยกว่าเปลือกเสาวรสผงที่ไม่ผ่านกระบวนการเตรียมขั้นต้นใด ๆ

จากผลการวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอคติวิตี (ค่า aw) พบว่า ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมีค่า aw ไม่แตกต่างกับเปลือกเสาวรสผงที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($p\geq0.05$) โดยผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมีค่า aw เท่ากับ 0.241 ในขณะที่เปลือกเสาวรสผงมีค่า aw เท่ากับ 0.237 ทั้งนี้การลดค่าวอเตอร์แอคติวิตีให้ต่ำ ที่สุดเป็นการช่วยยืดอายุการเก็บรักษาอาหารให้นานขึ้น เนื่องจากสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาเคมีและการเจริญของจุลินทรีย์(Rahman, 1995) ค่าวอเตอร์แอคติวิตีหรือปริมาณน้ำ อิสระในงานวิจัยนี้ไม่เกิน 0.6 จัดเป็นอาหารประเภทผงแห้ง ซึ่งอยู่ในระดับที่เชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต และไพศาล วุฒิจา นงค์, 2545) ดังนั้นปริมาณน้ำอิสระที่มีอยู่ในผงใยอาหารที่มีสารต้านอิสระที่ผลิตได้และเปลือกเสาวรสผงอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยต่อการเจริญของจุลินทรีย์ จึงสามารถเก็บรักษาได้เป็นระยะเวลานานโดยไม่เกิดการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน กากใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต พบว่า ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมีปริมาณความชื้น เท่ากับ 7.69 กรัม/100 กรัม และเปลือกเสาวรสผงมีปริมาณความชื้น เท่ากับ 7.33 กรัม/100 กรัม ซึ่งอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ คือ การกำหนดให้ผงใยอาหารที่ผลิตได้มีความชื้นไม่เกิน 8 กรัม/100 กรัม เนื่องจากความชื้นเป็นองค์ประกอบตามธรรมชาติที่มีมากที่สุดในวัตถุดิบ ดังนั้น ความชื้นจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อต้นทุนการผลิตผงใยอาหาร (Larruri, 1999) โดยต้องอาศัยกระบวนการทำแห้งเพื่อลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในระดับที่สามารถรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยไม่ให้เกิดการเสื่อมเสียจากทั้งจุลินทรีย์และปฏิกิริยาเคมีในระหว่างการเก็บรักษาและการขนส่ง ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมามักกำหนดให้ผงใยอาหารมีความชื้นไม่เกิน 8-9 กรัม/100 กรัม (Larruri,1999; Nilnakara, 2006; Peerajit et al.,2012) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโปรตีน ไขมัน กากใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต พบว่า ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส มีปริมาณโปรตีน กากใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรตแตกต่างกับเปลือกเสาวรสผงอย่างมีนัยสำคัญทาง

สถิติ ($p<0.05$) ยกเว้นปริมาณไขมัน ($p\geq0.05$) โดยผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระมีปริมาณโปรตีน ไขมัน กากใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 4.00 0.91 34.47 17.50 และ 43.12 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าเปลือกเสาวรสผงที่มีปริมาณโปรตีน กากใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 5.98 0.96 37.16 8.53 และ 47.59 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในขั้นตอนของการผลิตผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส ผ่านการเตรียมขั้นต้นทั้งการลวกด้วยน้ำร้อน และการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ จึงมีโอกาสให้สูญเสียองค์ประกอบอื่นๆ เช่น น้ำตาล โปรตีน ไปในระหว่างกระบวนการผลิต ทำให้ปริมาณโปรตีน กากใย และคาร์โบไฮเดรต ที่วิเคราะห์ได้มีค่าน้อยกว่าเปลือกเสาวรสผงที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้ง อย่างไรก็ตามผลการทดลองส่วนนี้แสดงให้เห็นว่าการเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้งสามารถกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ใช่ใยอาหารออกไปได้ ซึ่งส่งผลให้ใยอาหารที่ได้มีความบริสุทธิ์มากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยที่กล่าวว่า การเตรียมขั้นต้นวัตถุดิบก่อนการทำแห้ง เป็นการกำจัดองค์ประกอบอื่นที่ไม่ใช่ใยอาหาร ทำให้ใยอาหารมีความบริสุทธิ์มากขึ้น และสามารถปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการทำแห้งได้(Larrauri,1999; Nilnakara,2006) เช่น ในงานวิจัยของ Chantaro et al. (2008) ศึกษาผลของการลวกและการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส ต่อคุณภาพของผงใยอาหารจากเปลือกแครอท โดยเปรียบเทียบกับเปลือกแครอทผงที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้ง พบว่า การเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้งมีผลต่อปริมาณและองค์ประกอบของใยอาหาร รวมถึงทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำ และความสามารถในการพองตัวของใยอาหารดีขึ้น โดยผงใยอาหารจากเปลือกแครอทที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกก่อนการทำ แห้ง มีปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ และปริมาณใยอาหารทั้งหมดสูงกว่าเปลือกแครอทผงที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้งSengkhamparn, Chanshotikul, Assawajitpukdee, and Khamjae (2013) ได้ศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกในน้า ร้อนและการทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียสต่อคุณภาพของผงใยอาหารจากเปลือกแก้วมังกร พบว่า ผงใยอาหารจากเปลือกแก้วมังกรที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้ง มีปริมาณใยอาหาร (28.00-30.15 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) มากกว่าเปลือกแก้วมังกรผงที่ไม่ได้ผ่านการเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้ง (26.97-28.45 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) โดยทั้งสองงานวิจัยให้เหตุผลไปทางเดียวกันว่าเตรียมขั้นต้น โดยการลวกก่อนการทำแห้ง สามารถกำจัดองค์ประกอบอื่นที่ไม่ใช่ใยอาหารในวัตถุดิบ เช่น แร่ธาตุ วิตามิน และน้ำตาลออกไปได้ระหว่างการลวก เป็นผลให้ของแข็งทั้งหมดมีส่วนที่เป็นใยอาหารมากขึ้น หรือกล่าวได้ว่าใยอาหารผงจากเปลือกแครอทและเปลือกแก้วมังกรมีความบริสุทธิ์มากขึ้นนั่นเอง

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ในงานวิจัยนี้วิเคราะห์ตามวิธีของ Lane and Eynon (AOAC, 2000) ซึ่งใช้เทคนิคการไตเตรทหาปริมาณของสารละลายน้ำตาล โดยการทำปฏิกิริยากับสารละลาย Fehling reagent ซึ่งเป็นองค์ประกอบของคอปเปอร์ซัลเฟต และโซเดียมโพแทสเซียมทาร์เทรต จากผลการวิเคราะห์ พบว่า ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด เท่ากับ 3.18 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง ซึ่งน้อยกว่าเปลือกเสาวรสผงอย่างที่มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด เท่ากับ 7.16 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่ากระบวนการผลิตผงใยอาหารจากเปลือก

เสาวรสที่เหมาะสม สามารถกำจัดน้ำตาลออกจากวัตถุดิบได้ ทั้งนี้เนื่องจากการเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้งด้วยการลวกด้วยน้ำร้อน มีผลทำให้โครงสร้างพืชเกิดการเปลี่ยนแปลงไปได้มาก เนื้อเยื่อพืชอ่อนนุ่มลง ประกอบกับการมีน้ำเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน ชิ้นเปลือกเสาวรสจึงมีโอกาสสัมผัสกับน้ำ ที่ใช้ลวกได้โดยตรง ทำให้เกิดการสูญเสียสารที่มีโมเลกุลต่ำ และละลายน้ำได้ เช่น น้ำตาล ไปกับน้ำที่ใช้ลวก (Wennberg et al., 2006;Tanongkankit, 2011) ซึ่งเป็นการเพิ่มโอกาสที่น้ำตาลอิสระที่อยู่บนเปลือกเสาวรสมีโอกาสถูกชะออกมาได้ รวมถึงการแช่ต่อในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ก็สามารถชะเอาน้ำตาลออกมาได้มากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเปลือกเสาวรสที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้น น้ำตาลที่อยู่บนเปลือกเสาวรสจึงไม่มีโอกาสถูกชะออกมา ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้ในเปลือกเสาวรสผงจึงมีอยู่มากกว่านั่นเอง โดยการที่น้ำตาลอิสระที่ไม่ใช่องค์ประกอบของใยอาหารถูกกำจัดออกไปนั้น ส่งผลต่อความบริสุทธิ์ของใยอาหาร สอดคล้องกับ Grigelmo-Miguel and Martin-Bekkoso (1999) กล่าวว่า การผลิตผงใยอาหารให้มีคุณภาพดีขึ้นนั้น ต้องกำจัดส่วนประกอบอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ใยอาหารออกจากวัตถุดิบให้มากที่สุด ทั้งนี้กระบวนการผลิตผงใยอาหารนั้น ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบเป็นหลัก เช่น ในงานวิจัยของธนิกานต์ สันต์สวัสดิ์ (2549) วัตถุดิบที่นำ มาใช้ผลิตผงใยอาหารคือกากส้มเขียวหวาน ซึ่งมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบอยู่ถึง 40.28 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง จึงศึกษากรรมวิธีการผลิตผงใยอาหารจากกากส้มเขียวหวานให้มีคุณภาพดีขึ้น พบว่า การเตรียมขั้นต้นโดยการหั่นให้มีขนาดเล็กลง 10 มิลลิเมตร ทำให้สะดวกในการกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ต้องการ การต้มล้างด้วยน้ำ จำนวน 2 ครั้ง และการแช่ในสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 จำนวน 2 ครั้ง ช่วยกำจัดน้ำตาล ทำให้ผงใยอาหารจากกากส้มเขียวหวานมีปริมาณน้ำตาลเหลือเพียงร้อยละ 2.20 ส่งผลให้ผงใยอาหารจากกากส้มเขียวหวานมีปริมาณใยอาหารทั้งหมดสูงขึ้น รวมทั้งมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง

จากผลการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ และปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสกับเปลือกเสาวรสผง พบว่า ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด และปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำแตกต่างกัน ($p<0.05$) และมีปริมาณมากกว่าเปลือกเสาวรสผง ในขณะที่ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้า ไม่แตกต่างกัน ($p\geq0.05$) แสดงให้เห็นว่ากระบวนการผลิตผงใยอาหารที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นวัตถุดิบ และการทำ แห้งด้วยสภาวะที่เหมาะสมมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของใยอาหาร โดยทำให้ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และใยอาหารทั้งหมดมีปริมาณเพิ่มขึ้น แสดงถึงใยอาหารมีความบริสุทธิ์มากขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกเปลือกเสาวรสในน้ำร้อน สามารถกำจัดน้ำตาลอิสระ กรดอิสระ โปรตีน ไขมันออกไป จากวัตถุดิบ ทำให้ใยอาหารมีความบริสุทธิ์มากขึ้น (Wennbeg et al., 2006) รวมทั้งการแช่เปลือกเสาวรสในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ มีผลให้กระตุ้นการกำจัดน้ำออก จึงช่วยลดเวลาในการทำแห้งลง และลดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเซลล์ระหว่างการทำแห้ง มีผลให้องค์ประกอบของใยอาหารที่ผนังเซลล์มีโอกาสถูกทำลายน้อยลง จึงมีปริมาณใยอาหารที่ยังคงอยู่มาก (Lewicki, 2006;Garau et al.,2007)

จากการวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมดของเปลือกเสาวรสสด พบว่า มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด เท่ากับ 87.11 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง และจากผลการทดลองนี้พบว่าผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด เท่ากับ 82.33 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง แสดงให้เห็นว่ากรรมวิธีการผลิตที่ใช้สามารถผลิตผงใยอาหารที่มีความบริสุทธิ์สูงได้ นอกจากนี้ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ผลิตได้จัดว่าเป็นแหล่งของใยอาหารที่ดี โดยมีปริมาณมากกว่าผงใยอาหารจากวัสดุเศษเหลือชนิดอื่น เช่น ผงใยอาหารจากส่วนอัลบิโดของเปลือกเสาวรสพันธุ์สีเหลือง มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ และปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ เท่ากับ 71.79 19.45 และ 52.34 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (López-Vargas, Fernández-López, Pérez-Álvarez, & Viuda-Martos,2013) ผงใยอาหารจากเปลือกมะม่วง มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด เท่ากับ 78.00 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง (Ajila et al., 2007) ผงใยอาหารจากกากมะนาว มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด เท่ากับ 70.76 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง (Peerajit et al., 2012) Grigelmo-Miguel and Martin-Belloso (1999) และ Peerajit et al. (2012) กล่าวว่าผงใยอาหารที่เหมาะสาหรับนำไปใช้เป็นส่วนผสมในอาหารเพื่อสุขภาพ ควรมีสัดส่วนของใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ต่อใยอาหารที่ละลายน้ำ อยู่ในช่วง 1.0-2.3 เนื่องจากผงใยอาหารที่มีส่วนของใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง ช่วยให้ลำไส้ทำงานได้ปกติป้องกันโรคท้องผูก และใยอาหารที่ละลายน้ำ ช่วยเพิ่มความหนืดของของเหลวภายในระบบย่อยอาหาร ส่งผลให้การดูดซึมคาร์โบไฮเดรตและไขมันลดลง (Ou, Kwok, Li, & Fu, 2001) สำหรับผลจากการทดลองนี้ พบว่า ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ต่อใยอาหารที่ละลายน้ำ มีค่าเท่ากับ 4.04 ซึ่งมีค่าสูง จัดว่าเป็นแหล่งของใยอาหารโดยเฉพาะใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพต่อไปได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Lopez-Vargas et al. (2013) และ Ku and Mun (2008) กล่าวว่า การที่ผงใยอาหารมีสัดส่วนของใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ต่อใยอาหารที่ละลายน้ำสูง ยิ่งมีประโยชน์ต่อสุขภาพในด้านที่เกี่ยวข้องกับการทำให้รู้สึกอิ่มมากกว่า (Increased satiety) และเพิ่มมวลอุจจาระ ช่วยให้ระบบขับถ่ายดีขึ้นได้ ดังนั้นการนำผงใยอาหารมาใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสุขภาพต้องคำนึงถึงผลประโยชน์เฉพาะด้านที่ต้องการจากการเสริมใยอาหารผงด้วย Figuerola et al. (2005) รายงานว่าใยอาหารผงจากเปลือกเกรปฟรุต (Grapefruits) มีใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ต่อใยอาหารที่ละลายน้ำสูงเท่ากับ 12.7 สามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารที่ต้องการเพิ่มความหนืดได้ โดยมีความสามารถในการกักเก็บน้ำ และพองตัวได้ดี สำหรับผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านสารพฤกษเคมี ได้แก่ ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบ ฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ พบว่า ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส มีปริมาณแอนโทไซยานิน เท่ากับ 17.09 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/100 กรัม น้ำหนักแห้ง ซึ่งมากกว่าเปลือกเสาวรสผงที่มีปริมาณแอนโทไซยานิน เท่ากับ 8.30 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/100 กรัม น้ำหนักแห้ง ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่า การผลิตผงใยอาหารที่มีการเตรียมขั้นต้นวัตถุดิบและใช้สภาวะการทำแห้งที่เหมาะสม สามารถรักษาปริมาณแอนโทไซยานินไว้ได้มากกว่าการผลิตเป็นผงด้วยวิธีทั่วไป ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเตรียมขั้นต้นเปลือกเสาวรส โดยการลวกด้วยน้ำร้อน เป็นเวลาสั้น นอกจากจะช่วยให้เนื้อเยื่อเปลือกเสาวรสอ่อนนุ่มลงแล้ว ยังสามารถทำลายเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการ

ทำลายสารต้านอนุมูลอิสระ โดยเฉพาะเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส ที่สามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอลิกไปเป็นสารอื่น ซึ่งแอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุที่จัดอยู่ในกลุ่มสารประกอบฟีนอลิกที่ไม่เสถียร สลายตัวได้ง่ายจากทั้งความร้อนแสง และออกซิเจน (Nishiba & Suda, 1998;อรุษา เชาวนลิขิต และ อรัญญา มิ่งเมือง, 2550) การลวกด้วยน้ำร้อนที่สามารถทำลายเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส จึงช่วยลดโอกาสในเปลี่ยนแปลงแอนโทไซยานินไปเป็นสารอื่น นอกจากนี้การแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ สามารถกำจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อบางส่วน ทำให้อัตราการทำแห้งเร็วขึ้น จึงช่วยลดเวลาในการทำแห้ง และช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างแอนโทไซยานินระหว่างการทำแห้งได้ (Lewicki, 2006) โดยการทำแห้งผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส ใช้อุณหภูมิ 62 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 300 นาที ซึ่งเป็นสภาวะที่รุนแรงน้อยกว่าที่ใช้ในการผลิตเปลือกเสาวรสผงที่ใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลาถึง 400 นาที แอนโทไซยานินของเปลือกเสาวรสผงที่ได้จึงมีโอกาสสลายตัวไปได้มากกว่านั่นเอง การที่ปริมาณแอนโทไซยานินของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่าเปลือกเสาวรสผงนั้น สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Kessy et al. (2016) ที่ศึกษาผลการเตรียมวัตถุดิบด้วยการลวกด้วยไอน้ำ ต่อคุณภาพของเปลือกลิ้นจี่แห้ง โดยติดตามปริมาณการเปลี่ยนแปลงของแอนโทไซยานินที่เป็นรงควัตถุหลัก พบว่าเปลือกลิ้นจี่แห้งที่ไม่ผ่านการลวก มีปริมาณแอนโทไซยานินคงเหลือ (6.19 มิลลิกรัม CE/ 100 กรัม) ต่ำกว่าเปลือกลิ้นจี่แห้งที่ผ่านการลวกด้วยไอน้ำ ก่อนการทำแห้ง (20.32 มิลลิกรัม CE/100 กรัม) ทั้งนี้เนื่องมาจากเปลือกลิ้นจี่สดมีเอนไซม์ต่าง ๆ เช่น โพลีฟีนอลออกซิเดส เปอร์ออกซิเดส และ แอนโทไซยาเนส เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันแอนโทไซยานิน (Enzymatic oxidation) ดังนั้นในระหว่างการทำแห้ง จึงมีโอกาสให้เอนไซม์ที่ยังคงอยู่ในวัตถุดิบทำงานได้ในสภาวะที่มีออกซิเจน ทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินลดลงได้ นอกจากนี้การสัมผัสความร้อนเป็นเวลานานยังเพิ่มโอกาสให้แอนโทไซยานินสลายตัวได้มากขึ้น (Thermal degradation) จากข้อมูลข้างต้นจึงเป็นการสนับสนุนผลการทดลองที่พบว่าเปลือกเสาวรสผงมีโอกาสสูญเสียสารแอนโทไซยานินได้จากทั้ง Enzymatic oxidation และThermal degradation สำหรับกรณีผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ ถึงแม้ว่าเปลือกเสาวรสจะผ่านการลวกในน้ำร้อน และมีโอกาสสูญเสียแอนโทไซยานินได้ เนื่องจากมีสมบัติละลายน้ำได้ดี แต่ในขั้นตอนนี้ใช้เวลาในการลวกเป็นเวลาสั้นเพียง 3 นาทีเท่านั้น นอกจากนี้การลวกสามารถยับยั้งเอนไซม์ที่เป็นตัวเร่งในการเปลี่ยนแปลงรงควัตถุแอนโทไซยานินได้ นอกจากนี้เมื่อแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ก็มีส่วนช่วยดึงน้ำ ออกจากวัตถุดิบเป็นการลดปริมาณออกซิเจนในช่องว่างระหว่างเซลล์ (Lewicki,2006) อีกทั้งวัตถุดิบที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นยังใช้เวลาในการทำแห้งสั้นลง ทำให้ตัวอย่างสัมผัสกับความร้อนไม่ นานนัก จึงลดโอกาสการสลายตัวของแอนโทไซยานินได้ทั้งจาก Enzymatic oxidationและ Thermal degradation จากผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด พบว่า ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 65.38 มิลลิกรัม กรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง ซึ่งน้อยกว่าเปลือกเสาวรสผงที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 73.93 มิลลิกรัม กรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากการลวกด้วยน้ำร้อน ในกระบวนการผลิตพบว่า ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสแม้จะสามารถยับยั้งเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสที่ทำปฏิกิริยากับ

สารประกอบ ฟีนอลิกได้ แต่ความร้อนและน้ำที่เป็นตัวกลางในการลวก ก็มีโอกาสทำให้สารพฤกษเคมีกลุ่มสารประกอบฟีนอลิก เช่น กรดฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์สลายตัวจากความร้อนในระหว่างการลวกได้ (Amin & Lee, 2005) รวมถึงสารประกอบฟีนอลิกที่ละลายน้ำ ได้ก็สามารถละลายไปกับน้ำที่ใช้ลวกด้วย การที่ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสน้อยกว่าเปลือกเสาวรสผงนั้น สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Nurhuda, Maskat,Mamot, Afiq, and Aminah (2013) ที่ศึกษาผลของการลวกต่อคุณภาพของเปลือกเงาะ โดยติดตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบฟีนอลิก สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ รวมถึงปริมาณแอนโทไซยานิน พบว่า เปลือกเงาะที่ผ่านการลวกในน้ำร้อน 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 2.5 และ 5 นาที มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) แต่มีแนวโน้มลดลงหลังการลวก 5 นาที ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้เวลาในการลวกที่นานขึ้นอาจมีโอกาสให้สารประกอบฟีนอลิกบางชนิดที่ละลายน้ำ ได้สูญเสียไปกับน้ำที่ใช้ลวก ในขณะที่ปริมาณแอนโทไซยานินของเปลือกเงาะ หลังการลวก 2.5 นาที พบว่า มีปริมาณแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเปลือกเงาะที่ไม่ผ่านการลวก นอกจากนี้ Samoticha et al. (2016) ที่ศึกษาผลของการทำแห้งที่อุณหภูมิแตกต่างกันต่อคุณภาพของโช๊คเบอร์รี่ (Chokeberries) โดยติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานิน พบว่า โช๊คเบอร์รี่ที่ผ่านการทำแห้งที่ 70 องศาเซลเซียส มีปริมาณของสารประกอบฟีนอลิก (5631 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง) มากกว่าโช๊คเบอร์รี่ที่ผ่านการทำแห้งที่ 50 องศาเซลเซียส (4956 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง) ในขณะที่ปริมาณแอนโทไซยานินไม่แตกต่างกัน จากข้อมูลข้างต้นจึงเป็นการสนับสนุนผลการทดลองที่พบว่าผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น มีโอกาสสูญเสียสารประกอบฟีนอลิกบางชนิดที่ไม่เถียรต่อความร้อนในระหว่างการลวก อย่างไรก็ตาม พบว่า ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส มีปริมาณสารประกอบ ฟีนอลิกทั้งหมดน้อยกว่า เปลือกเสาวรสผง ประมาณ 8.55 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง เท่านั้นหากเปรียบเทียบกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผงใยอาหาร จากงานวิจัยอื่นพบว่า ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส ยังจัดว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด คงอยู่ปริมาณมาก เช่น ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสพันธุ์สีเหลืองมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 64-186 มิลลิกรัม กรดแกลลิก/100 กรัมน้ำหนักแห้ง ผงใยอาหารจากกากเสาวรสพันธุ์สีเหลืองมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 32 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง (López-Vargas et al., 2013; Konta et al.,2013)

จากผลการวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ พบว่าให้ผลไปในทิศทางเดียวกันกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเนื่องจากสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ส่วนใหญ่แล้วมาจากสารประกอบ ฟีนอลิกที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวน เช่น ไบโอฟลาโวนอยด์ (Bioflavonoids) และกรดฟีนอลิก (Phenolic acids) (Zibadi et al.,2007) การเตรียมขั้นต้นวัตถุดิบก่อนการทำแห้งด้วยการลวกหรือแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ มีโอกาสให้สารประกอบที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูญเสียไปได้ ด้วยความร้อน การถูกชะ และการละลาย ทำให้สมบัติต้านอนุมูลอิสระลดลง แต่อย่างไรก็ตาม %Inhibition ของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่วิเคราะห์ได้ยังคงมีค่าสูง (87.89%) แสดงให้เห็นว่าผงใยอาหารที่มี

สารต้านอนุมูลอิสระที่ผลิตได้ยังคงให้สมบัติการต้านอนุมูลอิสระที่ดี สอดคล้องกับงานวิจัยของ Nilnakara (2006) ที่ศึกษาผลของการลวกและอุณหภูมิในการทำแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพของผงใยอาหารสูงผลิตจากเศษกะหล่ำปลี พบว่า การลวกและการทำแห้งส่งผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเนื่องจากเกิดการสูญเสียไปกับน้ำที่ใช้ลวก อีกทั้งยังเกิดการสลายตัวเนื่องจากความร้อนในระหว่างการลวกและการทำแห้ง ซึ่งการลดลงของสารดังกล่าวส่งผลให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์มีโอกาสลดลงไปด้วย อย่างไรก็ตามแม้สารประกอบฟีนอลิกเกิดการสูญเสียไปในการลวกและการทำแห้งกาบกะหล่ำปลีแต่ยังคงมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง (94.05%)

สำหรับผลของการเปรียบเทียบค่าสีของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ผลิตได้กับเปลือกเสาวรสผง แสดงผลดังตารางที่ 4-29 พบว่า ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมีค่าสี L* a* b* Hue angle Chroma และ ΔE แตกต่างกับเปลือกเสาวรสผง อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมีค่า L* a* และ b* เท่ากับ 69.22 9.87 และ 12.83 ตามลำดับ ในขณะที่เปลือกเสาวรสผงมีค่า L* a*และ b* เท่ากับ 64.57 7.32 และ 21.19 ตามลำดับ โดยพบว่าผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมีค่า a* แสดงความเป็นสีแดงมากกว่าเปลือกเสาวรสผง ในขณะที่ค่า L* และ b*แสดงความสว่างและความเป็นสีเหลืองมีค่าน้อยกว่าเปลือกเสาวรสผง ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับสีผงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า โดยพบว่าผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระให้ผงที่สีออกม่วงแดงมากกว่าทั้งนี้สอดคล้องกับปริมาณแอนโทไซยานินที่มีอยู่ในผงใยอาหาร ในขณะที่เปลือกเสาวรสผงมีสีออกทางเหลืองมากกว่า ซึ่งอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงรงควัตถุแอนโทไซยานินในระหว่างกระบวนการทำแห้ง นอกจากนั้นยังอาจเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดร่วมด้วย เพราะเปลือกเสาวรสเริ่มต้น มีองค์ประกอบของโปรตีนและน้ำตาลที่เหลืออยู่ในเปลือกเสาวรสมากซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยา ทำให้เกิดสีน้ำตาล (Fennema, 1996) ดังนั้นสีของเปลือกเสาวรสผงที่ได้จึงมีเฉดสีน้ำตาลอ่อน ซึ่งยืนยันเฉดสีที่มองเห็นได้จากการคำนวณค่า Hue angle และค่า Chroma พบว่าผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมีค่า Hue angle เท่ากับ 52.42 ซึ่งแสดงเฉดสีอยู่ในช่วงสีส้มแดงถึงสีเหลือง โดยมีค่า Chroma เท่ากับ 16.18 ในขณะที่เปลือกเสาวรสผง มีค่า Hueangle เท่ากับ 70.93 ซึ่งแสดงเฉดสีอยู่ในช่วงสีส้มแดงถึงสีเหลือง โดยมีค่า Chroma เท่ากับ 22.42 โดยยืนยันการเปลี่ยนแปลงสีจากค่า ΔE ซึ่งหมายถึงค่าการเปลี่ยนแปลงของสีเมื่อเปรียบเทียบกับเปลือกเสาวรสผง พบว่า ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมีค่า ΔE เท่ากับ 9.97 แสดงให้เห็นว่าผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระมีสีที่เปลี่ยนไปจากเปลือกเสาวรสผง

จากตารางที่ 4-30 แสดงผลการวิเคราะห์สมบัติเชิงหน้าที่ ได้แก่ ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity) ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (Oil Holding Capacity) ความสามารถในการพองตัว (Swelling Capacity) และความสามารถในการชะลอการดูดซับน้ำตาล (Glucose Retardation Index) พบว่า ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมีความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน ความสามารถในการพองตัว และความสามารถในการชะลอการดูดซับน้ำตาล มากกว่าเปลือก

เสาวรสผงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่า กระบวนการผลิตผงใยอาหารที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นวัตถุดิบ และการทำแห้งด้วยสภาวะที่เหมาะสม สามารถปรับปรุงสมบัติเชิงหน้าที่ด้านความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน ความสามารถในการพองตัว และความสามารถในการชะลอการดูดซับน้ำตาลได้ดีขึ้น ความสามารถในการอุ้มน้ำ มีความเกี่ยวข้องกับความสามารถในการดูดซับ เก็บกักน้ำไว้ภายในโครงสร้างของใยอาหาร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ตัวอย่างเช่น ลักษณะโครงสร้างของใยอาหาร หากประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) จำนวนมาก จะสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bounding) กับน้ำได้มาก ใยอาหารนั้นจะมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี (Nelson, Steinberg, & Wei,1976; López-Vargas et al.,2013) ชนิดของใยอาหาร หากมีองค์ประกอบของใยอาหารที่ละลายน้ำ ปริมาณมากจะมีความสามารถในการอุ้มน้ำมาก (Goni & Martin-Carron, 1998;Betancur-Ancona,Peraza-Mercado, Moguel-Ordoñez, & Fuertes-Blanco,2004) นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับลักษณะความเป็นรูพรุน (Porosity) ขนาดอนุภาค (Particle size) แรงยึดเหนี่ยวระหว่างไอออน (Ionicstrength) ความบริสุทธิ์ของใยอาหาร (Purity) (Femenia,Lefebvre,Thebaudin, Robertson, & Bourgeois, 1997; Raghavarao, Raghavendra, & Rastogi, 2008) องค์ประกอบของใยอาหารของทั้งใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ละลายน้ำ มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับความสามารถในการอุ้มน้ำ เนื่องจากใยอาหารทั้งสองชนิดนี้มีองค์ประกอบของพอลีแซคคาไรด์ซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีหมู่ไฮดรอกซีอิสระเป็นจำนวนมาก จึงสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ (หยาดฝน ทนงการกิจ, 2557) ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมีปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ ไม่แตกต่างกัน ($p\geq0.05$) แต่มีปริมาณปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ สูงกว่าเปลือกเสาวรสผง ($p<0.05$) จึงพบว่าผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส มีความสามารถในการอุ้มน้ำ (18.51กรัม น้ำ /กรัม น้ำหนักแห้ง) มากกว่าเปลือกเสาวรสผง (17.97 กรัม น้ำ /กรัม น้ำหนักแห้ง) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเตรียมขั้นต้นวัตถุดิบและการ ทำแห้งด้วยสภาวะที่เหมาะสม ทำให้ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมีใยอาหารที่มีความบริสุทธิ์มากขึ้น โดยมีปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ ไม่แตกต่างกัน ($p\geq0.05$) แต่มีปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ สูงกว่าเปลือกเสาวรสผง ($p<0.05$) นอกจากนี้ ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ มากกว่าผงใยอาหารจากวัสดุเศษเหลืออื่น เช่น ผงใยอาหารจากกากส้ม (7.0 กรัม น้ำ /กรัม น้ำหนักแห้ง) เปลือกเกรปฟรุต (7.0-9.3กรัม น้ำ/กรัม น้ำหนักแห้ง) และ อัลบิโดเสาวรส (13.00 กรัม น้ำ /กรัม น้ำหนักแห้ง) (Lario et al.,2004; Crizel et al., 2013; López-Vargas et al., 2013) จึงมีความเหมาะสมที่จะนาไปใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารได้ เช่น ผลิตภัณฑ์อิมัลชันเพื่อลดการแยกตัวของน้ำ ออกจากผลิตภัณฑ์ ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ รวมถึงผลิตภัณฑ์อาหารที่ต้องการความชุ่มชื้น ทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถอุ้มความชื้นไว้ได้มากขึ้น

สำหรับความสามารถในการอุ้มน้ำมัน พบว่า ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (3.58 กรัม น้ำมัน/กรัม น้ำหนักแห้ง) มากกว่าเปลือกเสาวรสผง (2.84 กรัม น้ำมัน/กรัม น้ำหนักแห้ง) ทั้งนี้เนื่องจากการเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้งมีผลในการปรับปรุงสมบัติพื้นผิว (Surface properties) ของผงใยอาหารให้มีผิวสัมผัสมากขึ้น โดยการลวกเปลือกเสาวรสในน้ำร้อน ทำให้

โครงสร้างเซลล์ของเปลือกเสาวรสมีลักษณะนุ่ม และมีความเป็นรูพรุนมาก จึงเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้ผงใยอาหารสามารถดูดซับน้ำมันได้มากขึ้น (พัชราภรณ์ วชิรศิริ, 2550; สหขวัญ โรจนคุณธรรม และอังคณา จันทรพลพันธ์, 2557) Biswas, Kumar,Bhosle, Sahoo, and Chatli (2011) กล่าวว่า แม้ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของใยอาหารจะเกี่ยวข้องสัมพันธ์กันกับองค์ประกอบของใยอาหารก็ตาม แต่สมบัติพื้นผิวด้านความเป็นรูพรุนของโครงสร้างใยอาหารมีผลต่อการดูดซับน้ำมันของโมเลกุลใยอาหารมากกว่า นอกจากนี้ Betancur-Ancona et al. (2004) กล่าวว่า ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของใยอาหารเกี่ยวข้องกับการดูดซับน้ำมันบริเวณพื้นผิวขององค์ประกอบอินทรีย์ (Organic compounds) ซึ่งมักมีค่าสอดคล้องกับปริมาณองค์ประกอบอินทรีย์พวกเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ซึ่งเป็นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ หากมีปริมาณมากจะมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันสูง เนื่องจากเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส มีส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ที่สามารถจับ (Trap) กับหยดน้ำมัน (Oil droplet) หรือกล่าวได้ว่าหยดน้ำมันสามารถถูกล้อมรอบด้วยอนุภาคของเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสได้มาก จึงแสดงความสามารถในการอุ้มน้ำมันได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่พบว่า ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมีปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ มากกว่าเปลือกเสาวรสผง จึงน่าจะมีองค์ประกอบพวกเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสมากกว่า ทำให้มีความสามารถในการอุ้มน้ำมันมากกว่านั่นเอง โดยพบแนวโน้มว่า ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมันน้อยกว่าผงใยอาหารจากวัสดุเศษเหลืออื่น ๆ เช่น กากทับทิม (5.9 กรัม น้ำมัน/กรัม น้ำหนักแห้ง) (Viuda-Martos et al., 2012) เปลือกกีวี่ (6.0 กรัม น้ำมัน/กรัม น้ำหนักแห้ง) (Femenia et al., 2009)

สำหรับความสามารถในการพองตัว พบว่า ให้ผลไปในทิศทางเดียวกับความสามารถในการอุ้มน้ำ และความสามารถในการอุ้มน้ำมัน โดยผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมีค่าความสามารถในการพองตัว (23.13 มิลลิลิตร/กรัม น้ำหนักแห้ง) มากกว่าเปลือกเสาวรสผง (18.67 มิลลิลิตร/กรัม น้ำหนักแห้ง) ทั้งนี้เนื่องจากการเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้งทำให้ผงใยอาหารมีความบริสุทธิ์มากขึ้น โดยสามารถกำจัดองค์ประกอบต่าง ๆ ที่ขัดขวางการดูดซับ เก็บกักน้ำ ไว้ในโครงสร้างของใยอาหาร จึงช่วยปรับปรุงความสามารถในการอุ้มน้ำ และความสามารถในการพองตัวให้ดีขึ้นได้ (Peerajit et al., 2012) และในขั้นตอนการลวกชิ้นเปลือกเสาวรสใน น้ำร้อน มีผลให้โครงสร้างเซลล์ของเปลือกเสาวรสมีลักษณะนุ่มและมีความเป็นรูพรุนมากขึ้น จึงมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น เป็นการเพิ่มโอกาสให้ผงใยอาหารสามารถละลายน้ำ และอุ้มน้ำ รวมถึงมีการพองตัวได้มากขึ้นเช่นกัน (พัชราภรณ์ วชิรศิริ, 2550; สหขวัญ โรจนคุณธรรม และอังคณา จันทรพลพันธ์, 2557) นอกจากนี้ความสามารถในการพองตัวของใยอาหารยังขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของใยอาหารทั้งส่วนที่ละลายน้ำ และไม่ละลายน้ำ โดยองค์ประกอบของใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ มีหมู่ไฮดรอกซิลเป็นองค์ประกอบ และสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ และใยอาหารบางประเภท เช่น เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส มีสมบัติพองตัวได้ (López-Vargas et al.,2013 ; สหขวัญ โรจนคุณธรรม และอังคณา จันทรพลพันธ์,2557) สอดคล้องกับที่ หยาดฝน ทนงการกิจ (2557) และ Lertphatcharanon (2007) กล่าวว่า ใยอาหารทั้งชนิดที่ละลายน้ำ และไม่ละลายน้ำ มีความสามารถอุ้มน้ำ ไว้ได้ดี โดยใยอาหารที่ละลายน้ำ จะดูดซับน้ำไว้ แล้วเพิ่มความหนืด และบางครั้งเกิดเจลได้ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ขณะที่ใย

อาหารที่ไม่ละลายน้ำไม่สามารถเกิดเจลแต่จะดูดซับน้ำ ปริมาณมากไว้ในส่วนที่ชอบน้ำได้ (Hydrophilic) แล้วอาจเกิดการพองตัวได้ สำหรับผลการวิเคราะห์ความสามารถในการชะลอการดูดซับน้ำตาล หรือค่า Glucose Retardation Index (GRI) คือค่าที่ใช้ทำนายถึงการดูดซับน้ำตาลของใยอาหารในระบบทางเดินอาหารที่เวลาต่างๆ สำหรับงานวิจัยนี้วิเคราะห์ค่า GRI โดยใช้ถุงไดอะไลซิส (Dialysis) จำลองสภาวะของระบบทางเดินอาหาร ทำได้โดยการเติมผงใยอาหารผสมกับสารละลายน้ำตาลกลูโคสและบรรจุในถุงไดอะไลซิสที่มีสมบัติเป็นเยื่อเลือกผ่าน และแช่อยู่ในน้ำ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส สุ่มตัวอย่างสารละลายนอกถุงไดอะไลซิส และวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลที่แพร่ออกมา แล้วคำนวณเป็น %GRI หากมีค่ามาก แสดงให้เห็นว่า ใยอาหารสามารถชะลอการดูดซับน้ำตาลได้มาก

จากผลการทดลองตารางที่ 4-30 พบว่า ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ผลิตได้ มีค่า GRI ที่เวลา Dialysis 30 60 120 และ 180 นาที เท่ากับ 22.72% 13.78% 9.96% และ 5.82% ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าเปลือกเสาวรสผงที่มีค่า GRI เท่ากับ 15.14% 9.24% 7.58% และ 3.67% ตามลำดับ ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่าตลอดการไดอะไลซิส 180 นาที ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ผลิตได้มีความสามารถในการชะลอการดูดซับน้ำตาลได้มากกว่าเปลือกเสาวรสผง คิดเป็น 6.29%-7.58% เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 4-16 แสดงให้เห็นแนวโน้มความสามารถในการดูดซับน้ำตาลของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ผลิตได้ และเปลือกเสาวรสผง พบว่า ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ผลิตได้มีค่า GRI (5.82%-22.72%) มากกว่าเปลือกเสาวรสผง (3.67%-15.14%) ในทุกช่วงเวลาของการ dialysis ตั้งแต่เวลา 0-180 นาที แสดงให้เห็นว่าผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสสามารถชะลอการดูดซับน้ำตาลกลูโคสได้ดีกว่าเปลือกเสาวรสผง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดสูงกว่าเปลือกเสาวรสผง จึงทำให้ใยอาหารสามารถจับกับน้ำตาลกลูโคส เกิดการพองตัวได้ ซึ่งเป็นการชะลอการแพร่ของน้ำตาลกลูโคสออกมากับน้า ภายนอกถุง dialysis อย่างไรก็ตาม พบว่า เมื่อเวลาการ dialysis เพิ่มขึ้น ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและเปลือกเสาวรสผงมีค่า GRI ลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก เมื่อเวลาการ dialysis นานขึ้น ความหนืดของสารละลายในถุง dialysis และความอิ่มตัวของการดูดซับกลูโคสไว้กับผงใยอาหารมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงทำให้โอกาสที่น้ำตาลแพร่ออกมานอกถุง dialysis น้อยลง ผลการทดลองที่ได้มีแนวโน้มคล้ายกันกับงานวิจัยของผงใยอาหารจากวัสดุเศษเหลือชนิดอื่น เช่น ผงใยอาหารจากเปลือกส้ม (0.84%-26.6%) (Chau & Huang, 2003) และผงใยอาหารจากกากมะนาว (10.12%-22.28%) (Peerajit et al., 2012) ที่พบว่าที่เวลา Dialysis นานขึ้น มีแนวโน้มทำให้ค่า GRI ลดลง นอกจากนี้กระบวนการผลิตผงใยอาหารที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นวัตถุดิบ และการทำแห้งด้วยสภาวะที่เหมาะสม มีผลให้โครงสร้างภายในของผงใยอาหารมีลักษณะความเป็นรูพรุนมากยิ่งขึ้น ทำให้สามารถจับน้ำตาลกลูโคสได้มาก ค่า GRI จึงสูงขึ้น ในขณะที่เปลือกเสาวรสผงที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นใด ๆ ลักษณะพื้นผิวของผงมีลักษณะเรียบ ความเป็นรูพรุนน้อย จึงทำให้ความสามารถในการกักเก็บกลูโคสไว้ภายในใยอาหารลดลง ค่า GRI จึงต่ำกว่านั่นเอง

สำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค เมื่อทำการถ่ายภาพผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและเปลือกเสาวรสผง ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่กำลังขยาย 200 เท่า (ภาพที่ 4-17) พบว่า ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและเปลือกเสาวรสผงส่วนใหญ่มีลักษณะรูปร่างและขนาดหลากหลาย โดยสังเกตเห็นได้ว่าผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ผลิตได้ (ดังภาพที่ 4-17 (ก)) มีอนุภาคขนาดใหญ่ และพองตัวมากกว่าเปลือกเสาวรสผง (ดังภาพที่ 4-17 (ข)) พัชราภรณ์ วชิรศิริ (2550) สหขวัญ โรจนคุณธรรมและอังคณา จันทรพลพันธ์ (2557) กล่าวว่าการเตรียมขั้นต้นวัตถุดิบก่อนการทำแห้ง ในกระบวนการผลิตผงใยอาหาร เช่น การลวกด้วยน้ำร้อน การแช่ในสารละลาย ซึ่งส่งผลต่อโครงสร้างของใยอาหาร ทำให้ใยอาหารมีความพองตัวมากขึ้น เมื่อนำไปทำแห้งด้วยสภาวะที่เหมาะสม น้ำที่ระเหยออกไปทำให้โครงสร้างของใยอาหารมีความเป็นรูพรุนมากขึ้น จากผลการทดลอง พบว่าโครงสร้างทางจุลภาคของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ผลิตได้จากภาพที่กำลังขยาย 500 เท่า (ภาพที่ 4-18) ทำให้เห็นโครงสร้างของใยอาหารชัดเจนขึ้น ซึ่งพบว่า มีพื้นผิวที่ขรุขระ และมีโครงสร้างเป็นรูพรุนมาก (ภาพที่ 4-18 (ก)) ในขณะที่เปลือกเสาวรสผง มีลักษณะพื้นผิวเรียบกว่า และโครงสร้างเป็นรูพรุนน้อยกว่า (ภาพที่ 4-18 (ข)) ซึ่งการที่ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมีโครงสร้างเป็นรูพรุนมากกว่านั้น จึงเพิ่มความสามารถกักเก็บน้ำ ไว้ใน โมโลกุลได้มากกว่า เป็นสาเหตุหนึ่งที่สนับสนุนให้มีความสามารถในการอุ้มน้ำความสามารถในการอุ้มน้ำมัน ความสามารถในการพองตัว และความสามารถในการชะลอการดูดซับมากกว่าเปลือกเสาวรสผงนั่นเอง

ตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของผลิตภัณฑ์อาหารที่มีลักษณะผงแห้ง ซึ่งมักกำหนดเกณฑ์มาตรฐานความปลอดภัย สำหรับการบริโภคด้านคุณภาพทางจุลินทรีย์ไว้ใกล้เคียงกันในงานวิจัยนี้เลือกมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของผลิตภัณฑ์ที่มีความใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ได้แก่ ขมิ้นผง เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำแห้งและบดเป็นผงสามารถนำไปใช้เป็นส่วนผสมในอาหารได้ (มผช. 676/2547) กำหนดไว้ว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ต้องไม่เกิน 1.0 × 105 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ยีสต์และรา ต้องไม่พบในตัวอย่าง 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม (สำ นักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547) ร่วมกับเกณฑ์ของขมิ้นชันผงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 890-2532) กำหนดไว้ว่า ราไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม จากตารางที่ 4-31 ผลการวิเคราะห์ด้านจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา พบว่า ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระและเปลือกเสาวรสผงมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด เท่ากับ 4.5 × 102 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม และ 6.0 × 102 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ตามลำดับซึ่งไม่เกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนที่กำหนด และตรวจไม่พบยีสต์และรา ซึ่งไม่เกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่กำหนด แสดงให้เห็นว่ากรรมวิธีการผลิตผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและเปลือกเสาวรสผงที่ใช้ สามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ที่อาจปนเปื้อนได้ โดยตัวอย่างผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและเปลือกเสาวรสผง ได้รับความร้อนจากการทา แห้งด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 60-62 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 300 นาที-400 นาที จนปริมาณความชื้นไม่เกิน 8 กรัม/100กรัม นอกจากนี้ในกรณีของการเตรียมขั้นต้นโดยการใช้ความร้อนและการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์อาจช่วยชะลอการเสื่อมเสียได้

5.5 ผลการศึกษาการใช้ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสเป็นส่วนผสมของอาหารจำลองสาหรับผู้สูงอายุ

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ผลิตได้มาใช้เป็นส่วนผสมของอาหารเพื่อสุขภาพ สำหรับผู้สูงอายุโดยการเสริมผงใยอาหารลงไปในอาหารจำลองประเภทของเหลว (Liquid model food) ได้แก่ น้ำเสาวรสพร้อมดื่ม และอาหารจำลองประเภทเจล (Gel model food) ได้แก่ เต้าหู้เย็น ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผู้สูงอายุ สามารถรับประทานได้ เพื่อตอบสนองความต้องการด้านการเคี้ยว และการกลืน (สำนักนโยบายอุตสาหกรรม, 2556) แต่เนื่องจากปริมาณผงใยอาหารที่เติมในผลิตภัณฑ์อาจมีผลต่อคุณภาพสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ จึงได้มีการศึกษาผลของปริมาณการเติมผงใยอาหาร และปัจจัยการผลิตที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ดังนี้

5.5.1 ผลของปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและอุณหภูมิในการเตรียมต่อคุณภาพของน้าเสาวรสพร้อมดื่ม

งานวิจัยนี้จึงนำผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมาเติมเป็นส่วนผสมในน้ำเสาวรสพร้อมดื่มสำหรับผู้สูงอายุ โดยศึกษาปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส 5 ระดับ ได้แก่ 1% 2% 3% 4% และ 5% และอุณหภูมิในการเตรียม 2 ระดับ ได้แก่ 28±2 องศาเซลเซียส และ 60±1 องศาเซลเซียสต่อคุณภาพของน้ำ เสาวรสพร้อมดื่มทั้งคุณภาพทางเคมีกายภาพ ได้แก่ ค่าสี (L* a* b* Hue angle Chroma และ ΔE) ค่าความหนืด ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และคุณภาพทางประสาทสัมผัสจากการทดสอบโดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนด้วยวิธี Quantitative Descriptive Analysis (QDA) และการทดสอบโดยใช้ผู้ทดสอบกึ่งฝึกฝนด้วยวิธี Scoring Test และการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบเป็นผู้สูงอายุ (อายุตั้งแต่ 60 ปี ขึ้นไป) ด้วยวิธี 9-point hedonic scale ผลการวิเคราะห์คุณภาพที่ได้มีดังนี้

จากตารางที่ 4-32 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของคุณภาพทางเคมีกายภาพของน้ำเสาวรสพร้อมดื่ม พบว่า ปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและอุณหภูมิการเตรียม มีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าสี (L* a* b* Hue angle Chroma และΔE) ค่าความหนืด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากภาพที่ 4-19 เมื่อประเมินสีของน้าเสาวรสพร้อมดื่มที่ไม่มีการเติมผงใยอาหาร (Control) และน้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและอุณหภูมิในการเตรียมด้วยตาเปล่า พบว่า น้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่ไม่มีการเติมผงใยอาหาร (Control) มีสีเหลืองอ่อน และมีลักษณะค่อนข้างใสตามธรรมชาติของน้ำเสาวรส ในขณะที่น้ำเสาวรสพร้อมดื่มทั้งที่ใช้อุณหภูมิในการเตรียมที่ 28±2 องศาเซลเซียส และ 60±1 องศาเซลเซียส เมื่อเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสในปริมาณมากขึ้น ทำให้น้ำเสาวรสพร้อมดื่มมีสีออกส้มแดงเข้มมากกว่าน้ำเสาวรสพร้อมดื่ม (Control)

จากตารางที่ 4-33 ผลการวิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่องวัดค่าสี พบว่า ทั้งการเตรียมที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) และ 60±1 องศาเซลเซียส การเพิ่มปริมาณผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมากขึ้น มีแนวโน้มทำให้ค่าสี L* และ a* สูงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส มีสีออกม่วงแดงอ่อนจากรงควัตถุแอนโทไซยานินที่มีสมบัติละลายได้ดีในน้ำ และเป็นรงควัตถุที่สอดคล้องกับค่าสี a* มากที่สุด โดยสามารถละลายได้ในน้ำ ทั้งที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิสูง (ญาณี จินดามัง และปิยะ วิทย์ทิพรส, 2555; Yang & Zhai, 2010) ดังนั้นเมื่อเติมผงใยอาหารผสมลงไปในน้ำ เสาวรสพร้อมดื่มเพิ่มขึ้นถึง 5% รงควัตถุที่อยู่ในผงใยอาหารจึงสามารถละลายออกมากับน้ำ ที่ใช้เตรียมได้ เป็นผลให้น้ำเสาวรสพร้อมดื่มมีความสว่างและความเป็นสีแดงสูงขึ้น

จากผลการทดลอง พบว่า สิ่งทดลองที่ 5 น้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 5% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิในการเตรียมที่ 28±2 องศาเซลเซียส มีค่า L* สูงที่สุด ($p<0.05$) และรองลงมาคือ สิ่งทดลองที่ 10 น้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 5% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิในการเตรียมที่ 60±1 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ($p<0.05$) สำหรับค่า a* พบว่า สิ่งทดลองที่ 10 น้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 5% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิในการเตรียมที่ 60±1 องศาเซลเซียส มีค่า a* สูงที่สุด ($p<0.05$) และรองลงมาคือ สิ่งทดลองที่ 5 น้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 5% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิในการเตรียมที่ 28±2 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ($p<0.05$) และน้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่มีค่า Hue angle ที่อยู่ใกล้เฉดสีส้มแดง (ค่า Hue angle 45-90 องศา) มากที่สุด คือสิ่งทดลองที่ 5 น้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 5% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิในการเตรียมที่ 28±2 องศาเซลเซียส และสิ่งทดลองที่ 10 น้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 5% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิในการเตรียมที่ 60±1 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ($p<0.05$) สา หรับค่า b* ซึ่งหมายถึงความเป็นสีเหลือง พบว่า ทั้งการเตรียมที่อุณหภูมิ28±2 องศาเซลเซียส และ 60±1 องศาเซลเซียส การเพิ่มปริมาณผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสเพียง 1% ทำให้มีค่าสี b* ต่ำอยู่ในช่วง 20.68-24.59 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปกติน้ำเสาวรสพร้อมดื่มมีสีออกเหลือง การเติมผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสปริมาณน้อย มีผลให้ความเป็นสีเหลืองลดลงได้จากสีของผงใยอาหารที่เติมไปรบกวนให้มีสีเหลืองอ่อนลงแต่เมื่อเติมผงใยอาหารมากขึ้นเป็น 2%-5% มีผลให้ผงใยอาหารซึ่งมีสีม่วงแดงอ่อนมีความเข้มสีมากขึ้น จนส่งผลให้ตัวอย่างมีสีออกทางเหลืองส้มมากขึ้น ทำให้มีค่าสี b* สูง อยู่ในช่วง 26.22-28.09 สำหรับค่า Chroma ซึ่งหมายถึงค่าความเข้มของสี พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 20.90-29.75 โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมากขึ้น ซึ่งเป็นความเข้มสีที่สอดคล้องกับผงใยอาหารที่เติมลงไปนั่นเอง จากการวิเคราะห์ค่าสี L* a* และ b* ของน้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่ไม่มีการเติมผงใยอาหาร (Control) พบว่า มีค่าสีเท่ากับ 21.05 -0.51 และ 18.45 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ค่า ΔE ซึ่งหมายถึงค่าการเปลี่ยนแปลงของสี ยืนยันให้เห็นว่า สิ่งทดลองที่ 1 น้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส 1% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิในการเตรียมที่ 28±2 องศาเซลเซียส ทำให้ค่าสีเปลี่ยนแปลงไปจากน้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่ไม่เติมผงใยอาหาร (Control) น้อยที่สุด ($p<0.05$) และสิ่งทดลอง

ที่ 5 น้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส 5% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิในการเตรียมที่ 28±2 องศาเซลเซียส ทำให้ค่าสีเปลี่ยนแปลงไปจากน้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่ไม่มีการเติมผงใยอาหาร (Control) มากที่สุด ($p<0.05$) รองลงมาคือ สิ่งทดลองที่ 10 น้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 5% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิในการเตรียมที่ 60±1 องศาเซลเซียสตามลำดับ ($p<0.05$) ผลิตภัณฑ์เพิ่มความหนืด (Thicken foods) นิยมบริโภคในผู้ป่วยที่มีปัญหาเรื่องการกลืนอย่างมาก เนื่องจากการบริโภคอาหารประเภทของเหลว อาจทำให้การกลืนเร็วเกินไป จนเกิดการสำลักได้ การเติมสารเพิ่มความข้นหนืดให้กับผลิตภัณฑ์อาหารเหลวและของเหลว จึงสามารถช่วยให้ผู้ที่มีปัญหาในการกลืนลำบากมีความปลอดภัยมากขึ้น ตัวอย่างเช่น ผลิตภัณฑ์นม UHT เพิ่มความข้นหนืด (Thicken milk) และน้ำผลไม้เพิ่มความเข้มข้นหนืด (Thicken fruit juice) National Dysphagia Diet Task Force (2002) แบ่งระดับความข้นหนืดได้ 4 ระดับ ได้แก่ 1) ความข้นหนืดระดับต่ำ (Thin) มีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 1 cP- 50 cP 2) ความข้นหนืดระดับ น้ำเชื่อม (Nectar-like) มีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 51 cP- 350 cP 3) ความข้นหนืดระดับน้ำผึ้ง (Honey-like) มีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 351 cP-1700 cP และ 4) ความข้นหนืดระดับสูง (Spoon-thick) มีค่าความหนืดตั้งแต่ 1700 cP ขึ้นไป ทั้งนี้ความต้องการระดับความหนืดต่าง ๆ ต้องเลือกให้เหมาะสมกับแต่ละบุคคล ซึ่งอาจทราบได้จากการเข้ารับการปรึกษาโดยแพทย์ผู้เชี่ยวชาญ โดยผู้ที่มีปัญหาเรื่องการกลืนควรบริโภคผลิตภัณฑ์เพิ่มความข้นหนืดระดับน้ำผึ้งหรือระดับสูง ขณะที่ผู้ที่มีปัญหาเรื่องการกลืนไม่มากนักอาจบริโภคผลิตภัณฑ์เพิ่มความข้นหนืดระดับความหนืดต่ำ หรือระดับน้ำเชื่อมในงานวิจัยนี้ได้มีการประยุกต์ใช้ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสซึ่งนอกจากเป็นแหล่งที่ดีของใยอาหารและสารพฤกษเคมีแล้ว ยังมีสมบัติเชิงหน้าที่ ทั้งความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน และความสามารถในการพองตัวที่ดี จึงน่าจะนำมาใช้ในการเพิ่มความข้นหนืดให้กับอาหารประเภทของเหลว เช่น น้ำผลไม้ได้

จากตารางที่ 4-34 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดของน้ำเสาวรสพร้อมดื่ม พบว่าสิ่งทดลองที่ 1 น้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 1% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิในการเตรียมที่ 28±2 องศาเซลเซียส มีความหนืดน้อยที่สุด เท่ากับ 9.82 cP ($p<0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 10 น้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 5% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิในการเตรียมที่ 60±1 องศาเซลเซียส มีความหนืดมากที่สุด เท่ากับ 220.62 cP($p<0.05$) โดยน้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสทำให้น้ำเสาวรสพร้อมดื่มมีความหนืด (9.82-220.62cP) มากกว่าน้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่ไม่มีการเติมผงใยอาหาร (Control) โดยมีค่าความหนืด เท่ากับ 6.07 cP และหากจัดกลุ่มผลิตภัณฑ์ตามระดับความหนืดที่ National Dysphagia Diet Task Force (2002) รายงานไว้ พบว่า ผลิตภัณฑ์น้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสทุกสิ่งทดลองมีความข้นหนืดอยู่ในระดับต่ำ (Thin) และความข้นหนืดระดับน้ำเชื่อม (Nectar-like) โดยพบว่าสิ่งทดลองที่ 1 2 3 6 7 และ 8 ซึ่งใช้ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส 1%-3% จัดอยู่ในความข้นหนืดระดับต่ำ (ค่าความหนืดอยู่ในช่วง 9.82-31.37 cP) และสิ่งทดลองที่ 4 5 9 และ 10 ซึ่งใช้ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส 4%-5% จัดอยู่ในความข้นหนืดระดับน้ำเชื่อม(ค่า

ความหนืดอยู่ในช่วง 60.34-220.62 cP) ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ใช้มีทั้งส่วนของใยอาหารที่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งโครงสร้างของใยอาหารประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) จำนวนมาก จึงสร้างพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bounding) กับน้ำได้ดีมีความเป็น Hydrophilicity สูง โดยใยอาหารที่ละลายน้ำ สามารถดูดซับน้ำไว้ แล้วเพิ่มความหนืด และบางครั้งเกิดเจลได้ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ในขณะที่ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ไม่สามารถเกิดเจลแต่จะดูดซับน้ำปริมาณมากไว้ในส่วนที่ชอบน้ำได้ (Hydrophilic) แล้วอาจเกิดการพองตัวได้ (หยาดฝน ทนงการกิจ , 2557; Lertphatcharanon, 2007) ดังนั้นเมื่อเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระในปริมาณสูงถึง 5% จึงเพิ่มโอกาสให้มีปริมาณใยอาหารที่สามารถจับกับน้ำได้มาก โดยสามารถกักเก็บน้ำ ในโครงสร้างของใยอาหาร ส่งผลให้ความหนืดของน้ำ ผลไม้เพิ่มขึ้นได้ นอกจากนี้การเตรียมที่อุณหภูมิสูง 60±1 องศาเซลเซียส ช่วยส่งเสริมให้อนุภาคใยอาหารสามารถบวมน้ำ และสามารถเกิดการอุ้มน้ำ ได้อย่างเต็มที่ ส่งผลให้ผงใยอาหารมีอนุภาคใหญ่ขึ้น นอกจากนี้ใยอาหารบางส่วน เช่น เพคตินสามารถละลายออกมาและทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความข้นหนืด (Thickening agent) โดยมีรายงานว่าเพคตินจะสามารถละลายออกมาได้ดีขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิการเตรียมที่สูงขึ้น (Espachs-Barroso, Soliva-Fortuny, & Martín-Belloso, 2005) ดังนั้นการใช้อุณหภูมิการเตรียม 60±1 องศาเซลเซียส ร่วมกับการเติมผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสในปริมาณมาก จึงทำให้น้ำเสาวรสพร้อมดื่มมีความหนืดมากกว่าการเตรียมที่อุณหภูมิห้องร่วมกับการเติมผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสในปริมาณน้อยนั่นเอง สอดคล้องกับรายงานของ Thongsombat, Sirichote, and Chanthachum (2007) รายงานว่า น้ำฝรั่งที่เติมผงใยอาหารที่สกัดจากกากฝรั่ง ซึ่งเป็นใยอาหารที่อยู่ในรูปเพคติน มีความหนืดสูงขึ้นเมื่อมีการเตรียมน้ำฝรั่งที่อุณหภูมิสูงร่วมกับการเติมผงใยอาหารปริมาณมากขึ้น และปรอยฝน เลิศวนวัฒนา และคณะ (2551) กล่าวว่า ในการเตรียมให้น้ำสับปะรดพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารจากกากมะนาวปริมาณ 1%-5% ให้มีการอุ้มน้ำได้อย่างเต็มที่ (Full hydration) สามารถดำเนินการโดยการเตรียมโดยใช้ความร้อนอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส และส่งผลให้ค่าความหนืดของน้ำสับปะรดพร้อมดื่มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่า ปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและอุณหภูมิในการเตรียมมีผลต่อคุณภาพด้านสีและความหนืดของน้ำเสาวรสพร้อมดื่ม สอดคล้องกับที่ López-Vargas et al. (2013) กล่าวว่า ค่าสีของผงใยอาหาร เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญ ซึ่งส่งผลต่อผลิตภัณฑ์ เมื่อใช้ผงใยอาหารเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารจะส่งผลต่อทั้งค่าสี รวมถึงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อีกด้วย

สำหรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด หมายถึง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมด ทั้งนี้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดแสดงถึงส่วนประกอบที่ละลายได้ เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน กรดอินทรีย์ และวิตามินที่ละลายน้ำ เป็นต้น (วัชรี เทพโยธิน, นันทัชพร เสนาวงค์ และจุฑาทิพย์ เมืองพรม, 2559) จากตารางที่ 4-34 พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 น้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 1% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิในการเตรียม 28±2 องศาเซลเซียสมีผลทำให้น้ำเสาวรสพร้อมดื่มมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดต่ำ ที่สุด เท่ากับ 17.47 องศาบริกซ์ ($p<0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 9 น้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 4% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิในการเตรียม

60±1 องศาเซลเซียส และสิ่งทดลองที่ 10 น้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 5% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิในการเตรียม 60±1 องศาเซลเซียส มีผลทำให้น้ำเสาวรสพร้อมดื่มมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสูงที่สุด เท่ากับ 19.60±1 องศาบริกซ์ ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส ยังคงมีของแข็งที่ละลายน้ำ ได้เป็นองค์ประกอบ เช่น น้ำตาล (3.18กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ดังนั้นเมื่อมีการเติมผงใยอาหารในปริมาณเพิ่มขึ้นจึงเป็นการเพิ่มปริมาณของแข็งที่ละลายได้ด้วย นอกจากนี้เมื่อใช้อุณหภูมิในการเตรียมสูงถึง 60±1 องศาเซลเซียสมีโอกาสให้องค์ประกอบของแข็งจากพวกเพคติน น้ำตาล และกรดอะมิโน (Espachs-Barroso et al.,2005) ที่เป็นองค์ประกอบของน้ำเสาวรสเข้มข้นมีโอกาสละลายออกมาได้มากขึ้นอีกทางหนึ่งสอดคล้องกับ ปรอยฝน เลิศวนวัฒนา และคณะ (2551) รายงานว่า การเติมกากมะนาวผงลงในน้ำสับปะรดในปริมาณที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้น เนื่องจากกากมะนาวผงมีของแข็งที่ละลายได้เป็นองค์ประกอบ โดยเฉพาะยังมีกรดอินทรีย์ที่ยังคงอยู่ในกากมะนาว นอกจากนี้การใช้ความร้อนในการเตรียมที่อุณหภูมิ 60±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลารวม 10 นาที มีโอกาสทำให้น้ำระเหยออกได้จึงมีผลให้ผลิตภัณฑ์มีความเข้มข้นมากขึ้น ปริมาณของแข็งที่ละลายได้จึงมีสัดส่วนที่เพิ่มมากขึ้นได้ จากผลการทดลองโดยรวมพบว่า การเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มลงในน้ำเสาวรส ทั้งการเตรียมที่อุณหภูมิ 28±2 องศาเซลเซียส และ 60±1 องศาเซลเซียส มีผลทำให้น้ำเสาวรสพร้อมดื่มมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้น (17.47-19.60 องศาบริกซ์) เมื่อเทียบกับน้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่ไม่มีการเติมผงใยอาหาร (Control) ที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด เท่ากับ 17.00 องศาบริกซ์ เนื่องจากเป็นการเติมของแข็งที่ละลายน้ำ ได้ให้กับผลิตภัณฑ์นั่นเองเมื่อพิจารณาผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำเสาวรสพร้อมดื่มด้วยวิธี Quantitative Descriptive Analysis (QDA) โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 8 คน ที่ได้รับการฝึกฝนก่อนทำการทดสอบจริง ซึ่งการฝึกฝนผู้ทดสอบนั้นเริ่มต้นจากการให้ผู้ทดสอบคุ้นเคยกับผลิตภัณฑ์น้ำเสาวรสพร้อมดื่มในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รส เนื้อสัมผัส ซึ่งน้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่ผลิตได้เมื่อมีการแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและอุณหภูมิในการเตรียม ให้ผู้ทดสอบได้คิดค้นคำศัพท์จากคุณลักษณะด้านต่าง ๆ ที่ปรากฏ และคัดเลือกคำศัพท์โดยให้ผู้ทดสอบได้เข้าใจคำศัพท์ที่ใช้และคุณลักษณะปัจจัยที่ต้องการให้ประเมิน ซึ่งจากผลการคิดค้นคำศัพท์และคัดเลือกคำศัพท์ ได้คำศัพท์ทั้งหมด 7 คำศัพท์ ได้แก่ สีส้มแดง การตกตะกอน กลิ่นเสาวรส รสหวาน รสเปรี้ยว ความหนืดในปาก และความสากลิ้น แสดงดังตารางที่ 4-35 การฝึกฝนผู้ทดสอบเป็นการปรับความรู้สึกของแต่ละคนให้ตรงกันด้วยการพูดคุยและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นที่จะยอมรับช่วงคะแนนดังกล่าว เพื่อใช้เป็นพื้นฐานความเข้าใจการให้คะแนนที่ใกล้เคียงกันในการทดสอบทุกครั้ง เปรียบเสมือนกับการใช้เครื่องมือวัด รวมถึงการฝึกฝนการใช้สเกลด้วย สาหรับการทดสอบด้วยวิธี QDA ใช้สเกลเส้นตรงความยาว 15 เซนติเมตร การฝึกฝนจะสำเร็จได้เมื่อผู้ทดสอบให้คะแนนผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกันหรือปรับการให้คะแนนใกล้เคียงกันได้หมดทุกคน โดยค่า SD สำหรับคะแนนแต่ละคุณลักษณะของคำศัพท์ไม่เกิน 1

จากตารางที่ 4-36 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของคุณลักษณะน้ำเสาวรสพร้อมดื่ม พบว่าปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและอุณหภูมิในการเตรียมมีอิทธิพล

ร่วมกันต่อคุณลักษณะด้านสีส้มแดง การตกตะกอน รสเปรี้ยว ความหนืดในปาก และความสากลิ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในขณะที่ไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อกลิ่นเสาวรส และรสหวาน ($p\geq0.05$) และจากตารางที่ 4-37 ผลการประเมินความเข้มของคุณลักษณะน้ำเสาวรสพร้อมดื่มจากการทดสอบโดยวิธี QDA พบว่า น้ำเสาวรสพร้อมดื่มทั้งที่ใช้อุณหภูมิในการเตรียม 28±2 องศาเซลเซียส และ 60±1 องศาเซลเซียส เมื่อเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระในปริมาณที่เพิ่มขึ้น มีแนวโน้มทำให้คะแนนคุณลักษณะด้านสีส้มแดง การตกตะกอน ความหนืดในปาก และความสากลิ้นเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระที่ใช้เป็นส่วนผสม มีสีออกทางม่วงแดง ซึ่งมาจากการมีอยู่ของรงควัตถุแอนโทไซยานิน ด้วยคุณสมบัติของแอนโทไซยานินที่สามารถละลายได้ในน้ำ (ญาณี จินดามังและปิยะวิทย์ ทิพรส, 2555) เมื่อละลายผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสลงในน้ำ โดยเตรียมที่อุณหภูมิ 28±2 องศาเซลเซียส และ 60±1 องศาเซลเซียส ทำให้แอนโทไซยานิน สามารถละลายออกมากับน้ำ ที่ใช้เตรียมได้ น้ำเสาวรสพร้อมดื่มจึงมีสีออกส้มแดงมากขึ้น รวมถึงผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระนี้มีทั้งใยอาหารที่ละลายน้ำได้ และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งโครงสร้างของใยอาหารประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) จำนวนมาก สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bounding) กับน้ำได้มาก ใยอาหารนี้จึงมีความสามารถในการอุ้มน้ำและความสามารถในการพองตัวที่ดี (หยาดฝน ทนงการกิจ, 2557; López-Vargas et al., 2013) เป็นผลให้เมื่อเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระลงไปในปริมาณที่มากขึ้นจึงทำให้น้ำเสาวรสมีความหนืดในปากเพิ่มขึ้นด้วย แต่อย่างไรก็ตามการเติมใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสในปริมาณมาก ทำให้ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งมีปริมาณมากขึ้น ไม่สามารถละลายได้ จึงทำให้น้ำเสาวรสเกิดการตกตะกอน รวมทั้งความสากลิ้นเพิ่มขึ้นด้วยที่ผ่านมาได้มีงานวิจัยที่ศึกษาการเพิ่มความข้นหนืดให้กับน้ำ ผลไม้สำหรับผู้สูงอายุ โดยมักให้ความสำคัญกับลักษณะเนื้อสัมผัสของน้ำผลไม้ เนื่องจากมีผลต่อความยากง่ายการกลืน โดยลักษณะเนื้อสัมผัสที่มีความสำคัญซึ่งมีผลต่อความยากง่ายในการกลืน ได้แก่ ความหนืด นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับลักษณะที่มีผลให้เกิดความรู้สึกฝืดคอหรือระคายคอด้วย เช่น ความสากลิ้น การตกตะกอน เป็นต้น (ปิยะดา อาชายุทธการ, 2554; Cichero & Lam, 2014) ปิยะภัทร เดชพระธรรม (2556) กล่าวว่า วัยสูงอายุเป็นวัยที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและระบบการทำงานต่างๆ ของร่างกาย รวมทั้งการกลืนด้วย ในกรณีอาหารประเภทของเหลวของผู้สูงอายุ จึงควรมีลักษณะสำคัญที่ต้องเอื้อต่อการกลืนได้ง่ายและไม่เกิดการสำลักอาหารที่มีความข้นมากกว่าปกติจะช่วยชะลอไม่ให้อาหารเข้าสู่ระยะคอหอยก่อนเกิดการกลืน ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเหลวสำหรับผู้สูงอายุจึงมีการใช้สารเพิ่มความหนืด (Thickener) เพื่อช่วยให้ผู้สูงอายุหรือผู้ที่มีปัญหากลืนลำบากมีความสะดวกและปลอดภัยในการบริโภคอาหารมากขึ้น นอกจากนี้ในต่างประเทศ เช่น ประเทศญี่ปุ่น ได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์สำหรับผู้สูงอายุโดยเฉพาะ โดยเน้นเรื่องความง่ายและความปลอดภัยในการกลืน มีการใช้สารให้ความหนืดในผลิตภัณฑ์จำพวกเครื่องดื่ม และผงชงละลาย (สำนักนโยบายอุตสาหกรรม, 2556)

จากข้อมูลข้างต้นยืนยันให้เห็นว่า ในการพัฒนาอาหารประเภทของเหลวหรือเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุนั้น ควรให้ความสำคัญกับลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ เช่น ความหนืด ความสากลิ้น การตกตะกอน เนื่องจากมีผลต่อความยากง่ายการกลืน ดังนั้นจากผลการประเมินผลคุณลักษณะทางประสาท

สัมผัสด้วยวิธี QDA จึงเลือกใช้คุณลักษณะที่เกี่ยวข้องกับเนื้อสัมผัส จำนวน 3 คุณลักษณะ ได้แก่ การตกตะกอน ความหนืดในปาก และความสากลิ้น รวมถึงเพิ่มคุณลักษณะที่ใช้เป็นตัวชี้วัดความยากง่ายในการกลืนเพื่อใช้ในการคัดกรองสิ่งทดลองที่เหมาะสมกับการบริโภคอาหารประเภทของเหลวของผู้สูงอายุอีก 1 คุณลักษณะ คือ ความง่ายในการกลืน

สำหรับการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Scoring Test ใช้ผู้ทดสอบกึ่งฝึกฝน จำนวน 30 คน ประเมินความเข้มของคุณลักษณะของน้ำเสาวรสพร้อมดื่ม ได้แก่ การตกตะกอน ความหนืดในปาก ความสากลิ้น และความง่ายในการกลืน โดยให้คะแนนตั้งแต่ 1-5 โดย 1 หมายถึง มีความเข้มคุณลักษณะนั้นน้อยที่สุด และ 5 หมายถึง มีความเข้มคุณลักษณะนั้นมากที่สุด

จากตารางที่ 4-38 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของความเข้มคุณลักษณะน้ำเสาวรสพร้อมดื่มด้วยวิธี Scoring Test พบว่า ปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและอุณหภูมิการเตรียมมีอิทธิพลร่วมกันต่อการตกตะกอน ความหนืดในปาก ความสากลิ้น และความง่ายในการกลืนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากตารางที่ 4-39 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธี Scoring Test พบว่า สิ่งทดลองทั้งหมดได้รับคะแนนด้านความง่ายในการกลืนอยู่ในช่วง 1.00-4.75 ซึ่งหมายถึง มีความง่ายในการกลืนน้อยที่สุดถึงมากที่สุด แสดงให้เห็นว่าปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส 1%-5% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิในการเตรียมทั้ง 2 ระดับ มีผลให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะที่เอื้อต่อการกลืนแตกต่างกัน ซึ่งพบว่าคุณลักษณะความง่ายในการกลืนนั้น มีผลสอดคล้องกับคะแนนความเข้มด้านความหนืดในปาก โดยสิ่งทดลองที่ได้รับคะแนนความง่ายในการกลืนมาก มีคะแนนความเข้มด้านความหนืดในปากน้อย โดยสิ่งทดลองที่ 6 น้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 1% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิการเตรียมที่ 60±1 องศาเซลเซียส มีความหนืดในปากต่ำที่สุด ($p<0.05$) โดยได้รับคะแนนความง่ายในการกลืนสูงที่สุด($p<0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 5 น้ำ เสาวรสพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 5% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิการเตรียมที่ 28±2 องศาเซลเซียส และ สิ่งทดลองที่ 10 น้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 5% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิการเตรียมที่ 60±1 องศาเซลเซียส มีความหนืดในปากสูงที่สุด ($p<0.05$) โดยได้รับคะแนนความง่ายในการกลืนต่ำที่สุด ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสในปริมาณที่เพิ่มขึ้น มีโอกาสให้ผงใยอาหารที่เติมสามารถจับกับน้ำ และเกิดการพองตัวโดยดูดซับน้ำ ไว้ในโครงสร้างของใยอาหารเอง (หยาดฝน ทนงการกิจ, 2557; López-Vargas et al.,2013) จึงมีแนวโน้มให้ความหนืดเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการเติมใยอาหารในปริมาณมากอาจมีผลให้เกิดความหนืดมาก รวมทั้งผงใยอาหารส่วนที่ไม่ละลายน้ำ มีโอกาสเกิดตะกอน และทำให้เกิดลักษณะสากลิ้น เกิดความรู้สึกฝืดคอหรือระคายคอได้ จากตารางที่ 4-39 พบว่าระดับความเข้มคุณลักษณะความง่ายในการกลืนนั้น มีผลสอดคล้องกับคะแนนความเข้มด้านการตกตะกอน และความสากลิ้นเช่นเดียวกัน ซึ่งพบว่าสิ่งทดลองที่ได้รับคะแนนความง่ายในการกลืนมาก มีคะแนนความเข้มด้านการตกตะกอนและความสากลิ้นน้อย โดยสิ่งทดลองที่ 6 น้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ1% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิการเตรียมที่ 60±1

องศาเซลเซียส มีการตกตะกอน และความสากลิ้นต่ำที่สุด ($p<0.05$) โดยได้รับคะแนนความง่ายในการกลืนสูงที่สุด ($p<0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 5 น้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 5% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิการเตรียมที่ 28±2 องศาเซลเซียส และ สิ่งทดลองที่ 10 น้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 5% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิการเตรียมที่ 60±1 องศาเซลเซียส มีการตกตะกอนและความสากลิ้นสูงที่สุด ($p<0.05$) โดยได้รับคะแนนความง่ายในการกลืนต่ำที่สุด ($p<0.05$) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้อุณหภูมิการเตรียมที่ 28±2 องศาเซลเซียส และ 60±1 องศาเซลเซียส โดยใช้สัดส่วนของผงใยอาหารและน้ำเสาวรสตามการทดลองนี้ อาจเอื้อต่อการพองตัวของผงใยอาหารและการดูดซับน้ำไว้ได้ แต่หากใช้ปริมาณผงใยอาหารมากขึ้น อาจไม่สามารถทำให้ผงใยอาหารทั้งหมดที่เติมในน้ำเสาวรส เกิดการพองตัวและดูดซับน้ำ จนเป็นเนื้อเดียวกับน้ำเสาวรสพร้อมดื่มได้ทั้งหมด ผงใยอาหารบางส่วนอาจเกิดการพองตัวและดูดซับน้ำได้ไม่สมบูรณ์ จึงมีโอกาสเกิดการตกตะกอน ทำให้ผู้ทดสอบรู้สึกสากลิ้น และทำให้ยากต่อการกลืนมากขึ้น

จากการพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสจากวิธี Scoring test เพื่อคัดกรองสิ่งทดลองที่มีความเป็นไปได้ในการเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ เพื่อให้การทดสอบความชอบของผลิตภัณฑ์เป็นไปด้วยความเหมาะสม ลดโอกาสการเมื่อยล้าของผู้ทดสอบ (ผู้สูงอายุ) ในการชิมตัวอย่างจำนวนมากเกินไป จึงพิจารณาสิ่งทดลองที่ได้รับคะแนนความง่ายในการกลืนมากที่สุด 5 อันดับแรก ได้แก่ น้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 1% และ 2% ร่วมกับใช้อุณหภูมิในการเตรียมที่ 28±2 องศาเซลเซียส ในสิ่งทดลองที่ 1 และ 2 ตามลำดับ และ น้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 1% 2% และ3% ร่วมกับใช้อุณหภูมิในการเตรียมที่ 60±1 องศาเซลเซียส ในสิ่งทดลองที่ 6 7 และ 8 ตามลำดับ

สำหรับผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale โดย 1 คะแนน คือ ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คะแนน คือ ชอบมากที่สุด ใช้ผู้ทดสอบเป็นผู้สูงอายุ (อายุตั้งแต่ 60±1 ปี ขึ้นไป) จำนวน 30 คน ประเมินความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ความง่ายในการกลืน และความชอบโดยรวม จากตารางที่ 4-40 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของลักษณะน้ำเสาวรสพร้อมดื่มด้วยวิธี 9-point hedonic scale พบว่า ปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและอุณหภูมิการเตรียมมีอิทธิพลร่วมกันต่อความชอบลักษณะปรากฏ ความชอบสี ความชอบกลิ่น ความชอบรสชาติ ความชอบด้านการกลืน และความชอบโดยรวมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากตารางที่ 4-41 พบว่า สิ่งทดลองที่ 4 น้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 2% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิในการเตรียม 60±1 องศาเซลเซียส ได้รับคะแนนความชอบลักษณะปรากฏ (7.30) ความชอบสี (6.87) ความชอบกลิ่น (6.47) ความชอบรสชาติ (7.63) ความชอบด้านการกลืน (7.33) และความชอบโดยรวม (7.60) สูงที่สุด ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่าการผลิตน้ำเสาวรสพร้อมดื่มในสภาวะนี้ได้รับการยอมรับจากผู้สูงอายุและเหมาะสมสำหรับนำมาผลิตเป็นน้ำเสาวรสพร้อมดื่มต้นแบบมากที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 2% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิในการเตรียม

60±1 องศาเซลเซียส ทำให้น้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่ได้มีเฉดสีออกส้มแดง และมีความหนืดในระดับความหนืดเหมาะสม ไม่หนืดมากจนเกินไปรวมถึงยังมีความง่ายในการกลืนด้วย จากผลการทดลองพบข้อสังเกตว่าเมื่อพิจารณาน้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส 2% เท่ากัน แต่เปรียบเทียบระหว่างการเตรียมที่อุณหภูมิ 28±2 องศาเซลเซียส และ 60±1 องศาเซลเซียส พบว่า ได้น้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่มีความหนืดในปากและความง่ายในการกลืนไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) แต่พบว่า น้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 2% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิการเตรียม 60±1 องศาเซลเซียส ให้เฉดสีส้มแดงมากกว่า (ผลดังตารางที่ 4-33) อาจมีผลทำให้ผู้สูงอายุชอบมากกว่าเนื่องจากมีสีสันที่สวยงามน่ารับประทานมากกว่า นอกจากนี้ พบว่าน้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระตั้งแต่ 3% ขึ้นไป แม้ได้น้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่มีเฉดสีออกส้มแดง แต่มีความหนืดสูงซึ่งอาจส่งผลให้ความง่ายในการกลืนลดลง เนื่องจากเกิดการตกตะกอนมาก อาจทำ ให้ผู้สูงอายุรู้สึกฝืดคอหรือระคายคอ จึงได้รับคะแนนความชอบโดยรวมต่ำ สำหรับน้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระน้อยที่สุดคือ 1% ทั้งที่เตรียมที่อุณหภูมิ 28±2 องศาเซลเซียส และ 60±1 องศาเซลเซียส แม้ว่าน้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่ได้มีความหนืดน้อยที่สุดและความง่ายในการกลืนสูงที่สุด แต่มีสีออกคล้า ไม่ให้เฉดสีส้มแดงชัดเจนนักซึ่งแตกต่างกับน้ำเสาวรสปกติ อาจทำให้รู้สึกไม่คุ้นเคยจึงให้คะแนนความชอบโดยรวมต่ำดังนั้น น้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 2% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิการเตรียม 60±1 องศาเซลเซียส จึงเป็นน้ำเสาวรสพร้อมดื่มต้นแบบที่เหมาะสมเพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีเปรียบเทียบกับน้ำเสาวรสพร้อมดื่มสูตรพื้นฐานต่อไป

5.5.2 ผลของปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ต่อคุณภาพของเต้าหู้เย็น

อาหารจำลองประเภทเจล (Gel model food) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผู้สูงอายุสามารถรับประทานได้เนื่องจากมีลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่มและลื่น มีความเหมาะสมและเพื่อตอบสนองความต้องการด้านการเคี้ยวและการกลืนของผู้สูงอายุ (สำนักนโยบายอุตสาหกรรม, 2556) โดยเต้าหู้ เป็นอาหารประเภทเจลชนิดหนึ่ง จัดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำ จากถั่วเหลือง มีการใช้สารที่ทำให้เกิดเจลหรือช่วยให้เกิดเจลร่วมด้วย ส่วนลักษณะของเต้าหู้เย็นที่เป็นอาหารว่างอาจมีการใช้น้ำนมร่วมด้วย และมีการเติมน้ำตาล รวมทั้งส่วนประกอบอื่นเพื่อปรุงแต่งกลิ่นรส เช่น กาแฟ วานิลลา ชาเขียว และอาจเติมส่วนประกอบอื่น เช่น ผัก ผลไม้ ธัญพืช มีคุณลักษณะที่ต้องการคือ มีลักษณะเนื้อสัมผัสเป็นวุ้น มีสี กลิ่นรสที่ดีตามธรรมชาติของส่วนประกอบที่ใช้ปราศจากกลิ่นรสอื่นที่ไม่พึงประสงค์ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547) การเสริมใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระให้กับเต้าหู้เย็นเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มคุณประโยชน์ให้กับผลิตภัณฑ์โดยยังคงลักษณะเป็นเจลที่ยังเอื้อต่อการเคี้ยวและกลืนสำหรับผู้สูงอายุ การบริโภคใยอาหารและสารต้านอนุมูลอิสระ ยังมีบทบาทสำคัญในการป้องกันการเกิดโรคต่าง ๆ เช่น โรคท้องผูก โรคริดสีดวง ภาวะไขมันในเลือดสูง และโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่ เป็นต้น (Peerajit et al.,2012)

งานวิจัยนี้จึงนำผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมาเติมเป็นส่วนผสมในการผลิตเต้าหู้เย็นสำหรับผู้สูงอายุ แต่เนื่องจากปริมาณผงใยอาหารที่เติมในผลิตภัณฑ์อาจมีผลต่อคุณภาพสุดท้ายของ

ผลิตภัณฑ์ จึงได้มีการศึกษาผลของปริมาณการเติมผงใยอาหาร และปัจจัยการผลิตที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยศึกษาปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส 5 ระดับ ได้แก่ 2% 4% 6% 8% และ 10% และการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ 2 ชนิด ได้แก่ แคปป้า-คาราจีแนน (□-carragenan) 1.0% และวุ้น (Agar) 0.5%) ต่อคุณภาพของเต้าหู้เย็นทั้งคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี (L* a* b* Hue angle Chroma และ ΔE) และลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธี Texture profile analysis (Hardness Adhesiveness Springiness Cohesiveness Gumminess Chewiness และ Resilience) รวมถึงคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยวิธี Quantitative Descriptive Analysis (QDA) และการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale ผลการวิเคราะห์คุณภาพที่ได้มีดังนี้

จากตารางที่ 4-42 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) คุณภาพทางเคมีกายภาพของน้ำเสาวรสพร้อมดื่ม พบว่า ปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส และการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ มีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าคุณภาพของเต้าหู้เย็น ได้แก่ ค่าสี (L* a* b* Hue angle Chroma และΔE) และลักษณะเนื้อสัมผัสที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Texture profile analysis (Hardness Adhesiveness Springiness Cohesiveness Gumminess Chewiness และ Resilience) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากภาพที่ 4-20 แสดงลักษณะปรากฏของเต้าหู้เย็นสูตรแคปป้ า-คาราจีแนน และสูตรวุ้นที่ไม่มีการเติมผงใยอาหาร และเต้าหู้เย็นสูตรแคปป้า-คาราจีแนน และสูตรวุ้นที่มีการเติมการผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสด้วยตาเปล่า พบว่า เต้าหู้เย็นสูตรพื้นฐาน ทั้งสูตรแคปป้า-คาราจีแนน และสูตรวุ้นที่ไม่มีการเติมผงใยอาหารมีสีออกทางสีขาวถึงเหลืองอ่อน ในขณะที่เต้าหู้เย็นทั้งสูตรแคปป้า-คาราจีแนน และสูตรวุ้นที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระมีสีออกทางน้ำตาล โดยพบว่าเมื่อเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ทำให้เต้าหู้เย็นมีน้ำตาลเข้มขึ้นด้วย โดยผลการวิเคราะห์ค่าสี L* a* และ b* ของเต้าหู้เย็นที่ไม่เติมผงใยอาหาร (Control) ร่วมกับการใช้แคปป้า-คาราจีแนน พบว่ามีค่าสีเท่ากับ 78.32 -3.49 และ 9.91ตาม ลำดับ และเมื่อใช้ร่วมกับวุ้น พบว่า มีค่าสีเท่ากับ 78.37 -3.47 และ 10.02 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเต้าหู้เย็นที่ไม่เติมผงใยอาหาร (Control) มีความสว่างมาก โดยมีความเป็นสีเขียวและความเป็นสีเหลืองน้อย สอดคล้องกับผลการประเมินด้วยตาเปล่าที่เห็นว่าเต้าหู้เย็นสูตรพื้นฐานที่ไม่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส (Control) มีสีออกทางสีขาวถึงเหลืองอ่อน ทั้งนี้เนื่องจากส่วนผสมหลักของเต้าหู้เย็น ประกอบด้วยสารไฮโดรคอลลอยด์แคปป้า-คาราจีแนนหรือวุ้น ผสมกับน้ำตาลทรายขาว และน้ำตาลไอโซมอลทูโลส ซึ่งเมื่อนำมาละลายน้ำจะให้สารละลายสีขาวถึงเหลืองอ่อน ๆ เมื่อผสมกับน้ำนมถั่วเหลืองซึ่งมีออกสีเหลือง ส่วนผสมโดยรวมจึงยังคงมีสีขาวถึงเหลืองอ่อน เมื่อปล่อยให้เกิดเจลจึงยังคงได้เต้าหู้เย็นสีขาวถึงเหลืองอ่อนตามสีของส่วนผสมนั่นเอง

จากตารางที่ 4-43 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของเต้าหู้เย็นเต้าหู้เย็นสูตรแคปป้า-คาราจีแนน และสูตรวุ้น พบว่าการเพิ่มปริมาณผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมากขึ้น มีแนวโน้มทา ให้ค่าสี L* ต่ำลง และ a* สูงขึ้น จากการทดลองพบข้อสังเกตว่าเมื่อนำผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือก

เสาวรสซึ่งเป็นผงมีสีออกทางม่วงแดงอ่อนมาผสมกับน้ำแล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที เพื่อให้ผงใยอาหารอุ้มน้ำ และพองตัวอย่างทั่วถึง พบว่า ส่วนผสมที่ได้มีสีน้ำตาลแดง ดังนั้นการเติมผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสมากจึงเป็นการเพิ่มส่วนผสมที่มีสีออกน้ำตาลแดงให้กับเต้าหู้เย็นมากขึ้น เป็นผลให้เต้าหู้เย็นมีความสว่างน้อยลงและความเป็นสีแดงสูงขึ้น จากผลการทดลองจึงพบแนวโน้มว่า สิ่งทดลองที่ 5 และสิ่งทดลองที่ 10 ที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 10% ร่วมกับการใช้แคปป้า-คาราจีแนน 1% และวุ้น 0.5% ตามลำดับ มีค่า L*ต่ำ ในขณะที่มีค่า a* สูงกว่าสิ่งทดลองอื่น ($p<0.05$) สำหรับค่า b* ซึ่งหมายถึงความเป็นสีเหลืองพบว่า เต้าหู้เย็นทั้งสูตรแคปป้า-คาราจีแนน 1% และวุ้น 0.5% การเพิ่มปริมาณใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส 2%-10% มีผลให้เต้าหู้เย็นมีค่า b* สูงขึ้น อยู่ในช่วง 13.47-19.03 เมื่อเทียบกับเต้าหู้เย็นที่ไม่มีการเติมผงใยอาหาร (Control) มีค่า b* เท่ากับ 9.91 จากการคำนวณค่า Hue angle ของเต้าหู้เย็นที่ไม่มีการเติมผงใยอาหาร (Control) มีค่า Hueangel เท่ากับ 109.42 ซึ่งมีเฉดสีเหลือง-เหลืองเขียว ในขณะที่เต้าหู้เย็นทุกสิ่งทดลองที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส มีค่า Hue angel อยู่ในช่วง 73.49-89.01 ซึ่งมีเฉดสีส้มแดงถึงเหลือง โดยพบว่า สิ่งทดลองที่ 5 เต้าหู้เย็นที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ10% ร่วมกับการใช้แคปป้า-คาราจีแนน 1% มีค่า Hue angle ต่า ที่สุด ($p<0.05$) รองลงมาคือ สิ่งทดลองที่ 10 เต้าหู้เย็นที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 10% ร่วมกับการใช้วุ้น 0.5% สำหรับค่า Chroma ซึ่งหมายถึงค่าความเข้มของสี พบว่า เต้าหู้เย็นทุกสิ่งทดลองที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมีค่า Chroma อยู่ในช่วง 13.47-19.67 โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมากขึ้น ซึ่งเป็นความเข้มสีที่สอดคล้องกับผงใยอาหารที่เติมลงไปนั่นเอง

จากภาพรวมผลการวิเคราะห์ค่าสี พบว่า การเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เต้าหู้เย็นร่วมกับการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ ทำให้เต้าหู้เย็นที่ได้มีเฉดสีเปลี่ยนไปจากสีของเต้าหู้เย็นที่ไม่มีการเติมผงใยอาหาร (Control) ซึ่งเป็นสูตรพื้นฐาน โดยให้เฉดสีออกทางสีส้มแดงมากขึ้น เมื่อวิเคราะห์ค่า ΔE ซึ่งหมายถึงค่าการเปลี่ยนแปลงของสี ยืนยันให้เห็นว่าสิ่งทดลองที่ 6 เต้าหู้เย็นที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส 2% ร่วมกับการใช้วุ้น 0.5% เป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ ทำให้ค่าสีเปลี่ยนแปลงไปจากเต้าหู้เย็นที่ไม่มีการเติมผงใยอาหาร (Control) น้อยที่สุด ($p<0.05$) และ สิ่งทดลองที่ 10 เต้าหู้เย็นที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส 10% ร่วมกับการใช้วุ้น 0.5% เป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ ทำ ให้ค่าสีเปลี่ยนแปลงไปจากเต้าหู้เย็นที่ไม่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส (Control) มากที่สุด ($p<0.05$) เต้าหู้เย็นสูตรพื้นฐานที่ไม่มีการเติมผงใยอาหาร ที่ใช้ในการงานวิจัยนี้ มี 2 สูตรคือ เต้าหู้เย็นสูตรแคปป้า-คาราจีแนน (1%) และสูตรวุ้น (0.5%) โดยใช้ส่วนผสมอื่นเหมือนกัน ได้แก่ น้ำตาลทราย 4.00% น้ำตาลไอโซมอลทูโลส 2.00% น้ำนมถั่วเหลือง 25.00% และใช้น้ำ 68.00-68.5% การเติมน้ำตาลทราย (ซูโครส) เข้าไปในส่วนผสมมีหน้าที่หลักเป็นสารให้ความหวานที่มีคุณค่าทางโภชนาการ (Nutritive sweetener) น้ำตาลไอโซมอลทูโลส เป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 2 ชนิด ได้แก่ กลูโคสและฟรุกโตส ซึ่งเหมือนกับซูโครส แต่จะต่างกันที่พันธะที่ยึดระหว่างน้ำตาลทั้ง 2 ชนิด ไอโซมอลทูโลสมีคุณสมบัติที่ไม่ทำให้

ฟันผุ (Non-cariogenic) นอกจากนี้ยังมีค่าดัชนีน้ำตาล (Glycemic index) ต่ำ (ธีรารัตน์ อิทธิโสภณกุล, ยิ่งวิทย์ เจริญสุวรรณกิจ และวิชชุณี ปิ่นเกตุ, 2553) อย่างไรก็ตามทั้งน้ำตาลทรายและน้ำตาลไอโซมอลทูโลสมีอิทธิพล ต่อระบบโครงสร้างของเจลด้วยเช่นกัน กล่าวคือ การเติมน้ำตาลทำให้โอกาสการเกิดเจลสูงขึ้น เนื่องจากมีการเกิด Cross-linkage เพิ่มขึ้น โดยพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซี (Hydroxyl groups) ในน้ำตาลและสารไฮโดคอลลอยด์ (Stanley, 1995; สายสมร พูลพันธ์, 2547) สำหรับน้ำนมถั่วเหลือง เป็นแหล่งคุณค่าทางโภชนาการหลักของเต้าหู้ และให้กลิ่นรสที่เป็นเอกลักษณ์ นอกจากนี้น้ำนมถั่วเหลืองซึ่งมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก มีคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับด้านความคงตัวของเจลได้ เช่น การทำปฏิกิริยาของโปรตีนในนมถั่วเหลืองกับคาราจีแนน ซึ่งขึ้นกับจำนวน และตำแหน่งของหมู่ซัลเฟต และปริมาณ 3,6-anhydro-D-galactose รวมทั้งค่า isoelectric point หากส่วนผสมมีค่าต่ำกว่า isoelectric point มีผลทำให้โปรตีนมีประจุบวก ส่วนคาราจีแนนไม่มีค่า isoelectric point และมีประจุลบ ดังนั้นเมื่อผสมสารละลายโปรตีนกับคาราจีแนน จะเกิดปฏิกิริยา Protein cation กับ Carrageenan anion ได้เป็น Protein-carrageenan gel ซึ่งมีส่วนที่ทำให้เจลที่ได้มีความคงตัวขึ้น (สายสมร พูลพันธ์, 2547; พนอจิต ซองศิริ, 2543) จากสูตรพื้นฐานของเต้าหู้เย็นที่ใช้มีการใช้น้ำเป็นส่วนผสมปริมาณมากที่สุด โดยทำหน้าที่เป็นตัวทำ ละลายส่วนผสมและเป็นโครงสร้างหลักของระบบเจลที่เกิดขึ้น แคปป้า-คาราจีแนน เป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ที่ทำหน้าที่ในการเกิดเจล โครงสร้างเป็น galacose-4-sulfate ที่ต่อกันด้วยพันธะ 1-3 และต่อกับ 3,6-anhydro-D-galactose ด้วยพันธะ 1-4 ในโมเลกุลของ 3,6-anhydro-D-galactose คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 จะถูกเอสเตอริไฟด์ด้วยหมู่ซัลเฟต ประมาณ 20%-30% และบางส่วนของพันธะ 1-4 อาจเป็น galactosr-6-sulfate แทน 3,6-anhydro-Dgalactose สามารถละลายได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส ทำให้คาราจีแนนที่อยู่ในรูปสารละลายในน้ำ เป็นลักษณะของพอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลเป็นสาย (Random coil) เมื่อทำให้เย็นลงจะเกิดโครงสร้างเป็นพอลิเมอร์ตาข่าย (Polymer network) 3 มิติ โดยแต่ละสายพอลิเมอร์จะรวมตัวกันและเกิดจุดร่วม (Junction point) เมื่อปล่อยให้เย็นตัวลงอีกจะมีการเกาะตัวกันของ Junction point มากขึ้น ทำให้เกิดการแข็งตัวของเจล เรียกว่าเป็นกลไกการเกิดเจลแบบ Double-helix คือ สายพอลิเมอร์แต่ละสายเกิดการพันกันเป็นเกลียวในลักษณะเกลียวคู่ (Sharma, 1981; วราภรณ์ วิทยาภรณ์,2543; ศิวัฒ ไทยอุดม, 2557) คาราจีแนนสามารถเกิดเป็นเจลได้ที่อุณหภูมิห้อง ลักษณะ เจลของแคปป้า-คาราจีแนนที่ได้จะมีเนื้อเจลใสแข็ง และมีรูปทรง ซึ่งไม่คงตัวต่อการแช่แข็ง-ละลายน้ำแข็งมีโอกาสเกิด Synneresis อย่างไรก็ตามเมื่อนามาใช้กับส่วนผสมที่มีโปรตีนเป็นส่วนประกอบหมู่ซัลเฟตในโมเลกุลของคาราจีแนนจะสามารถทำปฏิกิริยากับหมู่ที่มีประจุในโมเลกุลของโปรตีนได้ ทำให้เจลมีความคงตัวมากขึ้น (Glicksman,1982) วุ้นเป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ที่ทำหน้าที่ในการเกิดเจล โครงสร้างประกอบด้วย agarose และ agaropectin ซึ่ง agarose เป็นโพลีแซคคาไรด์ประกอบด้วย 1,4 linked 3,6-anhysro-L-galactose และ 1,3 linked β-D-galactose เรียงสลับกันไป ส่วน agaropectin เป็นโพลีแซคคาไรด์ซัลเฟตที่มีโครงสร้างเหมือน agarose แต่ 3,6-anhydro-L-galactose บางโมเลกุลถูกแทนที่ด้วยซัลเฟตประมาณ 5%-8% สามารถละลายได้ที่อุณหภูมิในช่วง 85-90 องศาเซลเซียส โดยเมื่อได้รับความร้อนโมเลกุลของ agarose ในสารละลายจะมีลักษณะเป็น Random coil ซึ่งในระยะนี้

โครงสร้างของโมเลกุลจะอยู่กันไม่เป็นระเบียบ กลไกการเกิดเจลเป็นแบบ Double-helix กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิของสารละลายลดลง สายพอลิเมอร์แต่ละสายเกิดการพันกันเป็นเกลียวในลักษณะเกลียวคู่ เมื่อลดอุณหภูมิลงอีกปลายสายของ Double helix แต่ละคู่จะรวมตัวเข้าใกล้กันและเกิดการเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจน โดยจุดเชื่อมต่อนี้เรียกว่า Junction zone ซึ่งเมื่อเกาะรวมตัวกันมากขึ้นทำให้เกิดการแข็งตัวของเจลมากขึ้น (Dai & Matsukawa, 2012)โดยอุณหภูมิการเกิดเจลที่อุณหภูมิประมาณ 35-40 องศาเซลเซียส เจลที่ได้มีลักษณะเนื้อแข็ง ขุ่นสีเหลืองอ่อน เปราะแตกได้ง่าย (Brittle) เนื้อสัมผัสมีความชุ่มฉ่า (Juiciness) และกรอบ (Crunchy) และมีโอกาสเกิด Syneresis ได้ (Lahrech, Safouane,& Peyrellasse, 2005) โดยกลไกการเกิดเจลของแคปป้า-คาราจีแนน และวุ้น มีลักษณะคล้ายกัน คือ การเกิดเจลในขั้นแรกต้องมีความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งความร้อนจะทำให้โมเลกุลของสารไฮโดรคอลลอยด์เปลี่ยนแปลงไป โดยเมื่อให้ความร้อนพันธะที่มีอยู่ตามธรรมชาติของสารไฮโดรคอลลอยด์แตกออกบางส่วน ทำให้โมเลกุลของแคปป้า-คาราจีแนนและวุ้น ซึ่งเป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ยืดออก เมื่ออุณหภูมิลดลงในขั้นตอนการทำให้เย็นกลไกการเกิดเจลของของแคปป้า-คาราจีแนน และวุ้นแม้เป็นกลไกการเกิดเจลเป็นแบบ Double-helix เหมือนกัน แต่มีความแตกต่างกัน กล่าวคือ การเกิดเจลของแคปป้าคาราจีแนนนอกจากจะเกิดเจลขึ้นในแต่ละโมเลกุลของคาราจีแนนเองแล้ว ยังเกิดเจลกับโมเลกุลอื่นด้วย เช่น โมเลกุลที่มีประจุบวก (cation) เช่น โปรตีน เกลือโพแทสเซียม สามารถทำปฏิกิริยาเกิดการจัดเรียงตัวกัน ซึ่งจะเพิ่มการเกิดเจลได้ (Carr, 1993) ในขณะที่วุ้นมีโครงสร้างเจลที่เกิดขึ้นในโมเลกุลของวุ้นเอง โดยองค์ประกอบของวุ้น เช่น agarose ไม่มีประจุที่มีหน้าที่เกี่ยวพัน (Entanglement) แต่ให้สายโซ่โมเลกุลให้มีความแข็งแรง ในขณะที่ agaropectin มีซัลเฟตไอออนน้อย แต่สามารถสร้างร่างแห (Network) กันเองได้ดีและแน่นหนาโดยพันธะไฮโดรเจนผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส มีองค์ประกอบของทั้งใยอาหารที่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งโครงสร้างของใยอาหารทั้งสองชนิดนี้ มีหมู่ไฮดรอกซี 200 อิสระจำนวนมาก ที่สามารถจับกับน้ำได้ดี โดยใยอาหารที่ละลายน้ำ เช่น เพคติน กัม มีความสามารถในการอุ้มน้ำ และเพิ่มความหนืดให้กับสารละลาย รวมทั้งยังสามารถเกิดเจลได้ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ขณะที่ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส อาจไม่สามารถเกิดเจล แต่จะดูดซับน้ำ ปริมาณมากไว้ในส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) แล้วอาจเกิดการพองตัวได้เต้าหู้เย็นจัดเป็นอาหารประเภทเจล ซึ่งอาหารประเภทเจลหมายถึง อาหารที่มีโครงสร้างของระบบคอลลอยด์ที่ไม่แสดงการไหล (No-steady-state flow) เป็นโครงสร้างที่ประกอบด้วยของแข็งที่มีอยู่ในโครงสร้างทำหน้าที่ประสานกันเป็นร่างแห การเกิดโครงสร้างของเจลขึ้นอยู่กับสมดุลระหว่างแรงดึงดูดกับแรงผลัก ระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ด้วยกันเอง และระหว่างอนุภาคคอลลอยด์และสารที่เป็นของเหลว (Schmidt,1981) พันธะทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับการรักษาโครงสร้างของเจล ได้แก่ พันธะไฮโดรเจน พันธะโควาเลนต์ พันธะเชิงไอออน และแรงดึงดูดไฮโดรโฟบิก (Damodaran, 1994; ปาริฉัตร หงสประภาส, 2545) หรือกล่าวได้ว่า เป็นอาหารที่อยู่ในระบบคอลลอยด์ที่มีอนุภาคของแข็งกระจายในตัวกลางที่เป็นของเหลว ระบบคอลลอยด์มีสถานะเป็นของกึ่งแข็ง เป็นระบบที่ไม่มีเสถียรภาพหรือไม่คงตัวในแง่ของเทอร์โมไดนามิกส์ (Thermodynamically unstable) ดังนั้นความคงตัวของคอลลอยด์จึงมีเวลาจำกัด ซึ่งจะเกี่ยวกับอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ด้วย โดยในระหว่างการเก็บ

ผลิตภัณฑ์ประเภทเต้าหู้มีโอกาสเกิดการแยกตัวของน้ำ (Syneresis) ทำให้การยอมรับของผู้บริโภคลดลง การทำ ให้ระบบคอลลอยด์ของอาหารมีความคงตัวสูง เช่น การเพิ่มความหนืด การเลือกใช้สารที่ทำให้เกิดเจลที่เหมาะสม (ปาริฉัตร หงสประภาส, 2545)

จากตารางที่ 4-42 พบว่า ปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส และการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์มีอิทธิพลร่วมกันกับลักษณะเนื้อสัมผัส วิเคราะห์ด้วยวิธี TPA แสดงให้เห็นว่าปริมาณการเติมผงใยอาหาร 2%-10% ในเต้าหู้เย็นมีผลต่อระบบการเกิดเจลแนวทางการพิจารณาคือหากปริมาณผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระที่เติมลงไปช่วยเสริมให้เจลของคาราจีแนนและวุ้นมีความแข็งแรง ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสที่เปราะและแตกง่ายให้เป็นเจลที่มีความยืดหยุ่นดีขึ้น และทำให้เกิดการแยกตัวของน้ำ (Syneresis) น้อยลง และยังคงได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคจึงเป็นผลเชิงบวก แต่ถ้าเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสในปริมาณมาก เกิดการรบกวนระบบการเกิดเจลไปมาก และส่งผลต่อการยอมรับจากผู้บริโภคจึงเป็นผลเชิงลบ ลักษณะเนื้อสัมผัสที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Texture Profile Analysis โดยใช้เครื่องมือ มี 7 พารามิเตอร์ โดยแต่ละพารามิเตอร์มีความหมายดังนี้ (ดัดแปลงจาก Civille & Szczesniak, 1973)

1) ค่า Hardness (ความแข็ง) หมายถึง แรงที่ใช้ในการทา ให้ตัวอย่างเสียรูปร่าง (หน่วยคือ g) หรือเทียบได้กับการเคี้ยวครั้งแรก หากมีค่า Hardness มากแสดงถึงเต้าหู้เย็นมีความแข็งมากต้องใช้แรงในการกดมาก

2) ค่า Adhesiveness (ความสามารถในการยึดเกาะผิววัสดุ) หมายถึง งานที่ใช้ในการเอาชนะแรงระหว่างพื้นผิวของตัวอย่างกับพื้นผิวของวัสดุที่ตัวอย่างสัมผัสอยู่ (หน่วย คือ g.sec) หรือเทียบได้กับความสามารถในการยึดติดของชิ้นอาหารกับฟันขณะเคี้ยว

3) ค่า Springiness (ความยืดหยุ่น) หมายถึง อัตราการคืนรูปของวัสดุหลังจากการถูกกดหรือเทียบได้กับระดับความสามารถในการคืนตัวกลับมาเหมือนเดิม เมื่อมีการถอนแรงกดออกไปจากเต้าหู้เย็น

4) ค่า Cohesiveness (ความสามารถเกาะรวมตัวกัน) หมายถึง ขอบเขตของวัสดุที่สามารถเสียรูปก่อนที่จะเกิดการแตกหัก หรือเทียบได้กับความสามารถในการยึดเกาะกันภายในอาหาร

5) ค่า Gumminess (ความเหนียวเป็นยางหรือกาว) หมายถึง แรงที่ต้องใช้ในการแยกตัวอย่างที่เป็นกึ่งของแข็งจนกระทั่งเสียรูป (หน่วยคือ g) หรือเทียบได้กับ พลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวเต้าหู้เย็นในอัตราการเคี้ยวที่คงที่จนกระทั่งสามารถที่จะกลืนได้ในด้านการคำนวณได้จากผลคูณของค่า Hardness กับค่า Cohesiveness

6) ค่า Chewiness (การทนต่อการเคี้ยว) หมายถึง แรงที่ใช้ในการเคี้ยวหรือบดตัวอย่างจนกระทั่งเสียรูป (หน่วยคือ g) หรือเทียบได้กับ ระยะเวลานานที่ใช้ในการเคี้ยวบดเต้าหู้เย็นในอัตราการเคี้ยวที่คงที่จนกระทั่งสามารถกลืนได้ ในด้านการคำนวณได้จากผลคูณของค่า Gumminess กับค่า Springiness

7) ค่า Resilience คือ ความสามารถในการหดตัวได้โดยยังไม่เสียรูปร่าง

จากตารางที่ 4-44 แสดงผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี TPAของเต้าหู้เย็น เมื่อแปรปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ เมื่อพิจารณาค่า Hardness พบว่า เต้าหู้เย็นทั้งสูตรแคปป้า-คาราจีแนนและสูตรวุ้น เมื่อเติมผงใยอาหารที่มี

สารต้านอนุมูลอิสระปริมาณมากขึ้นถึง 8% มีผลทา ให้ค่า Hardness เพิ่มขึ้นด้วย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมีความสามารถในการอุ้มน้ำ และดูดซับน้ำ ไว้ภายในโครงสร้างของใยอาหาร ทำให้เพิ่มความหนืดให้กับระบบเจล เมื่อเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสในปริมาณที่มากขึ้นทำให้น้ำ ในระบบของคาราจีแนน และวุ้นน้อยลง ของเหลวที่ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลักของระบบเจลจึงมีปริมาณน้อยลงในขณะที่มีส่วนของแข็งเพิ่มขึ้น ลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้เย็นที่ได้จึงมีความแข็งขึ้น สอดคล้องกับ ธีรนุช ฉายศิริ และสุวรรณา พิชัยยงศ์ดี (2558) รายงานว่าการเติมใยอาหารจากเปลือกส้มโอผงในสูตรการผลิตเต้าหู้นมสดในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ทา ให้เต้าหู้นมสดมีแนวโน้มค่า Hardness และค่า Springiness สูงขึ้น เนื่องจากเปลือกส้มโอผงที่ผ่านการอบแห้งมีกากใยสามารถดูดน้ำ ในส่วนผสม จึงทำให้เต้าหู้นมสดมีความแข็งและปริมาณใยอาหารผงที่ใช้นี้ยังมีผลให้เต้าหู้นมสดมีความอยู่ตัวเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นจากผลการทดลองนี้จึงพบว่า เมื่อมีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระในปริมาณมากขึ้นถึง 8% ทำให้ปริมาณของแข็งในระบบเพิ่มขึ้นด้วยซึ่งของแข็งนี้ต้องการน้ำ ในการทำละลาย ดังนั้นด้วยสมบัติของใยอาหารและไฮโดรคอลลอยด์ที่มีความสามารถจับกับน้ำได้ดี จึงทำให้ระบบเจลของคาราจีแนนและวุ้นมีความหนืดมากขึ้น เมื่อทำให้เย็นตัวลงเต้าหู้เย็นที่ได้จะมีลักษณะแข็งมากขึ้น อย่างไรก็ตามจากผลการทดลอง พบว่า เมื่อเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระปริมาณมากที่สุดถึง 10% ค่า Hardness กลับลดลง โดยสิ่งทดลองที่ 5 เต้าหู้เย็นที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 10% ร่วมกับการใช้แคปป้า-คาราจีแนน 1% มีค่า Hardness ต่ำที่สุดเท่ากับ 649.419 g ($p<0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 10 เต้าหู้เย็นที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 10% ร่วมกับการใช้วุ้น 0.5% มีค่า Hardness เท่ากับ 1338.034 g ($p<0.05$) ซึ่งมีค่าHardness ไม่แตกต่างจากเต้าหู้เย็นที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 2-6% ร่วมกับการใช้วุ้น 0.5% ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสในปริมาณ 10% เป็นการเพิ่มปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำได้ เช่น เพคติน และกัม ได้มากเพียงพอซึ่งมีความสามารถในการเกิดเจลได้ ทำให้ในส่วนผสมมีสารที่ทำหน้าที่ในการเกิดเจลเพิ่มขึ้น เมื่อปล่อยให้เย็นตัวลงเนื้อสัมผัสของเต้าหู้เย็นนี้จึงมีความแข็งลดลง

จากตารางที่ 4-44 สำหรับค่า Adhesiveness (ความสามารถในการยึดเกาะผิววัสดุ) พบว่าสิ่งทดลองที่ 5 เต้าหู้เย็นที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 10% ร่วมกับการใช้แคปป้า-คาราจีแนน 1% มีค่า Adhesiveness สูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ -1434.679 ($p<0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 1 เต้าหู้เย็นที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 2% ร่วมกับการใช้แคปป้า-คาราจีแนน 1% และสิ่งทดลองที่ 6 เต้าหู้เย็นที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 2%ร่วมกับการใช้วุ้น 0.5% มีค่า Adhesiveness ต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ -232.403 และ -240.267 g.sec ตามลำดับ ($p<0.05$) ซึ่งจะเห็นว่ามีค่า Adhesiveness ต่ำกว่าถึงประมาณ 1200 g ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่พัฒนาได้นี้มีองค์ประกอบของใยอาหารที่ละลายน้ำได้ 16.32 กรัม/100กรัม ซึ่งใยอาหารที่ละลายน้ำได้นี้ มีสมบัติในการเพิ่มความหนืด และสามารถเกิดเจลได้ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ตัวอย่างของใยอาหารที่ละลายน้ำ ได้ เช่นเพคติน และกัม เป็นต้น ดังนั้นการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสเพิ่มมากขึ้นในส่วนผสมการทำเต้าหู้เย็น จึงเป็นการเพิ่มองค์ประกอบของสารที่ทำให้เกิดเจลในระบบ

นั่นเอง เมื่อนำมาละลายน้ำ และผสมร่วมกับส่วนผสมอื่น ทำให้ได้ลักษณะส่วนผสมที่มีความหนืดมากขึ้น เจลที่ได้จึงมีลักษณะเหนียวและยึดติดกับพื้นผิวมากขึ้น จึงต้องใช้งานในการเอาชนะแรงระหว่างพื้นผิวของตัวอย่างกับพื้นผิวของวัสดุที่ตัวอย่างสัมผัสอยู่มากขึ้น

จากตารางที่ 4-44 สำหรับค่า Springiness (ความยืดหยุ่น) เมื่อพิจารณาเต้าหู้เย็นสูตรวุ้นพบว่าการเติมปริมาณผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มทำให้ค่า Springiness ลดลง โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.463-0.646 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเจลที่เกิดจากการใช้วุ้นเป็นไฮโดรคอลลอยด์ เนื้อเจลที่ได้จะมีความใส แข็ง และกรอบ (EntryKitchen, 2010) ซึ่งกลไกการเกิดเจลของวุ้น เกิดเมื่อได้รับความร้อนและหลอมละลายอยู่ในรูปของเหลว ซึ่งโมเลกุลของวุ้นในสารละลายจะมีลักษณะเป็น random coil โครงสร้างโมเลกุลอยู่กันอย่างไม่เป็นระเบียบ เมื่อเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ผงใยอาหารเกิดการดูดซับน้ำไว้มาก ทำให้ส่วนผสมมีความหนืดมากขึ้น เมื่อปล่อยให้เย็นตัวลง สายพอลิเมอร์ของวุ้นกับใยอาหารจะเกาะรวมตัวกัน ทำให้ลักษณะเจลที่ได้ค่อนข้างคงตัวและมีความยืดหยุ่นน้อยลง ซึ่งมีลักษณะเป็น Elastic น้อย ในขณะที่เต้าหู้เย็นสูตรแคปป้า-คาราจีแนน เมื่อปริมาณเติมผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส 2% มีผลทำให้ค่า Springiness สูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 0.681 ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเกิดเจลของเต้าหู้เย็น เป็นผลจากเจลของแคปป้ า-คาราจีแนนร่วมด้วย ซึ่งเป็นเจลจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง Protein cation ของโปรตีนจากน้ำนมถั่วเหลือง กับ Carrageenan anion ของแคปป้าคาราจีแนน ได้เป็น Protein carrageenan gel จึงมีโอกาสได้เจลที่ได้มีความแข็งแรงมากมีคงตัวและยืดหยุ่นมาก การเติมผงใยอาหารในปริมาณต่ำ เพียง 2% แม้อาจมีผลต่อการแย่งการอุ้มน้ำในระบบเจล แต่อาจไม่ได้ไปเปลี่ยนแปลงระบบการเกิดเจลมากนัก และเมื่อทำให้เย็นจึงยังเกิดเป็นโครงสร้างสามมิติ (Junction zone)ได้เจลที่ยังคงมีลักษณะที่ยืดหยุ่นตามลักษณะเจลปกติ แต่เมื่อเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสในปริมาณเพิ่มขึ้นเป็น 4% ทำให้ค่า Springiness ลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระเป็นการเพิ่มปริมาณของแข็งในส่วนผสม เนื่องจากผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมีองค์ประกอบของใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ปริมาณมาก (66.00 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) การเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 4% จึงอาจจะทำให้ส่วนผสมมีของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ แต่สามารถดูดซับน้ำ ไว้มีสัดส่วนมากขึ้น ทำให้เจลที่ได้มีความยืดหยุ่นน้อยลง อย่างไรก็ตามพบว่าเมื่อเติมในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจนถึง 10% มีแนวโน้มทำให้ค่า Springiness สูงขึ้นเรื่อย ๆ จนสิ่งทดลองที่ 5เต้าหู้เย็นที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส มีค่า Springiness (0.691) สูงที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสในปริมาณ 10% เป็นการเพิ่มปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ ได้ เช่น เพคติน และกัม ได้มากเพียงพอซึ่งมีความสามารถในการเกิดเจลได้ ทำให้ในส่วนผสมมีสารที่ทำหน้าที่ในการเกิดเจลเพิ่มขึ้น เมื่อปล่อยให้เย็นตัวลงเนื้อสัมผัสของเต้าหู้เย็นนี้จึงมีความยืดหยุ่นมาก

จากตารางที่ 4-44 สำหรับค่า Cohesiveness (ความสามารถเกาะรวมตัวกัน) พบว่า การเติมปริมาณผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มทำให้ค่า Cohesiveness สูงขึ้น อยู่ในช่วง 0.177-0.320 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกลไกการเกิดเจลของวุ้น เกิดเมื่อได้รับความร้อนและหลอม

ละลายอยู่ในรูปของเหลว ซึ่งโมเลกุลของวุ้นในสารละลายจะมีลักษณะเป็น random coil โครงสร้างโมเลกุลอยู่กันอย่างไม่เป็นระเบียบ เมื่อเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ผงใยอาหารเกิดการดูดซับน้ำไว้มาก ทำให้ส่วนผสมมีความหนืดมากขึ้น เมื่อปล่อยให้เย็นตัวลง สายพอลิเมอร์ของวุ้นกับใยอาหารจะเกาะรวมตัวกันแน่น ทำให้ความสามารถในการยึดเกาะกันภายในอาหารมาก ต้องใช้แรงในการแยกตัวอย่างจนเสียรูปหรือกล่าวได้ว่าต้องใช้พลังงานในการเคี้ยวก่อนกลืนมาก รวมถึงเทียบได้กับการใช้ระยะเวลานานในการเคี้ยวก่อนกลืนนั่นเอง ซึ่งเห็นได้จากสิ่งทดลองที่ 6 เต้าหู้เย็นที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 2% ร่วมกับการใช้วุ้น 0.5% เป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ ทำให้เต้าหู้เย็นมีค่า Cohesiveness ต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 0.177 ($p<0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากการใช้วุ้นเป็นสารไฮโดรคอลลอยด์จะได้เจลที่มีลักษณะที่ค่อนข้างกรอบ (EntryKitchen, 2010) เมื่อเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสในระดับต่ำ จึงไม่ได้ไปรบกวนระบบเจล มากนักโครงสร้างเจลที่ได้เกิดจากการเกาะกันของวุ้นกับน้ำ เป็นหลัก ดังนั้นเต้าหู้เย็นที่ได้จึงมีลักษณะ ลักษณะกรอบ เนื่องจากมีการเกาะรวมตัวกันภายในโครงสร้างน้อย

ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 5 เต้าหู้เย็นที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 10% ร่วมกับการใช้ แคปป้า-คาราจีแนน 1% เป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ ทำให้เต้าหู้เย็น มีค่า Cohesiveness เท่ากับ 0.475 g ($p<0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากกลไกการเกิดเจลของแคปป้า-คาราจีแนน เกิดแบบ doublehelixcarrageenan polymers แคปป้า-คาราจีแนนที่อยู่ในรูปสารละลายในน้ำจะเป็นลักษณะของพอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลเป็นสายในส่วนผสมที่มีประจุบวกของน้ำนมถั่วเหลือง ทำให้เจลมีความคงตัวและยืดหยุ่นมากขึ้น เมื่อเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส ผงใยอาหารสามารถอุ้มน้ำ และดูดซับน้ำไว้ภายในโครงสร้างของใยอาหาร ทำ ให้เกิดลักษณะพองตัว นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำได้ เช่น เพคติน กัม ซึ่งมีความสามารถทำให้เกิดลักษณะเจลได้ ทำให้ส่วนผสมมีลักษณะข้นหนืด และสามารถรวมตัวเกาะกันแน่นกับโครงสร้างเจลของคาราจีแนนได้ จึงทำให้เกิดการยึดเกาะกันได้ดี Sperling (2006) กล่าวว่า ความสามารถในการเกาะตัวกันของอาหารเจลเกี่ยวข้องกับระยะห่างและความแข็งแรงของพันธะในการเกาะตัวกันของร่างแหของสารที่ทำให้เกิดเจลกับของแข็ง โดย Szczesniak (1987) กล่าวว่า ค่า Cohesiveness หมายถึง พลังงานยึดเกาะกันภายในอาหาร หากมีค่ามากหมายถึงมีความแข็งแรงของพันธะที่เกาะตัวกันในโครงสร้างมากนั่นเอง

จากตารางที่ 4-45 ค่า Gumminess (ความเหนียวเป็นยางหรือกาว) และค่า Chewiness (การทนต่อการเคี้ยว) มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน หากพิจารณาจากนิยามและการคำนวณค่าของพารามิเตอร์ดังกล่าว พบว่า มีความสัมพันธ์กันโดยค่า Gumminess ที่หาได้จากผลคูณของค่า Hardness กับค่า Cohesiveness นอกจากนี้ค่า Gumminess ก็มีความสัมพันธ์กันกับ ค่า Chewiness ด้วยเช่นกัน กล่าวคือ หากค่า Gumminess มาก แสดงถึง ความสามารถในการยึดเกาะกันภายในอาหารมาก จึงมีความเกี่ยวข้องกับแรงที่ใช้ในการเคี้ยวหรือบดตัวอย่างจนกระทั่งเสียรูป หรือเทียบได้กับการใช้ระยะเวลานานในการเคี้ยวก่อนกลืนนั่นเอง ซึ่งสอดคล้องกับการคำนวณ ค่า Chewiness ที่หาได้จากผลคุณของค่า Gumminess กับค่า Springiness เมื่อพิจารณาค่า Gumminess และ Chewiness พบว่า เต้าหู้เย็นสูตรแคปป้า-คาราจีแนน ที่

เติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระปริมาณ 2% มีผลทำให้ค่า Gumminess และ Chewiness มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 476.530 g และ 326.655g ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเติมผงใยอาหารในปริมาณต่ำเพียง 2% อาจไม่ได้ไปเปลี่ยนแปลงระบบการเกิดเจลมากนักจึงยังได้เจลที่มีความแข็งแรงมีความยืดหยุ่นตามลักษณะเจลปกติ แต่เมื่อเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสในปริมาณเพิ่มขึ้นเป็น 4%-10% ทำให้ค่า Gumminess และ Chewiness ลดลงอยู่ในช่วง 304.517 g-407.258 g และ 170.363 g-247.763 g ทั้งนี้เนื่องมาจากการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระเป็นการเพิ่มปริมาณของแข็งในส่วนผสม เนื่องจากผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ จากเปลือกเสาวรสมีองค์ประกอบของใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำปริมาณมาก (66.00 กรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง) การเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระมากขึ้นจึงอาจจะทำให้ส่วนผสมมีของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ แต่สามารถดูดซับน้ำ ไว้มีสัดส่วนมากขึ้น ทำให้เจลที่ได้มีความแข็งแรงและยืดหยุ่นน้อยลงจึงต้องใช้แรงในการแยกตัวอย่างจนเสียรูปหรือกล่าวได้ว่าต้องใช้พลังงานในการเคี้ยวก่อนกลืนน้อยนั่นเอง โดยพบว่า เมื่อเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระปริมาณมากที่สุดถึง 10% ร่วมกับการใช้แคปป้า-คาราจีแนน 1% ค่า Gumminess และ ค่า Chewiness ต่ำที่สุด เท่ากับ 304.517 g และ 212.292 g ตามลำดับ ($p<0.05$) ค่า Gumminess และ ค่า Chewiness เมื่อพิจารณาเต้าหู้เย็นสูตรวุ้น พบว่า เมื่อเติมใยอาหารเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มให้ค่า Gumminess และ ค่า Chewiness เพิ่มขึ้นด้วย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส มีความสามารถในการอุ้มน้ำ และดูดซับน้ำ ไว้ภายในโครงสร้างของใยอาหาร ทำให้เพิ่มความหนืดให้กับระบบเจล เมื่อเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสในปริมาณที่มากขึ้น ทำ ให้น้ำ ในระบบของน้อยลง ของเหลวที่ทำ หน้าที่เป็นโครงสร้างหลักของระบบเจลจึงมีปริมาณน้อยลงในขณะที่มีส่วนของแข็งเพิ่มขึ้นลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้เย็นที่ได้จึงมีความแข็งขึ้น จึงต้องใช้แรงในการแยกตัวอย่างจนเสียรูปหรือกล่าวได้ว่าต้องใช้พลังงานในการเคี้ยวก่อนกลืนมากนั่นเอง โดยพบว่าเต้าหู้เย็นสูตรวุ้นที่เติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระปริมาณ 10% มีค่า Gumminess และ ค่า Chewiness สูงที่สุดเท่ากับ 408.431g และ 189.360 g ตามลำดับ สำหรับค่า Resilience (ความหดตัวได้) จากผลการวิเคราะห์ พบว่าเต้าหู้เย็นสูตรวุ้นเมื่อมีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระต่างกัน มีแนวโน้มให้ค่า Resilience ที่วัดได้ไม่แตกต่างกันมานัก อยู่ในช่วง 0.024-0.064 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเต้าหู้เย็นสูตรวุ้นนี้มีความสามารถในการหดตัวได้โดยยังไม่เสียรูปร่างไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเจลที่เกิดจากการใช้วุ้นเป็นไฮโดรคอลลอยด์ เนื้อเจลที่ได้จะมีความใส แข็ง และกรอบ (EntryKitchen, 2010) อยู่แล้ว การเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสเป็นการเพิ่มของแข็งให้กับส่วนผสม เมื่อเย็นตัวลงลักษณะเนื้อเจลที่ได้ค่อนข้างคงตัว ยังคงมีความแข็ง คงรูปตามลักษณะเจลที่ได้จากสารไฮโดรคอลลอยด์ที่ใช้นั่นเอง จึงทำให้การยืดหดตัวไม่แตกต่างกัน ในขณะที่เต้าหู้เย็นสูตรแคปป้า-คาราจีแนนที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสในปริมาณต่ำ เพียง 2% มีผลให้ค่า Resilience สูงที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากโดยปกติเจลที่ได้จากแคปป้า-คาราจีแนน จะมีลักษณะใส คงตัวดี และยืดหยุ่นอยู่แล้ว เมื่อเติมผงใยอาหารจากที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสในปริมาณน้อยเพียง 2% ทำให้เนื้อสัมผัสของเจลที่ได้ยังคงคล้ายกับเต้าหู้เย็นที่ได้จากการใช้แคปป้า-คาราจีแนนปกติ คือมีความยืดหยุ่น และสามารถหดตัวได้ด้วย

จากผลการทดลองวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องมือวัดข้างต้นเห็นได้ว่าปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ทำ ให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้เย็นที่ผลิตได้แตกต่างกันออกไปด้วย โดยไฮโดรคอลลอยด์ที่ใช้ ทั้ง 2 ชนิดมีกลไกการเกิดเจลต่างกัน และให้เนื้อสัมผัสของเจลที่ได้ก็มีความแตกต่างกัน รวมถึงปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสก็มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้เย็นเช่นกัน ซึ่งนอกจากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องมือวัดแล้ว ในงานวิจัยนี้ยังมีการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาด้วยวิธี QDA โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน ซึ่งเป็นอีกวิธีหนึ่งในการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส เพื่อเปรียบเทียบกับลักษณะเนื้อสัมผัสที่ได้จากเครื่องมือวัด

จากตารางที่ 4-47 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของความเข้มคุณลักษณะเต้าหู้เย็นจากการประเมินด้วยวิธี QDA พบว่าปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ มีอิทธิพลร่วมกันต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสีน้ำตาล ความเป็นเนื้อเดียวกันการแยกตัวของน้ำ ความแข็ง ความสากลิ้น และความง่ายในการกลืนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากตารางที่ 4-48 ผลการประเมินความเข้มของคุณลักษณะเต้าหู้เย็นจากการทดลองด้วยวิธี QDA พบว่าเต้าหู้เย็นทั้งสูตรแคปป้า-คาราจีแนนและสูตรวุ้น เมื่อเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระในปริมาณที่เพิ่มขึ้น มีแนวโน้มทำให้คะแนนคุณลักษณะด้านการแยกตัวของน้ำ และความง่ายในการกลืนลดน้อยลง ($p<0.05$) ในขณะที่สีน้ำตาล ความเป็นเนื้อเดียวกัน ความแข็ง ความสากลิ้นเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ใช้เป็นส่วนผสมในเต้าหู้เย็น ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระที่มีสีออกทางม่วงแดงอ่อน เมื่อนำมาละลายน้ำ ทำให้เกิดการอุ้มน้ำ และพองตัว สังเกตเห็นว่าสารละลายผงใยอาหารมีสีออกส้มแดง และเมื่อผสมในเต้าหู้เย็นทั้งสูตรแคปป้า-คาราจีแนนและสูตรวุ้นที่มีสีเหลืองอ่อนมาจากน้ำนมถั่วเหลืองทำให้สีของเต้าหู้เย็นเปลี่ยนไปจากเหลืองอ่อนเป็นสีออกทางน้ำตาลเข้มขึ้นตามปริมาณการเติมผงใยอาหาร นอกจากสีที่เปลี่ยนไปแล้ว ยังทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้เย็นเปลี่ยนไปด้วย โดยการเติมผงใยอาหารในปริมาณที่มากขึ้น ทำให้การแยกตัวของน้ำในเต้าหู้เย็นลดลง ในขณะที่ความแข็งและความสากลิ้นเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระที่เติมในระบบเจลของแคปป้า-คาราจีแนน และวุ้น มีสมบัติเชิงหน้าที่ที่ดี สามารถดูดซับน้ำ ไว้ในโครงสร้างของใยอาหารได้ จากการที่ใยอาหารมีทั้งส่วนที่เป็นใยอาหารที่ละลายน้ำ สามารถดูดซับน้ำไว้ และเพิ่มความหนืด และบางครั้งเกิดเจลได้ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ไม่สามารถเกิดเจลแต่จะดูดซับน้ำ ปริมาณมากไว้ในส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) แล้วอาจเกิดการพองตัวได้ (หยาดฝน ทนงการกิจ , 2557; Lertphatcharanon , 2007) ดังนั้นเต้าหู้เย็นทั้งสูตรแคปป้า-คาราจีแนน และวุ้น เมื่อเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสในปริมาณที่มากขึ้น ทำให้เนื้อสัมผัสเต้าหู้เย็นมีความแข็ง ความเหนียวหนืดมากขึ้น ส่งผลให้ผู้ทดสอบรับรู้ได้ถึงความแข็ง และความสากลิ้นที่มากขึ้น คะแนนความง่ายในการกลืนของเต้าหู้เย็นจึงลดลงนั่นเอง

จากตารางที่ 4-49 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ความชอบเต้าหู้เย็น พบว่าอิทธิพลร่วมของปัจจัยด้านปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์มีผลต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏกลิ่น ความง่ายในการเคี้ยว และความง่ายในการกลืนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ยกเว้นคุณลักษณะด้านสี รสชาติ และความชอบโดยรวม

จากตาราง 4-50 เมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยรวมทุกด้าน พบว่าสิ่งทดลองที่ 1 เต้าหู้เย็นที่มีการเติมใยอาหารผงที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 2% ร่วมกับการใช้แคปป้า-คาราจีแนน 1% และสิ่งทดลองที่ 2 เต้าหู้เย็นที่มีการเติมใยอาหารผงที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 4% ร่วมกับการใช้แคปป้า-คาราจีแนน 1% ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ความง่ายในการเคี้ยว ความง่ายในการกลืน และความชอบโดยรวมอยู่ในระดับสูงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\geq0.05$) (อยู่ในช่วง 6.33-7.60 คะแนน) แสดงให้เห็นว่าเต้าหู้เย็นที่มีการใช้แคปป้า-คาราจีแนนเป็นสารไฮโดรคอยลอยด์ร่วมกับการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระในระดับต่ำไม่เกิน 4% ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสจากผู้สูงอายุมากกว่าสิ่งทดลองอื่น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากเต้าหู้เย็นสูตรแคปป้า-คาราจีแนน ให้ลักษณะเจลที่ค่อนข้างนิ่มและมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อมีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสในระดับต่ำ 2%-4% สามารถช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้เย็นให้มีลักษณะปรากฏที่ดี ไม่ลื่นและยืดหยุ่นจนเกินไป ส่งผลให้มีความง่ายในการเคี้ยว และมีความง่ายในการกลืนสูงกว่าเมื่อเทียบกับเต้าหู้เย็นที่มีการเติมผงใยอาหารปริมาณสูงเกิน 4% ซึ่งทำให้เต้าหู้เย็นที่ได้มีความแข็งมากขึ้น ผู้สูงอายุจึงรับรู้ถึงลักษณะของความแข็ง ซึ่งส่งผลให้ยากต่อการเคี้ยว และการกลืนของผู้สูงอายุ ดังนั้นเต้าหู้เย็นที่มีการใช้แคปป้า-คาราจีแนนเป็นสารไฮโดรคอยลอยด์ ร่วมกับการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระในระดับต่ำไม่เกิน 4% จึงได้รับคะแนนโดยรวมทุกด้านในระดับสูงมากกว่าสิ่งทดลองอื่นนั่นเอง

เมื่อพิจารณาจากคะแนนความชอบโดยรวมตามเกณฑ์การคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสมพบว่า ทุกสิ่งทดลองมีคะแนนความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกัน ($p<0.05$) ดังนั้นจึงพิจารณาความชอบคุณลักษณะด้านอื่น ๆ ประกอบการตัดสินใจ เมื่อพิจารณาด้านความง่ายในการเคี้ยวและความง่ายในการกลืน พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 เต้าหู้เย็นที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 2% ร่วมกับการใช้แคปป้า-คาราจีแนน 1% และสิ่งทดลองที่ 2 เต้าหู้เย็นที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 4% ร่วมกับการใช้แคปป้า-คาราจีแนน 1% ได้รับคะแนนความง่ายในการเคี้ยวและความง่ายในการกลืนสูงที่สุด ($p<0.05$) เท่ากับ 7.36 และ 7.60 ตามลำดับ อยู่ในระดับชอบปานกลาง อย่างไรก็ตามจากเกณฑ์ที่กำหนดไว้ว่าให้เลือกสิ่งทดลองที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดที่สามารถเติมผงใยอาหารมีสารต้านอนุมูลอิสระได้มากที่สุด ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกสิ่งทดลองที่ 2 คือ เต้าหู้เย็นที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 4% ร่วมกับการใช้แคปป้า-คาราจีแนน 1% ใช้เป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบของเต้าหู้เย็นที่เป็นอาหารเจลได้ โดยสิ่งทดลองดังกล่าวนี้ได้รับคะแนนความชอบโดยรวม 7.17 คะแนน ซึ่งอยู่ในระดับชอบปานกลาง Hayakawa et al. (2014) ได้ศึกษาลักษณะของความยากในการกลืนเจลไฮโดรคอลลอยด์ที่เป็นอาหาร เจลต้นแบบ โดยผลิตเจลที่มีช่วงกว้างของเนื้อสัมผัสแตกต่างกัน 20 ตัวอย่าง ใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนมาประเมินความยากใน

การกลืนของเจลแต่ละตัวอย่างบนสเกลเส้นตรง 15 เซนติเมตร โดยสามารถร่วมกันคิดคำศัพท์ของลักษณะเนื้อสัมผัสได้ 6 คำศัพท์ ได้แก่ ความแน่นเนื้อ (Firmness) ความยากในการตัด (Cutting effort) ความยืดหยุ่น (Elasticity) การแผ่ขยาย (Extensibility) การยึดเกาะ (Adhesiveness) และอัตราการหลอมเหลวในปาก (Melting rate in the mouth) การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักวิธี PCA พบว่าองค์ประกอบที่ 1 เกี่ยวข้องกับความต้านทาน การแตกหัก (Fracture) และองค์ประกอบที่ 2 เกี่ยวข้องกับความเหนอะ (Stickiness) ความยืดหยุ่น (Flexibility) การวิเคราะห์ PCA ของค่าจากเครื่องมือสามารถจัดได้เป็น 2 องค์ประกอบ (PC) เนื่องจากเป็น PC ที่มีค่า Eigen values มากกว่า 1 อธิบายความผันแปรสะสมได้ 85.5% โดย PC1 และ PC2 อธิบายความผันแปรได้ 52.4% และ 33.1% ตามลา ดับ PC1 พารามิเตอร์มีความสัมพันธ์กันมากไปในทิศทางบวก ประกอบด้วย Fracture force, Fracture distance, Hardness และ Cohesiveness ซึ่งเกี่ยวข้องกับ การความต้านทานการแตกหัก (Fracture) สำหรับ PC2 พารามิเตอร์ที่มีความสัมพันธ์กันมากในทิศทางบวก ประกอบด้วย Adhesiveness Cohesiveness และ Fracture distance ซึ่งเกี่ยวข้องกับและความเหนอะและความยืดหยุ่น การวิเคราะห์ PCA ของการประเมินลักษณะเนื้อสัมผัสสามารถจัดได้เป็น 2 องค์ประกอบ เนื่องจากเป็น PC ที่มีค่า Eigen values มากกว่า 1 อธิบายความผันแปรสะสมได้ 85.6% โดย PC1 และ PC2 อธิบายความผันแปรได้ 58.6% และ 26.9% ตามลา ดับ PC1 พารามิเตอร์มีความสัมพันธ์กันมากไปในทิศทางบวก ประกอบด้วย ความยากในการตัด (Cutting effort) ความยืดหยุ่น (Elasticity) ความแน่นเนื้อ (Firmness) และการแผ่ขยาย (Extensibility) ซึ่งเกี่ยวข้องกับ การความต้านทานการแตกหัก (Fracture) ในขณะที่ PC2พารามิเตอร์ที่มีความสัมพันธ์กันมากในทิศทางบวก ประกอบด้วย Adhesiveness และการแผ่ขยาย(Extensibility) ซึ่งเกี่ยวข้องกับและความเหนอะและความยืดหยุ่น ซึ่ง PC1 และ PC2 ที่ได้จากการประเมินทางประสาทสัมผัสด้วยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน และการประเมินลักษณะเนื้อสัมผัสด้วย วิธี TPA คล้ายกันเพื่อทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ทางประสาทสัมผัสกับลักษณะเนื้อสัมผัสที่วัดด้วยเครื่องมือ จึงรวบรวมตัวแปร พารามิเตอร์ (คำศัพท์) ทางลักษณะเนื้อสัมผัส และความหมายที่ประเมินทางประสาทสัมผัส (ใช้ผู้ทดสอบวิธี QDA) กับลักษณะเนื้อ สัมผัสที่วัดด้วยเครื่องมือ (ใช้เครื่องวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธี TPA แสดงดังตารางที่ 4-51 โดยมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อสัมผัสที่ได้จากผลการประเมินทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี QDA จำนวน 5 พารามิเตอร์ คือ ความเป็นเนื้อเดียวกัน (S1: Homogeneity) การแยกตัวของน้ำ (S2: Syneresis) ความแข็ง (S3: Hardness for QDA) ความสากลิ้น (S4: Rough Tongue) และความง่ายในการกลืน (S5: Easy to Swallow) สา หรับการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธี TPA โดยใช้เครื่องมือ พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อสัมผัสที่ได้ จำนวน 7 พารามิเตอร์ คือ ความแข็ง (T6:Hardness) ความสามารถในการเกาะติดผิววัสดุ (T7: Adhesiveness) ความยืดหยุ่น (T8:Springiness) ความสามารถเกาะรวมตัวกัน (T9: Cohesiveness) ความเหนียวเป็นยางหรือกาว (T10:Gumminess) การทนต่อการเคี้ยว (T11: Chewiness) และความหดตัวได้ (T12: Resilience) ผลของการนำพารามิเตอร์ทั้ง 12 พารามิเตอร์ข้างต้น มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ทางประสาทสัมผัสกับลักษณะเนื้อสัมผัสที่วัดด้วยเครื่องมือ จากตารางที่ 4-52 พบว่า ค่า Pearson’s correlation

coefficients ของพารามิเตอร์ ที่วิเคราะห์ได้มีทั้งค่าบวกและค่าลบ หากมีค่าบวก หมายความว่า พารามิเตอร์มีความสัมพันธ์กันแบบแปรผันตามกัน หากมีค่าลบ หมายความว่าพารามิเตอร์มีความสัมพันธ์กันแบบแปรผกผันกัน เมื่อพิจารณาค่า Pearson's correlation coefficients ของพารามิเตอร์ทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี QDA ทั้ง 5 พารามิเตอร์ พบว่าพารามิเตอร์ 4 พารามิเตอร์มีความสัมพันธ์กันมากที่ระดับนัยสำคัญ 0.01($p<0.01$)โดย S1: Homogeneity มีความสัมพันธ์ในทางลบอย่างมากกับ S2: Syneresis และ S5: Easy to Swallow ในขณะที่มีความสัมพันธ์ในทางบวกอย่างมากกับ S4: Rough Tongue แสดงให้เห็นว่าลักษณะความเป็นเนื้อเดียวกัน (จากการมองด้วยตาเปล่า) ของเต้าหู้เย็นแปรผกผันกับลักษณะการแยกตัวของน้ำ และความง่ายในการกลืน แต่แปรตามกันกับความความสากลิ้น ตัวอย่างเช่น หากผู้ทดสอบเห็นว่าเต้าหู้เย็นมีลักษณะความเป็นเนื้อเดียวกันมากจากการที่เติมผงใยอาหารในปริมาณมากจนมีความกลมกลืนเป็นเนื้อเดียวกัน มักทำให้ลักษณะการแยกตัวของน้ำน้อยเนื่องจากผงใยอาหารที่เติมแย่งจับน้ำ ไว้ได้มากแต่ทำให้กลืนยากขึ้น (ความง่ายในการกลืนน้อย) และสากลิ้นมากจากผงใยอาหารที่เติมเป็นต้นนอกจากนี้พบว่า S3: Hardness for QDA ไม่มีความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ใดเลยเมื่อพิจารณาค่า Pearson's correlation coefficients ของพารามิเตอร์ทางลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธี TPA โดยใช้เครื่องมือ ทั้ง 7 พารามิเตอร์ พบว่า พารามิเตอร์ที่มีความสัมพันธ์กันอย่างมากในระดับนัยสำคัญ 0.01 ($p<0.01$) คือ T6: Hardness มีความสัมพันธ์ในทางลบกับ T9:Cohesiveness สำหรับพารามิเตอร์ที่มีความสัมพันธ์กันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($p<0.05$) คือ T6:Hardness มีความสัมพันธ์ในทางลบกับ T7: Adhesiveness ตัวอย่างเช่น เต้าหู้เย็นที่มีความแข็งมาก จากการเติมผงใยอาหารมากจึงมีความสามารถในการยึดเกาะกันภายในอาหารน้อย เพราะผงใยอาหารที่เติมแย่งจับน้ำไว้ได้มาก ต้องใช้งานที่เอาชนะแรงระหว่างพื้นผิวของตัวอย่างกับพื้นผิวของวัสดุที่ตัวอย่างสัมผัสอยู่น้อยด้วย และพบว่า T10: Gumminess มีความสัมพันธ์อย่างมากในทางบวกกับ T11: Chewiness ($p<0.01$) และ T12: Resilience ($p<0.05$) ตัวอย่างเช่น เต้าหู้เย็นที่ต้องใช้แรงในการแยกตัวอย่างจนเสียรูปมาก แรงที่ใช้ในการบดเคี้ยวเต้าหู้เย็นมากจะมีความสามารถในการหดตัวได้มากนั่นเองเมื่อพิจาณาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี QDA กับลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธี TPA โดยใช้เครื่องมือ พบว่า S1: Homogeneity มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับ T7: Adhesiveness ($p<0.01$) ตัวอย่างเช่น เต้าหู้เย็นที่มีความเป็นเนื้อเดียวกันมาก (จากการมองด้วยตาเปล่า) เมื่อนำไปวัดด้วยเครื่องมือจะมีค่า Adhesiveness สูง สำหรับ S2: Syneresis มีความสัมพันธ์ในทางลบกับ T7: Adhesiveness ($p<0.01$) T9: Cohesiveness ($p<0.05$) ตัวอย่างเช่น เต้าหู้เย็นที่มีการแยกตัวของน้ำน้อย เนื่องจากมีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระในปริมาณมาก ทำให้มีโอกาสเกิด Syneresis น้อยลง เจลที่ได้มีความแข็งแรง เหนียวหนืด เมื่อนำ ไปวัดด้วยเครื่องมือ ทำให้ต้องใช้งานในการเอาชนะแรงระหว่างพื้นผิวของตัวอย่างกับวัสดุที่ตัวอย่างสัมผัสอยู่มากเนื่องจากเต้าหู้เย็นมีความหนืด และมีความสามารถในการยึดเกาะภายในอาหารมาก สำหรับ S3: Hardness for QDA มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับ T6: Hardness ($p<0.05$) ตัวอย่างเช่น เต้าหู้เย็นที่มีความแข็งมาก ผู้ทดสอบต้องใช้แรงกดในการทำให้เต้าหู้เย็นเสียรูปร่างมาก เมื่อนำไปวัดด้วยเครื่องมือจะมีค่า Hardness สูง สำหรับ S4: Rough Tongue มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับT7: Adhesiveness

($p<0.01$) ตัวอย่างเช่น เมื่อเต้าหู้เย็นมีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระปริมาณมาก เต้าหู้เย็นมีความแข็ง และเหนียวหนืดมากขึ้น ทำให้ผู้ทดสอบรู้สึกสากลิ้น เมื่อนำไปวัดด้วยเครื่องมือ ทำให้ต้องใช้งานในการเอาชนะแรงระหว่างพื้นผิวของตัวอย่างกับวัสดุที่ตัวอย่างสัมผัสอยู่มาก ค่า Adhesiveness จึงสูง สำหรับ S5: Easy to Swallow มีความสัมพันธ์ในทางลบกับT7: Adhesiveness ($p<0.01$) และ T9: Cohesiveness ($p<0.05$) ตัวอย่างเช่น เต้าหู้เย็นที่มีลักษณะง่ายต่อการกลืนคือ ต้องมีความแข็งน้อย ความสากลิ้นน้อย โดยเต้าหู้เย็นที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระปริมาณต่ำ จะยังให้เจลที่มีลักษณะง่ายต่อการกลืน เมื่อนำไปวัดด้วยเครื่องมือจึงใช้งานที่ใช้ในการเอาชนะแรงระหว่างตัวอย่างกับพื้นผิวของวัสดุที่ตัวอย่างสัมผัสอยู่น้อย ความยึดเกาะกันภายในโครงสร้างของเต้าหู้เย็นน้อย ซึ่งส่งผลต่อความง่ายในการเคี้ยวและกลืนนั่นเอง และจากความสัมพันธ์นี้สามารถบอกแนวโน้มได้ว่าพารามิเตอร์ที่มีความสัมพันธ์กันมากสามารถจัดให้อยู่ในกลุ่มเดียวกันได้ การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis: PCA) จัดเป็นเทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัยวิธีหนึ่ง เป็นการลดจำนวนตัวแปรที่นิยมใช้ เพื่อการวิเคราะห์ผลข้อมูลที่ได้ มีเป้าหมายสำคัญคือการสร้างเซตของตัวแปรใหม่ให้เป็นฟังก์ชันเชิงเส้นตรงของตัวแปรชุดเดิม โดยในเซตของตัวแปรใหม่สามารถนำ มาวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์กัน แล้วสามารถตั้งชื่อกลุ่มใหม่ให้สอดคล้องกับความสัมพันธ์ดังกล่าว ดังนั้นจึงเป็นประโยชน์การรวมกลุ่มตัวแปรที่มีความเหมือนกันไว้ด้วยกัน (Douka, Papadopoulos, Savakis, Tsoutsos, & Psarras, 2012)

ตารางที่ 4-53 แสดงค่าสถิติที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis) ของพารามิเตอร์ลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้เย็น พบว่าจากการวิเคราะห์พารามิเตอร์ทั้งหมด 12 พารามิเตอร์ จำนวน Component (องค์ประกอบ) ที่มากที่สุดที่จะจัดกลุ่มได้ มีจำนวน 12 Component จากการพิจารณาค่า Initial Eigenvalues ซึ่งหมายถึง ค่าความผันแปร หรือความแปรปรวนทั้งหมดในตัวแปรเดิมที่สามารถอธิบายได้ พบว่า องค์ประกอบที่ 1 2 และ 3 มี Eigen value เท่ากับ 5.845 2.850 และ 2.240 ตามลำดับ ซึ่งตามเกณฑ์การพิจารณาองค์ประกอบที่เหมาะสมกำหนดไว้ว่าต้องมีค่า Eigen value มากกว่า 1 (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2544) ดังนั้นจากพารามิเตอร์ทั้งหมด 12 พารามิเตอร์ สามารถจัดกลุ่มได้ 3 องค์ประกอบ จากตารางที่ 4-56 พบว่าองค์ประกอบ 4 ถึง 12 มีEigen value อยู่ในช่วง 0.814-2.095E-17 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1 ไม่เป็นไปตามเกณฑ์การพิจารณา ทั้งนี้การมีองค์ประกอบหลัก 3 องค์ประกอบ มีค่าสัดส่วนสะสมของค่าความแปรปรวน (%Cumulative) เท่ากับ 91.119% แสดงว่าสามารถอธิบายความผันแปรของพารามิเตอร์ได้มาก โดยเป็นการอธิบายความผันแปรจากองค์ประกอบที่ 1 2 และ 3 เท่ากับ 47.713% 21.751% และ 21.655% ตามลำดับในการวิเคราะห์องค์ประกอบ สามารถจัดพารามิเตอร์เข้าไปในองค์ประกอบที่เหมาะสมได้โดยพิจารณาจากค่า Factor loading ซึ่งหมายถึง ค่าน้ำหนักขององค์ประกอบเป็นค่าที่แสดงถึงอิทธิพลของพารามิเตอร์เดิมที่มีต่อองค์ประกอบ แนวทางการพิจารณาคือ ถ้าค่า Factor loading ของตัวแปรในองค์ประกอบใดมีค่ามาก (เข้าสู่ +1 หรือ -1) สามารถจัดพารามิเตอร์นั้นเข้าในองค์ประกอบที่มีค่า Factor loading สูงกว่า (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2544) Hair, Anderson, Tatham,and Black (1998) กล่าวว่า ถ้าค่า Factor loading ของพารามิเตอร์เดิมมีค่ามาก หมายถึง พารามิเตอร์ เดิมมีความสัมพันธ์หรือมีส่วนร่วมในการสร้างองค์ประกอบมากนั่นเอง ค่า Factor

loading ของพารามิเตอร์ที่จะถูกจัดอยู่ในองค์ประกอบ ควรมีค่ามากกว่า 0.3 โดยพารามิเตอร์ที่อยู่ในองค์ประกอบเดียวกันจะมีความสัมพันธ์กันมาก โดยความสัมพันธ์นั้นอาจเป็นในทิศทางบวก (ไปในทางเดียวกัน) คือ Factor loading เป็นเครื่องหมายบวก หรือทิศทางลบ (ไปในทางตรงกันข้าม) คือ Factor loading เป็นเครื่องหมายลบ

จากตารางที่ 4-54 พบว่า องค์ประกอบที่ 1 ประกอบด้วยพารามิเตอร์ 4 พารามิเตอร์ โดยพารามิเตอร์ที่มีค่า Factor loading เป็นเครื่องหมายบวก ได้แก่ ความเป็นเนื้อเดียวกัน (S1:Homogeneity) ความสากลิ้น (S4: Rough Tongue) ความสามารถในการเกาะติดผิววัสดุ (T7:Adhesiveness) และความสามารถเกาะรวมตัวกัน (T9: Cohesiveness) ส่วนพารามิเตอร์ที่มีค่า Factor loading เป็นเครื่องหมายลบ ได้แก่ การแยกตัวของน้ำ (S2: Syneresis) และความง่ายในการกลืน(S5: Easy to Swallow) องค์ประกอบที่ 2 ประกอบด้วยพารามิเตอร์ 3 พารามิเตอร์ ได้แก่ ความเหนียวเป็นยางหรือกาว (T10: Gumminess) การทนต่อการเคี้ยว (T11: Chewiness) และความหดตัวได้ (T12: Resilience) องค์ประกอบที่ 3 ประกอบด้วยพารามิเตอร์ 3 พารามิเตอร์ ได้แก่ ความแข็ง (S3: Hardness for QDA) ความแข็ง (T6: Hardness) และความยืดหยุ่น (T8: Springiness) โดยแสดง Component plot ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้เย็นที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis) ดังภาพที่ 4-21

จากการจัดกลุ่มความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้เย็นที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis) สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ที่อยู่ในองค์ประกอบเดียวกันได้ดังนี้ องค์ประกอบที่ 1 เป็นพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความเข้ากันได้หรือความเป็นเนื้อเดียวกันของเต้าหู้เย็น สำหรับพารามิเตอร์ที่มีค่า Factor loading เป็นบวก ได้แก่ พารามิเตอร์จากการประเมินทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี QDA ด้านความเป็นเนื้อเดียวกัน (0.981) และความสากลิ้น (0.974) ทั้งสองพารามิเตอร์นี้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนได้ร่วมกันให้นิยามความหมายไว้ซึ่งเกี่ยวข้องกับการพิจารณาความเข้ากันเป็นเนื้อเดียวกันและความสากลิ้นที่เกิดขึ้นจากผงใยอาหารที่เติม รวมถึงสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับพารามิเตอร์จากการทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธี TPA ค่า Adhesiveness (0.961)และค่าCohesiveness (0.708) ซึ่งเกี่ยวข้องกับความเข้ากัน เป็นเนื้อเดียวกัน ที่จะก่อให้เกิดการยึดติดกับพื้นผิววัสดุและการเกาะรวมตัวกัน ซึ่งเป็นผลเกิดจากการเติมจากผงใยอาหารนั่นเอง อย่างไรก็ตามหากพิจารณาที่ค่า Factor loading แสดงให้เห็นว่า ค่า Factor loading ของ ความเป็นเดียวกัน ความสากลิ้น และ ค่า Adhesiveness มากกว่า ค่า Cohesiveness ทั้งนี้เต้าหู้เย็นเมื่อมีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระมาก ทำให้เต้าหู้เย็นมีความเป็นเนื้อเดียวกัน (จากการมองด้วยตาเปล่า) และความสากลิ้นมากขึ้น ซึ่งมีผลต่อพารามิเตอร์จากการทดสอบเนื้อสัมผัสด้วยวิธี TPA กับค่า Adhesiveness มากกว่าค่า Cohesiveness สาหรับพารามิเตอร์ที่มีค่า Factor loading เป็นลบ ได้แก่ พารามิเตอร์จากการประเมินทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี QDA ด้านการแยกตัวของน้ำ (-0.979) และความง่ายในการกลืน (-0.949) ทั้งสองพารามิเตอร์นี้เกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำ ในผลิตภัณฑ์เต้าหู้เย็น โดยหากมีปริมาณน้ำ มากผู้ทดสอบจะสามารถเห็นการแยกตัวของน้ำ ออกจากเต้าหู้ได้มากซึ่งสัมพันธ์กับการมี

ลักษณะเจลที่ลื่นและกลืนได้ง่าย องค์ประกอบที่ 2 เป็นพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับลักษณะเนื้อสัมผัสด้านแรงในการเคี้ยวเต้าหู้เย็น โดยมีเฉพาะพารามิเตอร์ที่มีค่า Factor loading เป็นบวก ได้แก่ พารามิเตอร์จากการทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธี TPA ค่า Gumminess (0.912) ค่า Chewiness (0.983) และ ค่า Resilience (0.742) สำหรับพารามิเตอร์ ค่า Gumminess และ Chewiness มีความสัมพันธ์กันอย่างมากทั้งในแง่ความหมายของพารามิเตอร์ และการคำนวณค่ารวมทั้งผลการทดลองที่ได้โดยมีความเกี่ยวข้องกับแรงที่ใช้ในการเคี้ยวหรือบดตัวอย่างจนกระทั่งเสียรูป หรือเทียบได้กับการใช้ระยะเวลานานในการเคี้ยวก่อนกลืนนั่นเอง สำหรับค่า Resilience ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการหดตัวได้โดยยังไม่เสียรูปร่าง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับแรงที่ใช้ในการเคี้ยวหรือบดตัวอย่าง กล่าวคือ ความสามารถในการหดตัวได้โดยยังไม่เสียรูปร่างมาก แสดงถึงตัวอย่างมีความคงตัวมากจึงใช้แรงในการเคี้ยวมากนั่นเอง อย่างไรก็ตามหากพิจารณาที่ค่า Factor loading แสดงให้เห็นว่า ค่า Factor loading ของค่า Resilience น้อยกว่า ค่า Factor loading ของค่า Gumminess และค่า Chewiness พารามิเตอร์ องค์ประกอบที่ 3 เป็นพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแข็งของเต้าหู้เย็น สำหรับพารามิเตอร์ที่มีค่า Factor loading เป็นบวก ได้แก่ พารามิเตอร์จากการประเมินทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี QDA ด้านความแข็ง (0.864) ซึ่งผู้ทดสอบที่ได้รับการฝึกฝนได้ร่วมกันให้นิยามความหมายไว้ซึ่งเกี่ยวข้องกับความแข็งของเต้าหู้เย็นโดยประเมินจากแรงที่ทำ ให้เต้าหู้เย็นเสียรูปร่างไป รวมถึงสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับพารามิเตอร์จากการทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธี TPA ค่า Hardness ซึ่งเกี่ยวข้องกับแรงที่ใช้ในการทำ ให้ตัวอย่างเสียรูปร่าง สำหรับพารามิเตอร์ที่มีค่าFactor loading เป็นลบ ได้แก่ พารามิเตอร์จากการทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธี TPA ค่า Springiness (-0.610) ซึ่งเกี่ยวข้องกับอัตราการคืนรูปของเต้าหู้เย็นหลังการถูกกด แสดงให้เห็นว่าหากเต้าหู้เย็นมีเนื้อสัมผัสที่แข็งมาก ต้องใช้แรงในการทำ ให้เต้าหู้เย็นเสียรูปมาก อัตราการคืนรูปของเต้าหู้เย็นหลังการถูกกดน้อยลง ค่า Springiness ที่วัดได้มีค่าน้อย อย่างไรก็ตามหากพิจารณาที่ค่า Factor loading แสดงให้เห็นว่า ค่า Factor loading ของ ค่า Springiness น้อยกว่า ความแข็งจากการประเมินทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี QDA และค่า Hardness จาก การทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธี TPA

5.5.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์อาหารจำลองสำหรับผู้สูงอายุต้นแบบที่พัฒนาได้

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ผลิตได้มาใช้เป็นส่วนผสมของอาหารเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุโดยการเสริมผงใยอาหารลงไปในอาหารจำลองประเภทของเหลว (Liquid model food) ได้แก่ น้ำเสาวรสพร้อมดื่มและอาหารจำลองประเภทเจล (Gel model food) ได้แก่ เต้าหู้เย็น พบว่า น้ำเสาวรสพร้อมดื่มต้นแบบที่เหมาะสม คือ น้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 2% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิในการเตรียมที่ 60 องศาเซลเซียส สำหรับเต้าหู้เย็นต้นแบบที่เหมาะสม คือ เต้าหู้เย็นที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 4% ร่วมกับการใช้แคปป้า-คาราจีแนนเป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ เมื่อนำผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่ผลิตได้มาวิเคราะห์ค่าคุณภาพ ได้แก่ ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ และปริมาณใยอาหารที่

ไม่ละลายน้ำ ปริมาณแอนโทไซยานินปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมัติการต้านอนุมูลอิสระเปรียบเทียบคุณภาพกับอาหารจำลองสูตรพื้นฐาน

5.5.3.1 ผลการเปรียบเทียบคุณภาพของน้าเสาวรสพร้อมดื่มที่พัฒนาได้กับน้ำเสาวรสพร้อมดื่มสูตรพื้นฐาน

จากตาราง 4-55 จากผลการวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ และปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้า พบว่า น้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส 2% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิการเตรียม 60 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นน้ำเสาวรสพร้อมดื่มต้นแบบที่ผลิตได้ มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ และปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ เท่ากับ 0.969 0.444 และ 0.542 กรัม/ 100 มิลลิลิตร มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเสาวรสพร้อมดื่มสูตรพื้นฐานที่ไม่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส (Control) คิดเป็นการมีปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำและปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ เพิ่มขึ้น 0.917 0.392 และ 0.524 กรัม/ 100 มิลลิลิตร ตามลำดับเป็นการยืนยันให้เห็นว่าสามารถนำผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมาเติมใน น้ำผลไม้พร้อมดื่มเพื่อเสริมปริมาณใยอาหารได้ ทั้งนี้เนื่องจากผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมีองค์ประกอบของใยอาหารทั้งหมดอยู่ในปริมาณค่อนข้างสูง (82.33 กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ดังนั้นเมื่อเติมในน้ำเสาวรสจึงสามารถเพิ่มปริมาณใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ละลายน้ำ โดยเฉพาะใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ให้กับผลิตภัณฑ์ได้ การเสริมปริมาณใยอาหารให้กับเครื่องดื่มมีผลดีต่อสุขภาพ เนื่องจากผงใยอาหารจากผักผลไม้นอกจากมีปริมาณใยอาหารสูงแล้ว ยังอุดมไปด้วยสารพฤกษเคมีสำคัญที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ ช่วยให้ระบบขับถ่ายดีขึ้น ลดความเสี่ยงการเกิดมะเร็งลำไส้ อีกทั้งช่วยลดระดับน้ำตาล และไขมันในเลือด เป็นต้น (Sunprasert, 2010;ปรอยฝน เลิศวนวัฒนา และคณะ, 2551) สำหรับผลการวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของน้ำเสาวรสพร้อมดื่ม พบว่า น้ำเสาวรสพร้อมดื่มต้นแบบที่ผลิตได้ มีปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับน้ำเสาวรสพร้อมดื่มสูตรพื้นฐานที่ไม่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ แสดงให้เห็นว่า ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสสามารถนำมาเติมในผลิตภัณฑ์น้ำเสาวรสพร้อมดื่ม เพื่อเพิ่มปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบ ฟีนอลิกทั้งหมดได้ โดยการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส 2% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิในการเตรียมที่ 60 องศาเซลเซียส ทำให้น้ำเสาวรสพร้อมดื่มมีปริมาณแอนโทไซยานินเท่ากับ 0.200 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu /100 มิลลิลิตร ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 61.756 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 มิลลิลิตร ($p<0.05$) ในขณะที่น้ำเสาวรสพร้อมดื่มสูตรพื้นฐานที่ไม่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ มีปริมาณแอนโทไซยานิน เท่ากับ 0.060 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/100 มิลลิลิตร ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 53.543 มิลลิกรัมกรดแกลลิก /100 มิลลิลิตร ($p<0.05$) นอกจากนี้การเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระในน้ำเสาวรสพร้อมดื่ม มีผลให้น้ำเสาวรสมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น

ด้วยเช่นกัน โดยมี %Inhibition เท่ากับ 60.824% ในขณะที่น้ำเสาวรสพร้อมดื่มสูตรพื้นฐานที่ไม่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระมี %Inhibition เท่ากับ 44.837%

จากผลการทดลองพบข้อสังเกตว่า น้ำเสาวรสพร้อมดื่มสูตรพื้นฐาน วิเคราะห์พบปริมาณแอนโทไซยานินเท่ากับ 0.060 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu /100 มิลลิลิตร สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 53.543 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 มิลลิลิตร และมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระที่รายงานเป็น %Inhibition เท่ากับ 44.837% แสดงให้เห็นว่าน้ำเสาวรสสูตรพื้นฐาน มีองค์ประกอบของแอนโทไซยานิน สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ด้วยและมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระได้ อาจเนื่องมาจากในส่วนผสมของน้ำเสาวรสพร้อมดื่มมีองค์ประกอบของสารพฤกษเคมีกลุ่มโพลีฟีนอลฟลาโวนอยด์ และแอนโทไซยานินอยู่ด้วย (Dhawan, Dhawan, & Sharma, 2004) ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าแหล่งของแอนโทไซยานิน และสารประกอบฟีนอลิกในน้ำเสาวรสพร้อมดื่มสูตรพื้นฐานมาจากองค์ประกอบกลุ่มฟีนอล แอนโทไซยานิน และฟลาโวนอยด์ในน้ำเสาวรส นอกจากนี้ น้ำเสาวรสยังมีวิตามินซีสูง (Vinci et al., 1995) ซึ่งมีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ ดังนั้นสมบัติการต้านอนุมูลอิสระในน้ำเสาวรสพร้อมดื่มสูตรพื้นฐานที่วิเคราะห์ได้ จึงมาจากแอนโทไซยานิน สารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และวิตามินซีในน้ำเสาวรสนั่นเอง

จากการตรวจเอกสาร พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่มีการเสริมใยอาหารมักให้ความสำคัญกับการวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารเป็นลำดับต้น อย่างไรก็ตามมีงานวิจัยที่มีการรายงานปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดหรือสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วย ดังงานวิจัยของ วัชรี บุญถนอม และสุรางค์ ทองสุวรรณ์ (2557) ศึกษาปริมาณการเติมผงใยอาหารจากกากมะตูมต่อคุณภาพของไอศกรีมไขมันต่ำ พบว่า เมื่อเติมผงใยอาหารจากกากมะตูมมากขึ้น มีผลให้ไอศกรีมไขมันต่ำ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าไอศกรีมไขมันต่ำ สูตรควบคุม ($p<0.05$) และงานวิจัยของ Sudha, Baskaran, and Leelavathi (2007) รายงานว่า การเติมกากแอปเปิ้ลผงในเค้กปริมาณ 25% มีผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (3.15 มิลลิกรัม/ต่อกรัม) เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเค้กที่ไม่ได้เติมกากแอปเปิ้ลผง (2.07 มิลลิกรัม/กรัม)

5.5.3.2 ผลการเปรียบเทียบคุณภาพของเต้าหู้เย็นที่พัฒนาได้กับเต้าหู้เย็นสูตรพื้นฐาน

จากตารางที่ 4-56 ผลการวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำและปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ พบว่า เต้าหู้เย็นต้นแบบที่ผลิตได้ มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดและปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับเต้าหู้เย็นสูตรพื้นฐานที่ไม่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส ในขณะที่ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ ไม่แตกต่างกัน ($p\geq0.05$) แสดงให้เห็นว่าผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ สามารถนำมาเติมเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เต้าหู้เย็น เพื่อเพิ่มปริมาณใยอาหารทั้งหมด และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำได้ โดยการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส 4% ร่วมกับการใช้แคปป้า- คาราจีแนนเป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ ทำให้เต้าหู้เย็นมีปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ และปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ เท่ากับ 2.673 0.551 และ 2.121 กรัม/100 กรัม ตามลำดับ ($p<0.05$) ในขณะที่เต้าหู้เย็นสูตรพื้นฐานที่ไม่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด และปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ

เท่ากับ 0.392 0.392 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง โดยไม่พบใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ทั้งนี้ปริมาณใยอาหารที่วิเคราะห์ได้จากเต้าหู้เย็นสูตรพื้นฐาน ส่วนใหญ่เป็นใยอาหารที่ละลายน้ำ มาจากแคปป้ า-คาราจีแนน ซึ่งจัดว่าเป็นใยอาหารชนิดหนึ่ง (Thomas, 1997)

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส มีผลให้ปริมาณใยอาหารทั้งหมด และปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมีองค์ประกอบของใยอาหารอยู่ในปริมาณค่อนข้างสูง 82.33 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ดังนั้นการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสในเต้าหู้เย็นจึงเป็นการเพิ่มปริมาณใยอาหารทั้งหมด โดยเฉพาะใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ให้กับผลิตภัณฑ์ได้

สำหรับผลการวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของเต้าหู้เย็น พบว่าเต้าหู้เย็นต้นแบบที่ผลิตได้ มีปริมาณแอนโทไซยานินปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับเต้าหู้เย็นสูตรพื้นฐานที่ไม่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ แสดงให้เห็นว่า ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสสามารถนำมาเติมเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เต้าหู้เย็น เพื่อเพิ่มปริมาณแอนโทไซยานิน และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส 4% ร่วมกับการใช้แคปป้า-คาราจีแนนเป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ ทำให้เต้าหู้เย็นมีปริมาณแอนโทไซยานิน เท่ากับ 0.765 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/100 กรัม และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 10.729 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม ($p<0.05$) ในขณะที่เต้าหู้เย็นสูตรพื้นฐาน มีปริมาณแอนโทไซยานิน เท่ากับ 0.567 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/100 กรัม และปริมาณสารประกอบ ฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 8.061 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม ($p<0.05$) นอกจากนี้การเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสในเต้าหู้เย็นมีผลทำให้เต้าหู้เย็นมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน โดยมี %Inhibition เท่ากับ 13.188 % ในขณะที่ตรวจไม่พบ %Inhibition ในเต้าหู้เย็นสูตรพื้นฐาน ซึ่งจากการทดลองพบข้อสังเกตว่าเต้าหู้เย็นสูตรพื้นฐาน วิเคราะห์พบปริมาณแอนโทไซยานิน เท่ากับ 0.567 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/100 กรัม ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 8.061 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม แสดงให้เห็นว่าเต้าหู้เย็นสูตรพื้นฐานมีองค์ประกอบของแอนโทไซยานิน และสารประกอบฟีนอลิกอยู่ อาจเนื่องจากในส่วนผสมของเต้าหู้เย็น มีน้ำนมถั่วเหลืองซึ่งองค์ประกอบของสารจำพวกสารประกอบฟีนอลิก และสารประกอบไอโซฟลาโวนอยด์ (Kim et al., 2006; Barnes,2010) ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าแหล่งของสารประกอบฟีนอลิกในเต้าหู้เย็นมาจากสารประกอบฟีนอลิกและสารประกอบไอโซฟลาโวนอยด์ในน้ำนมถั่วเหลืองนั่นเอง

จากการตรวจเอกสาร พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่มีการเสริมใยอาหารมักให้ความสำคัญกับการวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารเป็นลำดับต้น อย่างไรก็ตามมีงานวิจัยที่มีการรายงานปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วย ดังงานวิจัยของ ธีรนุช ฉายศิริโชติ และสุวรรณา พิชัยยงค์วงศ์ดี (2558) ศึกษาสูตรที่เหมาะสม การยอมรับของผู้บริโภคและอายุการเก็บของเต้าหู้นมสดเสริมใยอาหารจากเปลือกส้มโอผง โดยเมื่อวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของเต้าหู้นมสดที่มีการเติมใยอาหารจากเปลือกส้มโอผง

เปรียบเทียบกับเต้าหู้นมสดที่ไม่เติมใยอาหาร (สูตรควบคุม) พบว่า เต้าหู้นมสดที่เติมใยอาหารร้อยละ 0.5 มีปริมาณใยอาหาร ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) Thai Recommended Dietary Intake (Thai RDI) ได้กำหนดปริมาณใยอาหารที่ร่างกายควรได้รับต่อวัน (อายุ 6 ปี ขึ้นไป) เท่ากับ 25 กรัม (กระทรวงสาธารณสุข, 2541) ซึ่งนักโภชนาการแนะนำ ให้เลือกรับประทานใยอาหารจากแหล่งต่าง ๆ เช่น ผักผลไม้ เมล็ดธัญพืชที่ไม่ขัดสี และถั่วเมล็ดแห้ง เป็นต้น สอดคล้องกับที่ มยุรา วัฒนพงศ์ไพศาล เรวดี จงสุวัฒน์ และเอกราช บำรุงพืชน์ (2558) แนะนำว่า ปริมาณใยอาหารที่ควรได้รับต่อวันอยู่ในช่วง 25-30 กรัม สำหรับวัยผู้สูงอายุปริมาณใยอาหารที่แนะนำ ให้บริโภคต่อวัน เท่ากับ 25 กรัม โดยใยอาหารช่วยในการขับถ่าย ลดการท้องผูก ลดความเสี่ยงในการเป็นมะเร็งลำไส้ใหญ่ (คณะกรรมการอาหารแห่งชาติ, 2559) Food database and calorie counter (2560) รายงานว่า ในน้ำเสาวรสสดประมาณ 250 มิลลิลิตร (1 serving size) มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดประมาณ 0.5 กรัม หากเทียบกับ Thai RDI แสดงให้เห็นว่าการบริโภคน้ำเสาวรสสด 250 มิลลิลิตร จะได้รับปริมาณใยอาหารทั้งหมด 0.5 กรัม ซึ่งคิดเป็น 2% ของปริมาณใยอาหารที่ Thai RDI แนะนำ ให้บริโภคต่อวัน ในขณะที่หากบริโภคน้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่พัฒนาได้จากงานวิจัยนี้ 250 มิลลิลิตร จะได้รับปริมาณใยอาหารทั้งหมด 2.42 กรัม ซึ่งคิดเป็น 9.69% ของปริมาณใยอาหารที่ Thai RDI แนะนำให้บริโภคต่อวัน ซึ่งมากกว่าการบริโภคน้ำ เสาวรสพร้อมดื่มที่ไม่เติมผงใยอาหาร ที่จะได้รับปริมาณใยอาหารทั้งหมด 0.13 กรัม ซึ่งคิดเป็น 0.52% ของปริมาณใยอาหารที่ Thai RDI แนะนำ ให้บริโภคต่อวัน การบริโภคน้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่พัฒนาได้จากงานวิจัยนี้นอกจากจะได้รับใยอาหารแล้วยังมีโอกาสได้รับสารพฤกษเคมีที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพร่วมด้วย ธีรนุช ฉายศิริโชติ และสุวรรณา พิชัยยงค์วงศ์ดี (2558) รายงานว่า ในเต้าหู้นมสดที่จำหน่ายในท้องตลาด ขนาดบรรจุ 200 กรัม มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดประมาณ 1.18 กรัม หากเทียบกับ Thai RDI คิดเป็น 4.72% ของปริมาณใยอาหารที่ Thai RDI แนะนำ บริโภคต่อวัน ในขณะที่หากบริโภคเต้าหู้เย็นที่พัฒนาได้จากงานวิจัยนี้ 200 กรัม จะได้รับปริมาณใยอาหารทั้งหมด 2.67 กรัม ซึ่งคิดเป็น 10.69% ของปริมาณใยอาหารที่ Thai RDI แนะนำให้บริโภคต่อวัน ซึ่งมากกว่าการบริโภคเต้าหู้เย็นที่ไม่เติมผงใยอาหาร ที่จะได้รับปริมาณใยอาหารทั้งหมด 0.78 กรัม ซึ่งคิดเป็น 3.12% ของปริมาณใยอาหารที่ Thai RDI แนะนำให้บริโภคต่อวัน การบริโภคเต้าหู้เย็นที่พัฒนาได้จากงานวิจัยนี้ นอกจากจะได้รับใยอาหารแล้วยังมีโอกาสได้รับสารพฤกษเคมีที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพร่วมด้วยเช่นกัน

ดังนั้นจากการเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์อาหารจำลองสำหรับผู้สูงอายุต้นแบบที่พัฒนาได้จึงเห็นศักยภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส ที่อาจนำไปไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพอื่น ๆ ต่อไปได้

สรุปผลการวิจัย

1. ในการวิจัยนี้ใช้เปลือกเสาวรสพันธุ์สีม่วงที่เป็นส่วนเหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปน้ำเสาวรส มีปริมาณความชื้น 84.52 กรัม/ 100 กรัม และมีองค์ประกอบอื่น ๆ ที่พบมากที่สุด คือน้ำตาลทั้งหมด 2.56 กรัม/ 100 กรัม รองลงมาคือ เถ้า 0.99 กรัม/ 100 กรัม โปรตีน 0.79 กรัม/ 100 กรัม และไขมัน 0.11 กรัม/ 100 กรัม มีค่าสี L* a* b* Hue angle และ Chroma เท่ากับ 35.51 19.95 8.69 23.53 และ 21.76 ตามลำดับ เมื่อนำมาผลิตเป็นเปลือกเสาวรสผงแห้งด้วยวิธีอย่างง่าย คือ อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 400 นาที โดยไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้น พบว่า มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด 65.83 กรัม/ 100 กรัม โดยยังคงมีองค์ประกอบของเถ้า 7.72 กรัม/ 100 กรัม น้ำตาลทั้งหมด 6.58 กรัม/ 100 กรัม โปรตีน 5.10 กรัม/ 100 กรัม และไขมัน 0.52 กรัม/ 100 กรัม มีปริมาณแอนโทไซยานิน (7.16 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/ 100 กรัม ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ทั้งหมด 68.11 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/ 100 กรัม และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ %Inhibition เท่ากับ 88.69% รวมทั้งมีค่าสี L* a* b* Hue angle Chroma และ ΔE เท่ากับ 64.57 7.28 21.25 71.08 22.46 และ 34.09 ตามลำดับ

2. ผลของการเตรียมขั้นต้นต่อคุณภาพของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส

2.1 ผลของการเตรียมขั้นต้นโดยการใช้ความร้อน พบว่า อิทธิพลร่วมของปัจจัยด้านวิธีการให้ความร้อนและเวลาการให้ความร้อนมีผลต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และค่าสี (L*, a*, b*, Hueangle, Chroma และ ΔE) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และพบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างวิธีการให้ความร้อนและเวลาการให้ความร้อนต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ($p\geq0.05$) โดยวิธีการให้ความร้อนโดยการลวกในน้ำร้อน (90± 2 องศาเซลเซียส) และเวลาการให้ความร้อน 3 นาที เพียงพอที่จะสามารถยับยั้งเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสได้ ทำให้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรส มีปริมาณใยอาหารมากที่สุด เท่ากับ 83.80 กรัม/100 กรัม มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด เท่ากับ 61.60 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม และ 88.92% ตามลำดับ เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมขั้นต้นโดยการใช้ความร้อน แต่อย่างไรก็ตามพบว่าผงใยอาหารที่ได้ยังคงมีความฝาดขมหลงเหลืออยู่

2.2 ผลของการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ พบว่าอิทธิพลร่วมของปัจจัยด้านเวลาการแช่และการใช้สภาวะสุญญากาศมีผลต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ค่าสี (L* และ b*) รวมถึงค่า Chroma และ ΔE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และพบว่าไม่มีอิทธิพลของปัจจัยใดที่มีต่อปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน ค่าสี a* และค่า Hue angle ($p\geq0.05$) การแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ สามารถลดความฝาดขม และกำจัดกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ได้ โดยการแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์เป็นเวลา 10 นาที ในสภาวะที่ไม่ใช้สุญญากาศ ได้ผงใยอาหารจากเปลือกเสาวรสที่มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดสูงที่สุด เท่ากับ 77.46 กรัม/100 กรัม มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด เท่ากับ 57.79 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/100 กรัม และ 83.52% ตามลำดับ

3. ผลการศึกษาหาสภาวะในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่เหมาะสมของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส โดยศึกษาปัจจัยระหว่างอุณหภูมิการทำแห้ง (50-70 องศาเซลเซียส) และเวลาการทำแห้ง (300-420 นาที) ในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน จัดสิ่งทดลองแบบCentral Composite Design (CCD) พบว่าการใช้อุณหภูมิการทำแห้ง 62 องศาเซลเซียส ร่วมกับเวลาการทำแห้ง 300 นาที เป็นสภาวะในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่เหมาะสมที่สุด

4. การผลิตของผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสพันธุ์สีม่วง ให้ได้ใยอาหารที่มีความบริสุทธิ์สูง และมีการคงอยู่ของสารพฤกษเคมีที่สำคัญ สามารถดำเนินการได้โดยใช้การเตรียมขั้นต้นและการทำแห้งด้วยลมร้อนในสภาวะที่เหมาะสม โดยนำชิ้นเปลือกเสาวรสพันธุ์สีม่วงมาลวกด้วยน้ำร้อน 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นนำมาแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 3% เป็นเวลา 10 นาที แล้วทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน 62 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 300 นาที บดเป็นผงและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช ผลการวิเคราะห์คุณภาพเปรียบเทียบกับเปลือกเสาวรสผง พบว่า ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสที่ผลิตได้มีค่าสี L* a* b*Hue angle และ Chroma เท่ากับ 69.22 9.87 12.83 52.42 16.18 และ 9.97 ตามลำดับ มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด 76.00 กรัม/100 กรัม ประกอบด้วยปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ 15.07 กรัม/100 กรัม และปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ 60.93 กรัม/100 กรัม ปริมาณแอนโทไซยานิน 15.78 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu/100 กรัม ซึ่งมากกว่าเปลือกเสาวรสผง สำหรับคุณภาพด้านสมบัติเชิงหน้าที่ พบว่า ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสมีความสามารถในการอุ้มน้ำ (17.01 กรัม น้ำ /กรัม) ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (3.23 กรัม น้ำมัน/กรัม) ความสามารถในการพองตัว (21.35 มิลลิลิตร/กรัม) และความสามารถในการชะลอการดูดซับน้ำตาลสูงกว่าเปลือกเสาวรสผง

5. ผลการศึกษาการใช้ผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสเป็นส่วนผสมของอาหารจำลองสำหรับผู้สูงอายุ

5.1 ผลของปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและอุณหภูมิในการเตรียมต่อคุณภาพของน้ำเสาวรสพร้อมดื่ม พบว่า ปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส (1% 2% 3% 4% และ 5%) และอุณหภูมิในการเตรียม (อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) และ 60±1 องศาเซลเซียส) มีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าสี (L* a*b* Hue angle Chroma และ ΔE) ค่าความหนืด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonicscale โดยผู้สูงอายุ พบว่า น้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 2% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิในการเตรียมที่อุณหภูมิ 60±1 องศาเซลเซียส เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุด โดย ได้รับคะแนนความชอบโดยรวม เท่ากับ 7.60 (ระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก)

5.2 ผลของปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสและการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ต่อคุณภาพของเต้าหู้เย็น พบว่า ปริมาณการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส (2% 4% 6% 8% และ 10%) และการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ (แคปป้า-คาราจีแนน 1.0% และวุ้น

0.5%) พบว่า มีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าคุณภาพของเต้าหู้เย็น ได้แก่ ค่าสี(L* a* b* Hue angle Chroma และ ΔE) ลักษณะเนื้อสัมผัสที่วัดด้วยวิธี TPA (ค่าHardness ค่า Adhesiveness ค่า Springiness ค่า Cohesiveness ค่า Gumminess ค่า Chewiness และ ค่า Resilience) ลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ประเมินด้วยวิธี QDA (ด้านสี น้ำตาล ความเป็นเนื้อเดียวกัน การแยกตัวของน้ำ ความแข็ง ความสากลิ้น และความง่ายในการกลืน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) สำหรับผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale โดยใช้ผู้ทดสอบเป็นผู้สูงอายุ พบว่า เต้าหู้เย็นที่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ 4% ร่วมกับการใช้แคปป้า-คาราจีแนน 1% เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุด โดยได้รับคะแนนความชอบโดยรวมเท่ากับ 7.17 (ระดับชอบเล็กน้อย) ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ทางประสาทสัมผัสกับลักษณะเนื้อสัมผัสที่วัดด้วยเครื่องมือ และการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis: PCA) สามารถจัดองค์ประกอบหลักได้ 3 องค์ประกอบ องค์ประกอบที่ 1 (PC1) ได้แก่ ความเป็นเนื้อเดียวกัน การแยกตัวของน้ำความสากลิ้น ความง่ายในการกลืน ค่า Adhesiveness ค่า Cohesiveness องค์ประกอบที่ 2 (PC2) ได้แก่ ค่า Gumminess ค่า Chewiness ค่า Resilience และ องค์ประกอบที่ 3 (PC3) คือ ความแข็ง (จากวิธี QDA) ค่า Hardness (จากวิธี TPA) ค่า Springiness

5.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์อาหารจำลองสำหรับผู้สูงอายุต้นแบบที่พัฒนาได้

1) น้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่เติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส 2% ร่วมกับการใช้อุณหภูมิการเตรียม 60±1 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นน้ำเสาวรสพร้อมดื่มต้นแบบที่ผลิตได้ มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ และปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ เท่ากับ 0.969 0.444 และ 0.542 กรัม/ 100 มิลลิลิตร รวมทั้งมีปริมาณแอนโทไซยานิน 0.200 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu /100 มิลลิลิตร ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 61.756 มิลลิกรัมกรดแกลลิก /100 มิลลิลิตร และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ 60.824% มากกว่าน้ำเสาวรสพร้อมดื่มสูตรพื้นฐานที่ไม่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส

2) เต้าหู้เย็นที่เติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส 4% ร่วมกับการใช้แคปป้า-คาราจีแนน 1% ซึ่งเป็นเต้าหู้เย็นต้นแบบที่ผลิตได้ มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ และปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ เท่ากับ 2.673 0.551 และ2.121 กรัม/ 100 กรัม รวมทั้งมีปริมาณแอนโทไซยานิน 0.765 มิลลิกรัม Cyn-3-Glu /100 กรัม ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 10.729 มิลลิกรัมกรดแกลลิก /100 กรัม และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ 13.188% มากกว่าเต้าหู้เย็นสูตรพื้นฐานที่ไม่มีการเติมผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส

(ที่มา: อนุสรา พลบจู (2560). การผลิตผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสสีม่วงและการประยุกต์ใช้เป็นส่วนผสมของอาหารจำลองสำหรับผู้สูงอายุ

http://digital_collect.lib.buu.ac.th/dcms/files/57910026.pdf)

9. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาพบว่าเสาวรสมี 5 สายพันธุ์ แต่ที่นิยมปลูกในประเทศไทยมี 3 สายพันธุ์ พันธุ์สีม่วง ผลสุกมีสีม่วงเข้ม รสเปรี้ยวอมหวานกลมกล่อม ปริมาณกรดต่ำ สีสวยกว่าพันธุ์สีเหลืองเหมาะสำหรับกินสด แต่เป็นพันธุ์ที่อ่อนต่อโรค พันธุ์สีเหลือง ผลสุกสีเหลือง มีปริมาณกรดสูงจึงมีรสเปรี้ยวกว่าพันธุ์สีม่วง พันธุ์ลูกผสมเป็นลูกผสมของพันธุ์สีม่วงและสีเหลือง ผลที่ได้จึงมีสีม่วงอมแดง ให้ผลดกและมีขนาดใหญ่ มีเยื่อหุ้มเมล็ดบางแข็งแรงต่อโรคและออกผลได้ตลอดปี เสาวรสนำมาใช้ประโยชน์ได้เกือบทุกส่วนของลำต้น ยอดสามารถรับประทานเป็นผักสด มีรสขมเล็กน้อย นำมาจิ้มน้ำพริกหรือนำไปแกงยอดเสาวรส เนื้อไม้ในตำรับยาสมุนไพรเป็นยาควบคุมธาตุถอนพิษ ใช้รักษาบาดแผล รากแก้ไข้รักษาผื่นคัน รักษาโรคกามโรค โดยนำรากไปต้มน้ำ ใบนำมาตำแล้วคั้นเอาแต่น้ำกินเป็นยาถ่ายพยาธิ ผลมีรสชาติและกลิ่นหอมเป็นเอกลักษณ์ มีวิตามินซีสูง มีวิตามินเอ และสารไลโคปีนช่วยบำรุงสายตา บำรุงผิว และมีสารฟลาโวนอยด์ อย่างเบต้าแคโรทีน (Betacarotene) ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพสูง ช่วยป้องกันเซลล์ประสาทตาถูกทำลาย ช่วยบำรุงสายตา เสาวรสมีฤทธิ์ในการกระตุ้นระบบขับถ่าย เนื่องจากอุดมไปด้วยไฟเบอร์หรือกากใยอาหาร ทั้งยังมีส่วนช่วยการจัดคอเลสเตอรอลที่ไม่ดีในร่างกาย รวมทั้งสามารถขจัดสารพิษ ช่วยป้องกันมะเร็งลำไส้ มีโพแทสซียมสูง ช่วยในการทำงานของหัวใจและความดันโลหิตเป็นปกติ มีแคลเซียมและฟอสฟอรัสสูง ช่วยป้องกันกระดูกพรุน น้ำเสาวรสยังช่วยป้องกันโรคเหงือกอักเสบและช่วยให้ฟันแข็งแรง เสาวรสเริ่มเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ สำหรับประเทศไทยเริ่มเป็นที่รู้จักและเริ่มนิยมนำมารับประทานมากขึ้นเสาวรสเป็นผลไม้ที่นำมาทานสด แล้วยังสามารถนำมาแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าและเป็นการถนอมอาหารได้หลากหลาย เช่นนำมาทำเครื่องดื่มเสาวรส แยมเสาวรส กรานิต้าเสาวรส ครีมบูเล่เสาวรส ครีมบูเล่เสาวรส สมูทตี้เสาวรสนมสด เค้กเสาวรส นำมาผสมเครื่องดื่มกาแฟ และเครื่องดื่มอีกหลายชนิด เช่น อเมริกาโน่เสาวรสน้ำผึ้ง เสาวรสน้ำผึ้งมะนาวโซดา และนำมาขนม เช่น วุ้นเสาวรสสด เปลือกของเสาวรสนำมาเชื่อม และสามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์บำรุงผิว เช่นโลชั่นเสาวรส สบู่เสาวรส ครีมอาบน้ำเสาวรส สครับผิว เซรั่มน้ำมันเมล็ดเสาวรส ที่อุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ หรือแอนตี้ออกซิเด้นท์ โอเมก้า 3,6และ9 ที่ช่วยล็อคผิวให้ดูสวยสุขภาพดี บำรุงให้เนียนนุ่มชุ่มชื่น

เสาวรสจึงเป็นพืชที่ควรส่งเสริมให้ปลูก เพราะเป็นพืชที่ปลูกง่าย ให้ผลผลิตสูง ดูแลง่าย เป็นพืชที่สามารถนำไปแปรรูปได้หลากหลาย สามารถแปรรูปในระดับอุตสาหกรรมได้ เนื่องจากเป็นพืชที่ตลาดยังต้องการอีกเป็นจำนวนมากในระดับอุตสาหกรรมแปรรูป ปลูกแล้วสามารถจำหน่ายผลผลิตได้

นอกจากปลูกเสาวรสอย่างเดียวเป็นแปลงแล้ว ยังสามารถปลูกร่วมกับการปลูกไม้ป่าและไม้ผล โดยปลูกเสาวรสที่โคนต้นไม้และปล่อยให้เลื้อยขึ้นตามต้นไม้ วิธีนี้จะไม่ต้องทำหลักให้เสาวรส แต่ข้อเสียคือเก็บผลผลิตยาก ต้องรอให้ลูกร่วงมาเอง จึงนับว่าเสาวรสเป็นพืชที่น่าสนใจและควรส่งเสริมให้มีการปลูกเพิ่มขึ้นอย่างแปรหลายเพราะสามารถปลูกได้เกือบทุกพื้นที่และให้ผลผลิตตลอดทั้งปี

10. เอกสารอ้างอิง

การุณย์ มะโนใจ. (2020). แตงสา หรือ เสาวรสยักษ์ ผลไม้ไทยหากินยาก, สืบค้นเมื่อ 1 พฤษภาคม 2563. จาก. https://www.technologychaoban.com/bullet-news-today/article_163871

พิชานันท์ ลีแก้ว. (2020). เสาวรส ผลไม้สำหรับผู้รักสุขภาพ, สืบค้นเมื่อ 1 พฤษภาคม 2563. จาก. http://medherbguru.gpo.or.th/articles/d51_Passion.pdf

อนุสรา พลบจู (2560). การผลิตผงใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสสีม่วงและการประยุกต์ใช้เป็นส่วนผสมของอาหารจำลองสำหรับผู้สูงอายุ, สืบค้นเมื่อ 1 พฤษภาคม 2563 จาก: http://digital_collect.lib.buu.ac.th/dcms/files/57910026.pdf

เสาวรสกล้วย - Banana Passionfruit. (21 กรกฎาคม 2562). [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.skyscraperseeds.com/product/705/%E0%B9%80%E0%B8%AA%E0%B8%B2%E0%B8%A7%E0%B8%A3%E0%B8%AA%E0%B8%81%E0%B8%A5%E0%B9%89%E0%B8%A7%E0%B8%A2-banana-passionfruit [สืบค้นเมื่อ 1 มิถุนายน 2563].

เสาวรส สรรพคุณและประโยชน์ของเสาวรส. (ม.ป.ป.). [ออนไลน์]. ได้จาก: https://medthai.com/%E0%B9%80%E0%B8%AA%E0%B8%B2%E0%B8%A7%E0%B8%A3%E0%B8%AA/ [สืบค้นเมื่อ 1 มิถุนายน 2563].

ประโยชน์ของเสาวรส. (ม.ป.ป.). [ออนไลน์]. ได้จาก: https://www.khampo.com/articles/14/16/%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B9%82%E0%B8%A2%E0%B8%8A%E0%B8%99%E0%B9%8C%E0%B8%82%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B9%80%E0%B8%AA%E0%B8%B2%E0%B8%A7%E0%B8%A3%E0%B8%AA.html [สืบค้นเมื่อ 1 มิถุนายน 2563].

เสาวรส ผลไม้ต้านอนุมูลอิสระ และการอักเสบในผู้สูงอายุ. (31 ตุลาคม 2559) .[ออนไลน์]. ได้จาก: https://www.technologychaoban.com/bullet-news-today/article_163871 [สืบค้นเมื่อ 1 มิถุนายน 2563].

เสาวรส ผลไม้ลดไขมันในเลือด บำรุงสายตา ต้านอนุมูลอิสระ. (ม.ป.ป.). [ออนไลน์]. ได้จาก: https://sites.google.com/site/nangsawpnaddasribuy/--seawrs-phl-mi-ld-khi-man-ni-leuxd-barung-sayta-tan-xnumul-xisra-kdi?tmpl=%2Fsystem%2Fapp%2Ftemplates%2Fprint%2F&showPrintDialog=1 [สืบค้นเมื่อ 1 มิถุนายน 2563].

ธีรพล ฟ้าคำตัน, ธนภพ โสตรโยม, และน้อมจิตต์ สุธีบุตร (2563). การพัฒนาผลิตภัณฑ์เปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้ง และการศึกษาความพึงพอใจของผู้บริโภคในเขตชุมชน เทศบาลตำบลแม่คำ อำเภอแม่จัน จังหวัดเชียงราย [ออนไลน์]. ปีที่13(ฉบับที่1), ได้จาก: http://so04.tci-thaij.org/index.php/socal-crru/article/download/241547/16588. [สืบค้นเมื่อ 5 มิถุนายน 2563].

วัฒนา วิริวุฒิกร (2561). ผลของอัตราส่วนน้ำเสาวรสและน้ำอ้อยที่มีต่อการผลิตน้ำเสาวรสผสมน้ำอ้อย [ออนไลน์]. ปีที่49(ฉบับที่3), ได้จาก: http://www.agi.nu.ac.th/conference/agiscijournal_vol49_no3(suppl)/agro/PF1_229-235.pdf. [สืบค้นเมื่อ 5 มิถุนายน 2563].

ภาพที่ 77 ภาพการลงพื้นที่สำรวจและรวบรวมข้อมูลจากเกษตรกรผู้ปลูกเสาวรส

ภาพที่ 78 ภาพการลงพื้นที่สำรวจและรวบรวมข้อมูลจากเกษตรกรผู้ปลูกเสาวรส

ภาพที่ 79 ภาพการลงพื้นที่สำรวจและรวบรวมข้อมูลจากเกษตรกรผู้ปลูกเสาวรส

ภาพที่ 80 ภาพการลงพื้นที่สำรวจและรวบรวมข้อมูลจากเกษตรกรผู้ปลูกเสาวรส

ภาพที่81 ภาพการลงพื้นที่สำรวจและรวบรวมข้อมูลจากเกษตรกรผู้ปลูกเสาวรส