การศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในผลส้มโอสด ส้มโอตัดแต่ง และน้ำส้มโอพันธุ์ท่าข่อย

วลัยภรณ์ โท้นพราห์ม

วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร
มกราคม 2560
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยานิพนธ์เรื่อง "การศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ
ของผลส้มโอสด ส้มโอตัดแต่ง และน้ำส้มโอพันธุ์ท่าข่อย"
ของนางสาววลัยภรณ์ โท้นพราห์ม
ได้รับการพิจารณาให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาภัสรา แสงนาค)

.....ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขนิษฐา รุตรัตนมงคล)

.....กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มณฑนา วีระวัฒนากร)

.....กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน
(ดร.ศศิวิมล จิตรากร)

อนุมัติ

.....
(ดร.ภาณุ พุทธวงศ์)
รองคณบดีฝ่ายบริหารและวางแผน ปฏิบัติราชการแทน
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

24 มี.ค. 2560

ประกาศคุณูประการ

ข้าพเจ้าขอขอบคุณอย่างสูงในความกรุณาของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชนิษฐา รุตรัตนมงคล ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำในการวางแผนดำเนินการทดลอง ตลอดจนช่วยสนับสนุน วัตถุดิบ วัสดุอุปกรณ์ สารเคมี สำหรับใช้ในการทดลอง และคำแนะนำตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์มาโดยตลอดเป็นอย่างดี ด้วยความเมตตาของอาจารย์ วิทยานิพนธ์เล่มนี้ จึงสามารถเสร็จสมบูรณ์ได้ รวมทั้ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มณฑนา วีระวัฒนากร อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อีกทั้ง ดร. ศศิวิมล จิตรากร ที่กรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำ ตลอดจนตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ด้วยดี

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ส่งเสริมและสนับสนุนทุนในการวิจัยในปีงบประมาณ 2559

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ฝ่ายปฏิบัติการวิเคราะห์ ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร คุณเพชรรุ้ง เสนานุช คุณศิริวงษ์ นิ่มนงค์ คุณทรงวุฒิ ทิอ่อน คุณนิวัฒน์ ศักดิ์ดาเดช คุณสุพรรณี สหัสรังสีโสภิต และคุณหนึ่งฤทัย เทียนทอง ที่กรุณาช่วยให้คำแนะนำ และสนับสนุนอุปกรณ์ในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณทางครอบครัว บิดา มารดา และญาติพี่น้องทุกคน ที่ได้ให้การสนับสนุนช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อนิสิตสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำ และส่งเสริมกำลังใจตลอดมา นอกจากนี้ยังมีผู้ให้ความร่วมมือช่วยเหลืออีกหลายท่าน ซึ่งผู้วิจัยไม่สามารถกล่าวนามในที่นี้ได้ จึงขอขอบคุณทุกท่านเหล่านั้นไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

คุณค่าทั้งหลายที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูกตเวทีแด่บิดา มารดา และบูรพาจารย์ที่เคยอบรมสั่งสอน ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน

วลัยภรณ์ โท้นพราห์ม

ชื่อเรื่อง	**การศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในผลส้มโอสด ส้มโอตัดแต่ง และน้ำส้มโอพันธุ์ท่าข่อย**
ผู้วิจัย	**วลัยภรณ์ โท้นพราห์ม**
ประธานที่ปรึกษา	**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขนิษฐา รุตรัตนมงคล**
กรรมการที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มณฑนา วีระวัฒนากร
ประเภทสารนิพนธ์	วิทยานิพนธ์ วท.ม., สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**การอาหาร,** มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2559
คำสำคัญ	ส้มโอพันธุ์ท่าข่อย ส้มโอตัดแต่ง น้ำส้มโอพาสเจอไรซ์ น้ำ**ส้มโอผง** สารออกฤทธิ์ชีวภาพ

บทคัดย่อ

ส้มโอพันธุ์ท่าข่อยมีการเพาะปลูกอย่างแพร่หลายในจังหวัดพิจิตร เป็นพันธุ์ที่มี**เนื้อสีชมพู** มีความหวานและรสชาติที่เฉพาะตัว มีการรายงานว่าส้มโอไทยมีปริมาณกิจกรรมการ**ต้านอนุมูล**อิสระและปริมาณฟลาโวนอยด์สูง วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยเพื่อศึกษาและ**ตรวจสอบ**องค์ประกอบทางเคมี สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพต่างๆที่สำคัญในส้มโอพันธุ์ท่าข่อย **และพัฒนา**ผลิตภัณฑ์แปรรูปจากส้มโอพันธุ์ท่าข่อย โดยศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญ ได้แก่ ปริมาณวิตามินซี นารินจิน ฟีนอลิคทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ 3 **วิธี คือ** DPPH FRAP และ ABTS assay ของส่วนประกอบผลส้มโอสด 4 ส่วน ได้แก่ เปลือกนอก **เปลือกใน เยื่อ** และเนื้อส้มโอ และส้มโอแปรรูป ได้แก่ ส้มโอตัดแต่ง น้ำส้มโอ และน้ำส้มโอผง การศึ**กษาผลส้มโอ**สดส่วนต่างๆ ทั้ง 4 ส่วน พบว่าในส่วนของเยื่อมีปริมาณฟีนอลิคทั้งหมด (350.60 มิลลิกรัมกรดแกลิคต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง) ปริมาณฟลาโวนอยด์ (293.60 มิลลิกรัมเควอซิทินต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง) และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี ABTS (33.91 มิลลิกรัมโทล็อกต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) มากที่สุดปริมาณนารินจินพบในส่วนของเยื่อมากที่สุด (36.97 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) และลดลงตามลำดับของเปลือกใน เปลือกนอก และเนื้อส้มโอ ดังนี้คือ 23.06, 5.89 และ 4.43 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง เนื้อส้มโอพันธุ์ท่าข่อยมีปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 71.5 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด และในเนื้อส้มโอพันธุ์ท่าข่อยมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH (ร้อยละ 83.42) และ FRAP (36.93 มิลลิกรัมโทล็อกต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) มากที่สุด

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิการเก็บรักษาต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ (ค่ากรด-ด่าง ปริมาณกรดที่ไทเตรทได้ และของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด) สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระและจำนวนจุลินทรีย์ ของส้มโอตัดแต่งที่เก็บรักษาที่ 4 และ 35 องศาเซลเซียส พบว่าอายุการเก็บรักษาของส้มโอตัดแต่งที่เก็บรักษา 35 และ 4 องศาเซลเซียส เท่ากับ 1 และ 4 วันตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ การเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งที่ 35 องศาเซลเซียสทำให้สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ ปริมาณวิตามินซี ฟีนอลิค และปริมาณฟลาโวนอยด์ และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระลดลงมากกว่าเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % อย่างไรก็ตามอุณหภูมิการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางเคมีกายภาพของส้มโอตัดแต่ง จากการศึกษาการผลิตน้ำส้มโอโดยกระบวนการพาสเจอไรซ์ 2 แบบ ได้แก่ อุณหภูมิต่ำเวลานาน (65 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที) และอุณหภูมิสูงเวลาสั้น (95 องศาเซลเซียส เวลา 15 วินาที) โดยใช้ส้มโอสุกร้อยละ 90 และ 100 พบว่าการผลิตน้ำส้มโอโดยการให้ความร้อนแบบอุณหภูมิต่ำเวลานานสามารถรักษาวิตามินซี สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระได้มากกว่าการใช้อุณหภูมิสูงเวลาสั้น การพาสเจอไรซ์น้ำส้มโอมีผลให้ปริมาณนารินจินลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และการใช้ผลสุกร้อยละ 90 ปริมาณนารินจินมากกว่าน้ำส้มโอจากผลสุกร้อยละ 100 การศึกษาการผลิตน้ำส้มโอผงโดยกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยศึกษาอุณหภูมิทำแห้งที่ 160-200 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นของมอลโตเด็กซ์ทรินร้อยละ 5-12 พบว่าอุณหภูมิการทำแห้งที่ 180 องศาเซลเซียส และมอลโตเด็กซ์ทริน ร้อยละ 8 เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตน้ำส้มโอผง เนื่องจากผงส้มโอที่ได้มีวิตามินซีมากที่สุด (37.261 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง) และมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH และ FRAP สูงสุด คือ 6.638 มิลลิกรัมโทล็อกต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และ 16.319 มิลลิกรัมโทล็อกต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และผงที่ได้มีกลิ่น รสชาติและการละลายได้ดี ผลความสำเร็จของงานวิจัยนี้ก่อให้เกิดการใช้ประโยชน์จากส้มโอพันธุ์ท่าข่อย เพื่อเพิ่มมูลค่าเชิงพาณิชย์ในอนาคตได้

Title	STUDY OF BIOACTIVE COMPOUNDS AND ANTIOXIDANT ACTIVITIES OF FRUIT, FRESH-CUT AND JUICE THAKHOI POMELO
Author	Walaiporn Tonapram
Advisor	Assistant Professor Khanitta Ruttarattanamongkol, Ph.D.
Co - Advisor	Assistant Professor Monthana Weerawatanakorn, Ph.D.
Academic Paper	Thesis M.S. in Food Science and Technology, Naresuan University, 2016
Keywords	pomelo, fresh-cut pomelo, pasteurized pomelo juice, pomelo juice powder, bioactive compound

ABSTRACT

Thakhoi pomelo fruit [Citrus qrandis (L.) Osbeck] is widely grown in Pichit Province due to its sweetness and delicious taste. Thai pomelo has been reported to contain high antioxidant activities and flavonoids. This project aimed at studying the chemical compositions and bioactive compounds of ThaKhoi pomelo fruit and developing the new food products from its juice and pulp. Different parts of pomelo fruits were separated into flavedo (exocarp), albedo (mesocarp), endocarp and pulp, respectively and analyzed for ascorbic acid content, naringin content, total phenolic content, flavonoid contents and antioxidant capacities by radical scavenging assays (1,1 diphenyl- 1-picrylhydrazyl, DPPH; ferric reducing antioxidant power, FRAP and 2,2′-azino-bis-3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid, ABTS). The results indicated that endocarp contained highest total phenolic content (350.60 mg GAE/100g), flavonoids content (293.60 mg QE/100g), and antioxidant activity by ABTS assay (33.91 mgTE/g). Naringin content was found highest in endocarp (36.97mg/g DW) followed by albedo (23.06 mg/g DW), flavedo (5.89 mg/g DW) and pulp (4.43mg/g DW), respectively. Ascorbic acid content in the pomelo juice was measured and reported as 71.0 mg/100g FW. However pomelo pulp possessed highest antioxidant activities as measured by DPPH (83.42%) and FRAP (36.93

mgTE/gDW) assays. The effect of storage temperature (4 and 35 °C) on physico-chemical properties (pH, total acidity, total soluble solid), bioactive compounds, antioxidant activities and microbial growth of fresh-cut pomelo was studied. The results indicated that the sample stored at 35 and 4°C had the shelf life of 3 and 7 days, respectively. The significant reduction ($p < 0.05$) of ascorbic acid, total phenolic, flavonoid contents and antioxidant activities was shown at 35 °C storage. However, storage temperature did not affect the physico-chemical properties (pH, total acidity, total soluble solid) of the fresh-cut pomelo fruit over 7 days storage. Manufacturing of pomelo juice two different pasteurization methods (Low Temperature Long Time, LTLT and High Temperature Short Time, HTST) from 90 and 100% maturity pomelo fruits was also studied. The results showed that LTLT could preserve more ascorbic acid, bioactive compounds and antioxidant activities in juice than at HTST. The significant reduction ($p < 0.05$) of naringin contents was shown at pasteurization pomelo juice. Pasteurized pomelo juice from 90% maturity showed highest naringin contents more than 100% maturity. Pomelo juice powder was produced using spray drying technique at various inlet temperatures (160 - 200 °C) and maltodextrin levels (5 - 12%). The optimal inlet temperature and maltodextrin level was found to be 180 °C and 8%, respectively, due to its highest ascorbic content (37.261 mg/100 g) and antioxidant activities by DPPH (6.638 mg TE/g) and FRAP (16.319 mg TE/g) assay. The pomelo juice powder maintained its pomelo juice flavor, taste and high solubility. The outcome of this research will lead to the value addtion of Thakhoi pomelo fruit as the commercial food products in the future.

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	บทนำ	1
	ความเป็นมาของปัญหา	1
	วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
	ขอบเขตงานวิจัย	3
	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
	นิยามศัพท์เฉพาะ	4
2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
	ส้มโอ	5
	ส้มโอตัดแต่ง	16
	กระบวนการพาสเจอไรซ์น้ำผลไม้	23
	กระบวนการผลิตน้ำผลไม้ผง	27
3	วิธีดำเนินการวิจัย	34
	วัตถุดิบ	34
	สารเคมีและอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ในงานวิจัย	34
	อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย	35
	ขั้นตอนวิธีดำเนินงานวิจัย	36
	ตอนที่ 1 ศึกษาลักษณะทางเคมีกายภาพ วิตามินซี สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของผลส้มโอสด 4 ส่วนได้แก่ เปลือกนอก เปลือกใน เยื่อหุ้มเนื้อและเนื้อ	36

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	ตอนที่ 2 ผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อลักษณะทางเคมีกายภาพ การสลายของวิตามินซี สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ความสามารถ ของสารต้านอนุมูลอิสระและจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด	38
	ตอนที่ 3 ศึกษาผลของอุณหภูมิ และเวลาในการผลิตน้ำส้มโอพร้อมดื่มต่อลักษณะทางเคมีกายภาพ การสลายของวิตามินซี สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระ และจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด	39
	ตอนที่ 4 ศึกษาผลของอุณหภูมิขาเข้า และปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยของน้ำส้มโอต่อคุณภาพทางเคมีกายภาพ และทางเคมี	41
4	ผลการวิจัย	43
	ตอนที่ 1 ศึกษาลักษณะทางเคมีกายภาพ วิตามินซี สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของผลส้มโอสด 4 ส่วนได้แก่ เปลือกนอกเปลือกใน เยื่อหุ้มเนื้อ และเนื้อ	43
	ตอนที่ 2 ผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ลักษณะทางเคมีกายภาพ การสลายของวิตามินซี สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระ	51

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	ตอนที่ 3 ศึกษาผลของอุณหภูมิ และเวลาในการผลิตน้ำส้มโอพร้อมดื่ม ต่อจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดลักษณะทางเคมีกายภาพ	
	การสลายของวิตามินซี สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระ	58
	ตอนที่ 4 ศึกษาผลของอุณหภูมิขาเข้า และปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน ของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยของน้ำส้มโอต่อคุณภาพทางเคมีกายภาพ และสมบัติทางเคมี	71
5	บทสรุป	77
	สรุปผลการวิจัย	77
	ข้อเสนอแนะ	78
	บรรณานุกรม	79
	ภาคผนวก	80
	ประวัติผู้วิจัย	97

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1 สถิติเปรียบเทียบพื้นที่เพาะปลูกไม้ผลรวมทั้งประเทศไทยปี พ.ศ.2545	7
2 การแบ่งเกรดของส้มโอตามน้ำหนัก	8
3 คุณค่าทางโภชนาการของผักและผลไม้พื้นบ้านในส่วนที่กินได้ 100 กรัม	10
4 ปริมาณและชนิดของกรดอินทรีย์ในผลไม้บางชนิด	11
5 สารกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่พบบ่อย และแหล่งอาหารที่พบมาก	12
6 ปริมาณของฟลาโวโนนในส้มโอไทย	15
7 อุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสม และอายุการเก็บรักษาของผลไม้บางชนิด	18
8 วัตถุประสงค์และสภาวะในการให้ความร้อนของการพลาสเจอไรซ์อาหารชนิดต่างๆ	24
9 กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของแต่ละส่วนของส้มโอพันธุ์ท่าข่อยโดยวิธีที่แตกต่างกัน	49
10 ปริมาณกลุ่มสารหลักในอาหารของส้มโอพันธุ์ท่าข่อยในแต่ละส่วนได้แก่ เปลือกนอกเปลือกใน เยื่อหุ้มเนื้อและ เนื้อ	50
11 ลักษณะทางเคมีกายภาพ และปริมาณวิตามินซีของส้มโอพันธุ์ท่าข่อย	50
12 ผลของจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด และจำนวนยีสต์และราทั้งหมดของส้มโอตัดแต่งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 35 องศาเซลเซียส	52
13 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของส้มโอตัดแต่งที่เก็บรักษาที่ 4 และ 35องศาเซลเซียส	53
14 ผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด และปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของเนื้อส้มโอตัดแต่ง	55

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

14 ผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อปริมาณวิตามินซี และปริมาณนารินจิน ของส้มโอตัดแต่ง 56

15 ผลการวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของส้มโอตัดแต่ง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 35 องศาเซลเซียส 57

16 จำนวนแบคทีเรียทั้งหมด และจำนวนยีสต์และราทั้งหมดของน้ำส้มโอจากส้มโอพันธุ์ท่าข่อยที่ระยะการสุกร้อยละ90 58

17 จำนวนแบคทีเรียทั้งหมด และจำนวนยีสต์และราทั้งหมดของน้ำส้มโอพันธุ์ท่าข่อยที่ระยะการสุกร้อยละ 100 59

18 ลักษณะทางเคมีกายภาพ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่ากรดจากการไทเทรต และของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำส้มโอจากส้มโอพันธุ์ท่าข่อยที่ระยะการสุกร้อยละ 90 60

19 ลักษณะทางเคมีกายภาพ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่ากรดจากการไทเทรต และของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำส้มโอจากส้มโอพันธุ์ท่าข่อยที่ระยะการสุกร้อยละ 100 61

20 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด และปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของน้ำส้มโอจากส้มโอที่ระยะการสุก ร้อยละ90 63

21 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด และปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของน้ำส้มโอจากส้มโอที่ระยะการสุก ร้อยละ100 64

22 ปริมาณวิตามินซี และปริมาณนารินจินของน้ำส้มโอจากส้มโอที่ระยะการสุกร้อยละ90 67

23 ปริมาณวิตามินซี และปริมาณนารินจินของน้ำส้มโอจากส้มโอที่ระยะการสุกร้อยละ100 68

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

24 กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของน้ำส้มโอจากส้มโอที่ระยะการสุก ร้อยละ 90 69

25 กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของน้ำส้มโอจากส้มโอที่ระยะการสุก ร้อยละ 100 70

26 % yield, ปริมาณความชื้น ค่าการละลายน้ำ และค่าสี Lab ของผงน้ำส้มโอพันธุ์ท่าข่อยที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย 73

27 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและปริมาณวิตามินซีในผงน้ำส้มโอพันธุ์ท่าข่อยที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย 74

28 กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของผงน้ำส้มโอพันธุ์ท่าข่อยที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย 76

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
1	โครงสร้างโมเลกุลของสารนารินจินและสารนารินเจนิน	14
2	สูตรโครงสร้างเคมีของพลาสติกบางชนิด	19
3	อิทธิพลที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์	31
4	สูตรโครงสร้างมอลโตเด็กซ์ทริน	32
5	ส่วนประกอบของผลส้มโอ ที่ใช้ในการศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพล วิตามินซี สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ	37
6	ภาพบรรจุส้มโอตัดแต่ง	39
7	ภาพการบรรจุภัณฑ์น้ำส้มโอสด และน้ำส้มโอพาสเจอร์ไรซ์	40
8	ภาพผลิตภัณฑ์ผงน้ำส้มโอจากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะการทำแห้งต่าง ๆ	42
9	ปริมาณฟีนอลิคทั้งหมดของส้มโอพันธุ์ท่าข่อยแต่ละส่วน ได้แก่ เปลือกนอก เปลือกใน เยื่อหุ้มเนื้อ และเนื้อส้มโอ	44
10	ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของส้มโอพันธุ์ท่าข่อยแต่ละส่วน ได้แก่ เปลือกนอก เปลือกใน เยื่อหุ้มเนื้อ และเนื้อ	45
11	ปริมาณนารินจินแต่ละส่วนของส้มโอพันธุ์ท่าข่อย ได้แก่ เปลือกนอก เปลือกใน เยื่อหุ้มเนื้อ และเนื้อ	47

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาของปัญหา

ส้มโอเป็นผลไม้ที่สำคัญของประเทศไทย และเขตภูมิภาคเอเชียเนื่องจากเป็นผลไม้ที่อุดมไปด้วยวิตามินซี สารต้านอนุมูลอิสระ เพคตินไฟเบอร์ ไลโคปีน ลิโมนอยด์ และฟลาโวนอยด์ (Bocco, et al., 1998) ฟลาโวนอยด์หลักที่พบในส้มโอ ได้แก่ นีโอเอสเปอร์ริดิน เอสเปอร์ริดิน นารินจินิน และนารินจิน นารินจินเป็นสารกลุ่มฟลาโวน ซึ่งเป็นฟลาโวนอยด์หลักในส้มโอมีปริมาณอยู่ระหว่าง 13-58 มิลลิกรัมต่อ100 กรัมน้ำหนักสด (Pichaiyongvongdee and Haruenkit , 2009) ฟลาโวนอยด์ และวิตามินซีมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ มีฤทธิ์ต้านการอักเสบ ลดความเสี่ยงในการเกิดโรคต่างๆ เช่น โรคมะเร็ง โรคหลอดเลือดอุดตัน และโรคหัวใจ (Tripoli, et al., 2007) นอกจากฟลาโวนอยด์จะมีประโยชน์แล้ว ยังมีผลต่อรสชาติของผลไม้ตระกูลส้ม และส้มโอ โดยนีโอเอสเปอร์ริดิน และนารินจินเป็นสารที่ทำให้เกิดรสขม โดยจะพบบริเวณ เปลือกชั้นใน (albedo) และเยื่อหุ้มเนื้อ(endocarp) (Liesbeth, et al., 2011) งานวิจัยของ Pichaiyongvongdee and Hareunhit (2009) พบว่า ปริมาณนารินจิน พบมากใน เปลือกชั้นใน เปลือกชั้นนอก เนื้อ และเมล็ดของส้มโอตามลำดับ ในประเทศไทยมีส้มโอหลากหลายสายพันธุ์ได้แก่ ขาวน้ำผึ้ง ทองดี ขาวแป้น ขาวใหญ่ ขาวแตงกวา ปัตตาวี และพันธุ์ท่าข่อย ซึ่งส้มโอพันธุ์ท่าข่อยเป็นพันธุ์ที่ปลูกมากในจังหวัดพิจิตร พิษณุโลก และเขตภาคเหนือ ซึ่งในแต่ละปีมีผลผลิตจำนวนมากทำให้ ราคาส้มโอพันธุ์ท่าข่อยมีราคาต่ำ การแปรรูปเป็นทางเลือกสำคัญในการเพิ่มมูลค่าของผลผลิตทางการเกษตร แต่ในปัจจุบันการแปรรูปส้มโอยังมีความหลากหลายน้อย ดังนั้น เนื้อส้มโอตัดแต่ง น้ำส้มโอพาสเจอไรซ์ และน้ำส้มโอผง จึงเป็นอีกทางเลือกสำหรับการแปรรูปส้มโอ

ส้มโอสดตัดแต่งจำเป็นต้องเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำร่วมกับภาชนะบรรจุที่เหมาะสม เพื่อรักษาความสด และลดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และกายภาพ การเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งด้วยวิธีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศโดยใช้ฟิล์มห่อหุ้มเป็นการยืดอายุการเก็บรักษาวิธีหนึ่งที่นิยมในการเก็บรักษาผลไม้ตัดแต่ง (ทะนง ภัครัชพันธุ์, 2549) ชนิดของฟิล์มห่อหุ้มที่นิยมได้แก่ polyvinyl chloride, polyethylene และ polyvinyldenechloride ซึ่งฟิล์มแต่ละชนิดมีคุณสมบัติแตกต่างกัน และมีผลต่อการยืดอายุการเก็บรักษาของผักและผลไม้ตัดแต่งที่แตกต่างกัน การศึกษาชนิดของฟิล์มพลาสติกต่ออายุการเก็บรักษาสับปะรดตัดแต่งพร้อมบริโภคโดยใช้ฟิล์ม polyvinyl chloride (PVC) หนา 8 ไมโครเมตร พบว่าสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานคือ

9 วัน (Nuntawan, 2002) น้ำส้มโอพาสเจอไรซ์เป็นอีกผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มคุณค่าของผลิตผลทางการเกษตรจำพวกผักและผลไม้ (Ruxton, et al., 2006) กระบวนการผลิตน้ำผลไม้ใช้ขั้นตอนการแปรรูปหลายขึ้นตอน ได้แก่ การล้าง การบด การบีบน้ำ และการให้ความร้อนเพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ซึ่งกระบวนการเหล่านี้ทำให้เกิดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ และลดความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และมีผลต่อการลดลงของปริมาณฟลาโวนอยด์ จึงส่งผลต่อการลดลงของสารที่ทำให้รสขมในน้ำส้มโอ (Merve, et el., 2014) โดยมีการรายงานว่าปริมาณฟลาโวนอยด์ ได้แก่ นาริรูทิน นารินจินนีโอเอสเปอริริดิน และเควอซิทินของน้ำส้มโอมีค่าลดลงเมื่อผ่านการฆ่าเชื้อแบบพาสเจอไรส์ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ปริมาณ นารินจินมีค่าลดลงจาก 41.6 จนถึง 40.0 mg/100ml (Igual, et al., 2011) ผงน้ำผลไม้มีประโยชน์ และมีศักยภาพทางเศรษฐกิจมากกว่าน้ำผลไม้ที่อยู่ในรูปแบบของเหลว เพราะน้ำหนักผลิตภัณฑ์ลดลงจึงสะดวกต่อการจัดการ และการขนส่ง อีกทั้งยังสามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น (Goula และ Adamopoulos, 2010) เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอยจำเป็นต้องใช้สารตัวพาในการทำแห้งเพื่อความสำเร็จ และความสะดวกในการอบแห้ง (Mishra, et al., 2014) อุตสาหกรรมส่วนใหญ่เลือกมอลโตเด็กซ์ทรินเป็นสารตัวพา เนื่องจากราคาต่ำ และมีประโยชน์มากต่อการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Phisut, 2012) อีกหนึ่งปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผงคือ อุณหภูมิขาเข้าซึ่งอุณหภูมิขาเข้ามีผลต่อขนาดอนุภาค ความชื้น ความสามารถการละลายน้ำ รวมทั้งการลดลงของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของผงน้ำผลไม้ที่ได้ เช่น ไลโคปีน และแอนโธไซยานิน (Chegini and Ghobadian, 2005; Tonon, et al., 2008; Quek, et al., 2007)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิเคราะห์ และตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมี สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพต่างๆ ที่สำคัญของส้มโอพันธุ์ท่าข่อย และพัฒนากระบวนการแปรรูปส้มโอพันธุ์ท่าข่อย โดยศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ ปริมาณวิตามินซี นารินจิน ฟีนอลิคทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ 3 วิธี คือ DPPH FRAP และ ABTS assay ของส่วนประกอบผลส้มโอสด 4 ส่วน ได้แก่ เปลือกนอก เปลือกใน เยื่อ และเนื้อส้มโอ และส้มโอแปรรูป ได้แก่ ส้มโอตัดแต่งที่เก็บรักษา 2 อุณหภูมิ คือ 4 และ 35 องศาเซลเซียส น้ำส้มโอพาสเจอไรซ์ที่ระดับความร้อนแบบความร้อนต่ำเวลานานและความร้อนสูงเวลาสั้น และน้ำส้มโอผงจากเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยศึกษา 2 ปัจจัย คือ ความเข้มข้นของมอลโตเด็กซ์ทรินร้อยละ 5-12 และอุณหภูมิขาเข้า 160-200 องศาเซลเซียส

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อตรวจสอบปริมาณวิตามินซี สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญ ได้แก่ปริมาณนารินจิน และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของเปลือกนอก เปลือกใน เยื้อ และเนื้อ ของส้มโอพันธุ์ท่าข่อย

2. ศึกษาผลของอุณหภูมิ และเวลาในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพ สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของเนื้อส้มโอตัดแต่ง

3. ศึกษาผลของอุณหภูมิ และเวลาในกระบวนการพาสเจอไรซ์ และผลของระยะการสุกต่อสมบัติทางเคมีกายภาพปริมาณวิตามินซี สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของน้ำส้มโอพร้อมดื่ม

4. ศึกษาผลของอุณหภูมิทำแห้ง และปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินต่อสมบัติทางกายภาพลักษณะทางเคมีของน้ำส้มโอผงจากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ขอบเขตงานวิจัย

ศึกษาลักษณะทางกายภาพได้แก่ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (Total soluble solid, TSS) ค่าความเป็นกรดทั้งหมดที่ไตเตรทได้ (Titratable acid, TA) และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของส้มโอสดพันธุ์ท่าข่อยอายุการเก็บเกี่ยว 6.5-7.5 เดือน ที่แยกส่วนเป็น 4 ส่วนได้แก่ เปลือกชั้นนอก เปลือกชั้นใน เยื้อหุ้มเนื้อ และเนื้อ รวมทั้งศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH, FRAP และ ABTS ศึกษาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (Total flavonoid compound, TFC) สารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด (Total phenolic compound, TPC) นารินจิน (naringin) และปริมาณวิตามินซี

ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ ได้แก่ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ ค่ากรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมด และค่าความเป็นกรด-ด่าง ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ปริมาณฟีนอลิคทั้งหมด ปริมาณนารินจิน ปริมาณวิตามินซี จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด และจำนวนยีสต์และรา ของส้มโอพันธุ์ท่าข่อยตัดแต่งที่เก็บโดยใช้วิธีการเก็บรักษาด้วยวิธีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศโดยใช้ฟิล์มห่อหุ้ม คือ polyvinyl chloride (PVC) และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียสสุ่มตัวอย่างมาตรวจวิเคราะห์ทุกๆวัน

ศึกษาผลของรูปแบบการพาสเจอไรซ์น้ำส้มโอต่อสมบัติทางกายภาพได้แก่ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ ค่ากรดที่ไตเตรทได้ทั้งหมด และค่าความเป็นกรด-ด่าง ความสามารถในการการต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ปริมาณฟีนอลิคทั้งหมด ปริมาณนารินจิน ปริมาณวิตามินซี จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด และจำนวนยีสต์และรา โดยน้ำส้มโอพร้อมดื่มผ่านการฆ่าเชื้อในระดับ พาสเจอไรซ์ที่ให้ความร้อนต่างกัน 2 แบบ คือการให้ความร้อนแบบ อุณหภูมิต่ำเวลานาน (Low

Temperature Long Time, LTLT) ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที และแบบอุณหภูมิสูงเวลาสั้น (High Temperature Short Time, HTST) ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วินาที น้ำส้มโอที่ผ่านการพาสเจอไรซ์บรรจุใส่ขวดพาสติกขนาด 250 มิลลิลิตรพร้อมปิดผนึกเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียสวิเคราะห์ตัวอย่างทุกๆ 2 วันจนกระทั้งปริมาณเชื้อแบคทีเรีย ยีสต์และราเกิน log 2

ศึกษาผลของปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน และอุณหภูมิขาเข้าต่อสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความชื้น ความสามารถในการละลาย ค่าสี L* a* b* และสมบัติทางเคมีได้แก่ ปริมาณฟีนอลิคทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ ปริมาณวิตามินซี ปริมาณนารินจิน และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้ง 3 วิธี คือ DPPH ABTS และ FRAP โดยสภาวะที่ใช้สำหรับกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยคืออุณหภูมิขาออก (Outlet temperature) 90 องศาเซลเซียส ความดันที่ 0.2 MPa อัตราการป้อนตัวอย่างที่ 0.6 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ปริมาณมอลโตเด็กทรินซ์ร้อยละ 4.5 6.9 และ 10.2 และอุณหภูมิขาเข้า 160-200 องศาเซลเซียส ผงน้ำส้มโอบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ เก็บรักษาที่ -18 องศาเซลเซียส

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถส่งเสริมให้ผู้บริโภคเห็นถึงคุณค่าทางโภชนาการ สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ของผลส้มโอสด , ส้มโอตัดแต่ง น้ำส้มโอ และผงน้ำส้มโอ
2. เพิ่มมูลค่าของผลผลิตทางการเกษตรที่หาได้ในท้องถิ่น
3. สามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ของส้มโอคือน้ำส้มโอพร้อมดื่ม และผลิตภัณฑ์ผงน้ำส้มโอที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง

นิยามศัพท์เฉพาะ

ส้มโอพันธุ์ท่าข่อย เนื้อส้มโอตัดแต่ง น้ำส้มโอพาสเจอไรซ์ น้ำส้มโอผง สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

Thakoi pomelo, fresh-cut pomelo, pasteurized pomelo juice, pomelo juice powder, bioactive compound

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ส้มโอ

ส้มโอมีถิ่นกำเนิดในเกาะมลายู และหมู่เกาะโปลีนีเซียปัจจุบันแหล่งปลูกส้มโอที่สำคัญ ได้แก่ จีนตอนใต้ เวียดนาม มาเลเซีย ไต้หวัน ญี่ปุ่น ไทย อิสราเอล (เปรมปรี ณ สงขลา, 2527) สำหรับประเทศไทยแหล่งปลูกส้มโอที่สำคัญได้แก่ จังหวัดชุมพร นครศรีธรรมราช ตราด สงขลา สมุทรสงคราม ชัยนาท ปราจีนบุรี พิจิตร และนครปฐม (สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร, 2541) ซึ่งแต่ละพันธุ์จะมีรสชาติและลักษณะแตกต่างกัน เช่น พันธุ์ทองดี ขาวน้ำผึ้ง ขาวหอม ขาวใหญ่ ขาวแตงกวา ขาวพวง ขาวแป้น ท่าข่อย และหอมหาดใหญ่ (สมพร เกตุพงค์, 2534)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ส้มโอ

ส้มโอ (Pummelo) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า (*Citrus grandis* (L.) Osbeck) วงศ์ Rutaceae ชื่อสามัญ Pomelo (Pummelos) ชื่อพื้นเมืองไทยเรียกว่า ส้มโอ มะโอ หมากโอ และชาดอก ส้มโอมีลักษณะทางพฤกษาศาสตร์ คือเป็นไม้ยืนต้นขนาดเล็กถึงขนาดกลาง ทรงต้นโปร่ง สูงประมาณ 6-15 เมตร ใบมีขนาดค่อนข้างใหญ่ และหนา แผ่นใบมีรูปร่างเป็นโล่หรือคล้ายรูปไข่ สีของใบเป็นสีเขียวเข้มเป็นมัน ผลส้มโอมีขนาดค่อนข้างใหญ่ รูปทรงของผลมีหลายแบบเช่น กลมแป้น กลมมน และกลมสูง เป็นต้นบางพันธุ์มีจุกคล้ายผลสาลี่หรือผลฝรั่ง มีขนาดของเส้นรอบวงด้านกว้างบริเวณกลางผลประมาณ 30-57 เซนติเมตร ผลขณะยังอ่อนจะมีสีเขียว เมื่อผลสุกจะมีสีเหลือง ส้มโอมีส่วนประกอบคล้ายผลไม้ตระกูลส้มทั่วไป (สมคิด เทียมรัศมี, 2548)

เปลือกส้มโอ (Pomelo peel) เป็นส่วนที่หุ้มเนื้อในของผลส้มโอ ลักษณะของเปลือกจะหนาและเกาะติดเนื้อแกนกลางต้น โดยทั่วไปลักษณะความหนาของเปลือกแตกต่างกันไปตามพันธุ์ ซึ่งส่วนของเปลือกส้มโอ สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชั้น (พร จันทร์ด่านกลาง, 2535)

เปลือกชั้นนอกสุด (Exocarp) เปลือกชั้นนอกสุดบางกว่าเปลือกชั้นกลาง ประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นสีของเปลือก หรือเรียกว่า Flavedo ประกอบด้วยเซลล์จำนวนมากที่มีแคโรทีนอยด์เป็นองค์ประกอบในส่วนนี้จะมีน้ำมันหอมระเหยสะสมอยู่

เปลือกชั้นกลาง (Mesocarp) เปลือกชั้นกลางมีสีขาว หนา และอ่อนนุ่ม ซึ่งในเปลือกของส้มโอมีทั้งเส้นใย เพคติน และสารพวกเมือกรวมถึงวิตามิน และเอนไซม์ มีความหนาประมาณ 1-3 เซนติเมตร

เปลือกชั้นในสุด (Endocarp) เปลือกชั้นในสุด มีลักษณะเป็นเยื่อโปร่งใสหุ้มอยู่ที่กลีบของเนื้อส้มโอ

ลักษณะสายพันธุ์ส้มโอ

พันธุ์ส้มโอที่ปลูกในประเทศไทยมีอยู่หลายพันธุ์บางพันธุ์มีลักษณะใกล้เคียงกันแต่ปลูกคนละจังหวัด จึงเรียกชื่อแตกต่างกันไป โดยพันธุ์ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ คือ พันธุ์ท่าข่อย

พันธุ์ท่าข่อย

ขนาดผลใหญ่ น้ำหนักผล 1,500-2,100 กรัม สูง 15-17 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางผล 15-18 เซนติเมตร เส้นรอบวงด้านกว้าง 40-58 เซนติเมตร ทรงผลกลมสูงไม่มีจุกเด่นชัด ด้านหัวมีจีบเล็กน้อย ก้นผลเรียบจนถึงเว้าเล็กน้อย ผิวหยาบสีค่อนข้างเหลือง เปลือกหนา 1.8-2.5 เซนติเมตร น้ำหนักเปลือก 545-776 กรัม จำนวนกลีบ11-15 กลีบ/ผล ผนังกลีบสีชมพู กุ้งมีขนาดใหญ่ สีชมพูฉ่ำน้ำ น้ำหนักเนื้อประมาณ 904-1,313 กรัม รสหวานอมเปรี้ยว มีกลิ่นหอมเฉพาะตัว เมล็ดน้อย บางผลไม่มีเมล็ดหรือเมล็ดลีบ แหล่งปลูก อยู่จังหวัดพิจิตร พิษณุโลก และเขตภาคเหนือตอนล่าง

การแบ่งของส้มโอโดยใช้รสชาติเป็นเกณฑ์ แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม (ธนาวรรณ สุขเกษม, 2552)

1. กลุ่มที่มีรสชาติเปรี้ยวปานกลางถึงเปรี้ยวจัด (moderately sour highly sour) ในกลุ่มนี้มีปริมาณกรดประมาณ 1.02-1.93%

2. กลุ่มที่มีรสหวานหรือมีกรดต่ำ (acidless) ส้มโอกลุ่มนี้มีรสเปรี้ยวน้อยโดยมีปริมาณกรดระหว่าง 0.08-0.10%

การแบ่งชนิดของส้มโอโดยใช้สีของเนื้อผลเป็นเกณฑ์ แบ่งได้เป็น 4 กลุ่ม (สุธน และคณะ, 2541)

1. สีเหลืองอ่อน เช่น พันธุ์ขาวพวง ขุนนนท์ ขาวจีบ ขาวใหญ่

2. สีเหลืองอมเขียว เช่น พันธุ์ขาวแป้น ขาวหอม

3. สีชมพูอ่อน เช่น พันธุ์ขาวทองดี ขาวน้ำผึ้ง มรกต ขาวพ้อม ท่าข่อย

4. สีชมพูแก่ เช่น พันธุ์แดงทับทิม

ตาราง 1 แสดงสถิติของกรมส่งเสริมการเกษตรได้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับพื้นที่เพราะปลูกส้มสายพันธุ์ต่างๆ ที่ปลูกในประเทศไทยปี พ.ศ. 2545 ส้มโอพันธุ์ท่าข่อยมีการปลูกทั้งหมดรวม 1,562 ไร่ ได้ผลผลิตรวม 1,725.72 ตัน

ตาราง 1 สถิติเปรียบเทียบพื้นที่เพาะปลูกไม้ผลรวมทั้งประเทศไทยปี พ.ศ.2545

พืชพันธุ์	พื้นที่ปลูก (ไร่)			ผลผลิต	
	ให้ผล	ไม่ให้ผล	รวม	ผลผลิตเฉลี่ย (กก./ไร่)	ผลผลิตรวม (ตัน)
ส้มเกลี้ยง	1.486	1,103	2,589	2,747.42	4,082.67
ส้มเขียวหวาน	160,079	108,633	268,712	2,163.36	346,393.04
ส้มจุก	59	29	88	1,881.36	111.00
ส้มตรา(สมเช้ง)	925	344	1,269	3,425.41	3,168.50
ส้มโอ	58,602	24,806	83,408	1,456.71	85,366.17
ส้มโอทองดี	26,593	11,553	38,146	1,596.75	42,462.41
ส้มโอขาวแป้น	2,063	425	2,488	1,610.35	3,322.15
ส้มโอขาวพวง	4,536	1,245	5,781	1,337.83	6,068.39
ส้มโอขาวน้ำผึ้ง	3.233	788	4,021	1,741.74	5,631.04
ส้มโอขาวหอม	199	26	255	1,201.29	239.06
ส้มโอขาวใหญ่	11,961	7,019	18,980	1,219.69	14,528.90
ส้มโอขาวแตงกวา	1,758	670	2,428	921.90	1,620.69
ส้มโอท่าข่อย	1,155	407	1,562	1,494.13	1,725.72
ส้มโอพันธุ์อื่นๆ	7,104	2,673	9,777	1,374.97	9,767.82
แพสชั่นฟรุต	1,076	228	1,304	2,811.80	3,025.50

ที่มา: ธนาวรรณ สุขเกษม, 2552

วิทยาการก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว

ส้มโอเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric fruit คือหลังจากมีการเจริญเติบโตของผลแก่เต็มที่แล้ว จะเข้าสู่ระยะชราภาพ คือจะไม่เกิดกระบวนการสุก เนื่องจากไม่มีขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงแป้งเป็นน้ำตาล ซึ่งเกิดการกระตุ้นของก๊าซเอทธิลีนที่ผลิตได้ในผล ผลไม้ประเภทนี้จะต้องเก็บเกี่ยวในช่วงที่มีรสชาติดีที่สุดโดยทั่วไปส้มโอที่ปลูกในประเทศไทยจะออกดอกปีละ 2 ครั้ง ครั้งแรกระหว่างเดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ครั้งที่ 2 ในเดือน สิงหาคม-ตุลาคม ส้มโอจะเจริญเติบโตนับจากช่วงออกดอกติด

ผล ถึงผลแก่เก็บเกี่ยวได้ใช้เวลานาน 7-8 เดือนส้มโอที่ออกดอกติดผลชุดแรกจะเก็บเกี่ยวได้ในเดือนสิงหาคม-กันยายน ส้มโอที่ออกดอกติดผลชุดที่ 2 เก็บเกี่ยวได้ในช่วงแล้งระหว่างเดือน กุมภาพันธ์-มีนาคม การเก็บเกี่ยวส้มโอเพื่อให้ได้รสชาติดีจะต้องเก็บเมื่อผลส้มโอมีอายุ 6.5-7.5 เดือนเพราะเป็นระยะที่ผลส้มโอมีปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้นถึงจุดสูงสุด มีค่า TSS ประมาณ 11-12 องศาบริกซ์ ส้มโอที่มีรสชาติดีนั้นการวัดของแข็งที่ละลายน้ำได้ โดยวัดจากอัตราส่วน TSS/TA ค่าที่อ่านได้ไม่ควรต่ำกว่า 10 องศาบริกซ์ และปริมาณกรด 0.5-0.6%

การคัดเลือกส้มโอ

ในการเก็บเกี่ยวผลผลิตนั้นโดยทั่วไปเกษตรกรจะเลือกเก็บเกี่ยวส้มโอที่มีคุณภาพดีจากบนต้น แต่หลังจากเก็บเกี่ยวแล้วยังจะต้องทำการคัดเลือกผลผลิตอีกครั้ง ลักษณะผลส้มโอที่ควรคัดออก คือ ผลส้มโอที่มีขนาดเล็กเกินไป ส้มโอรูปร่างบิดเบี้ยว ผิวมีตำหนิ เช่น ผิวขรุขระ เป็นขี้กลาก ผิวโดนแดดเผา (สมคิด เทียมรัศมี, 2548)

การผลิตและจำหน่ายส้มโอจัดแบ่งเกรดของส้มโอโดยกำหนดจากน้ำหนักซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 7 เกรดด้วยกันตามตาราง 2

ตาราง 2 การแบ่งเกรดของส้มโอตามน้ำหนัก

เกรด	น้ำหนัก (กรัม)
A	น้อยกว่า 700
B	700-899
C	900-1,099
D	1,100-1,299
F	1,300-1,499
G	1,500-1,700
H	มากกว่า 1,700

ที่มา: สมคิด เทียมรัศมี, 2548

คุณค่าทางโภชนาการส้มโอ

ส้มโอ เป็นไม้ผลที่มีศักยภาพในการส่งออก เนื่องจากเป็นผลไม้ที่มีรสชาติดี มีรสหวานหรือหวานอมเปรี้ยว ขึ้นอยู่กับพันธุ์ และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง เป็นที่ต้องการของตลาดต่างประเทศ อีกทั้งส้มโอเป็นผลไม้ที่มีเปลือกหนา ทำให้สามารถเก็บรักษาได้นานโดยไม่เสียคุณภาพ ทนทานต่อการกระทบกระเทือนระหว่างขนส่งได้ในระยะทางไกลโดยเฉพาะการส่งออกไปยังตลาดต่างประเทศดังนั้น จึงเป็นผลไม้อีกชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพในการส่งเสริมให้เกษตรกรผลิตเพื่อการส่งออก ส้มโอมีประโยชน์ และคุณค่าทางโภชนาการคือ ผิวผลนอกสุดมีต่อมน้ำมัน ภายในมีน้ำมันหอมระเหย เปลือกผลสีขาว มีสารเพคติน (pectin) สูง มีธาตุฟอสฟอรัส แคลเซียม เนื้อผลมี น้ำตาล กรดอินทรีย์ วิตามินซี วิตามินเอ วิตามินบี มีธาตุแคลเซียมฟอสฟอรัส และสารอื่น ๆ (ธนาวรรณ สุขเกษม, 2552)

คุณค่าทางโภชนาการ (ตาราง 3) พบว่าส้มโอมี 39 แคลอรี่ ปริมาณไขมัน โปรตีน และแป้ง 0.3, 9.5 และ 0.7 กรัมตามลำดับ พบแคลเซียมและธาตุเหล็ก 27 และ 0.5 มิลลิกรัม และพบวิตามินซีมากถึง 53 มิลลิกรัม

1. วิตามินซี

วิตามินซี (Ascorbic acid) วิตามินซีพบได้ในผักใบเขียวทั่วไป โดยใบสีเข้มมีวิตามินซีมากกว่าใบสีอ่อน นอกจากนี้ยังพบได้ในผลไม้รสเปรี้ยว วิตามินซีหรือกรดแอสคอร์บิคในผักและผลไม้มีด้วยกันอยู่ 3 รูปคือ reduced ascorbic acid ซึ่งอาจถูกออกซิไดซ์ไปอยู่ในรูปที่ 2 คือ monohydroascorbic acid ซึ่งไม่เสถียรและถูกเปลี่ยนเป็นรูปที่ 3 คือ dehydroascorbic acid (DHA) vitamin C ในผักผลไม้ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของ reduced ascorbic acid (90%) แต่อย่างไรก็ตามปริมาณของวิตามินซี ในรูปต่างๆยังขึ้นอยู่กับอายุของผลิตผลเมื่อเก็บเกี่ยว (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549) และภายหลังการเก็บเกี่ยวปริมาณวิตามินซี มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นมา

วิตามินซีจะสูญเสียไประหว่างการปรุงอาหาร ข้อเสียวิตามินซีคือไม่ทนต่อความร้อน อากาศ ละลายน้ำง่าย ทนกรดแต่ไม่ทนด่าง ผักและผลไม้ที่เก็บไว้นานจะทำให้ปริมาณวิตามินซีสูญเสียไปได้ถึง 33 % การหุงต้มก็เป็นการสูญเสียวิตามินซี ไปถึง 50-80 % และการหั่นผักเป็นชิ้นเล็กๆน้อยก็ทำให้เกิดการสูญเสียวิตามินซี เช่นกัน แต่ในผลไม้เกิดการสูญเสียของวิตามินซีน้อย เนื่องจาก มีกรดซิตริก และกรดมาริกที่ทำหน้าที่ยับยั้งการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิคได้ เพราะมีคุณสมบัติในการเป็น chelate ไอออนของโลหะเอาไว้ (ตาราง 4)

ตาราง 3 คุณค่าทางโภชนาการของผักและผลไม้พื้นบ้านในส่วนที่กินได้ 100 กรัม

ชื่ออาหาร	แคลอรี่	ไขมัน(g)	แป้ง(g)	โปรตีน(g)	แคลเซียม (mg)	เหล็ก(mg)	วิตามิน/มิลลิกรัม			
							เอ	บี1	บี2	ซี
ฟักทอง	50	0.2	12.5	1.4	27	0.6	2,458	0.09	0.06	14
มะเขือยาว	26	0.3	4.9	0.9	19	26.0	354	0.09	9.06	3
มะเขือเทศ/สุก	20	0.3	4.2	1.2	7	0.6	842	0.06	0.04	23
มะละกอไม่สุก	26	-	6.2	1.0	38	0.3	25	0.02	0.03	40
สะตอ	150	-	11.4	8.0	76	0.7	734	0.11	0.01	6
หน่อไม้	28	-	5.3	2.5	17	0.9	25	0.11	0.09	9
หน่อไม้แห้ง	190	-	37.9	13.8	77	5.0	33	0.11	0.14	1
หัวปลี	26	-	5.7	1.6	37	1.0	283	0.04	0.03	12
กล้วยน้ำหว้าสุก	100	-	26.1	1.2	12	0.8	375	0.03	0.04	14
กระท้อน	57	0.7	13.9	0.4	9	1.2	83	0.05	0.03	14
ส้มโอ	39	0.3	9.5	0.7	27	0.5	50	0.05	0.02	53

ที่มา: กรมส่งเสริมการเกษตร จังหวัดสิงห์บุรี, 2550

ตาราง 4 ปริมาณและชนิดของกรดอินทรีย์ในผลไม้บางชนิด

กรดที่มีมาก	ชนิดของผลไม้	ปริมาณของกรดที่มีอยู่ (mg eq./gfw)	กรดอื่นๆที่มี
ซิตริก	ทับทิม	7-30	มาลิก
	ฝรั่ง	10-20	มาลิก
	ส้ม	15	มาลิก คิวนิก
	สตรอเบอรี่	10-18	มาลิก คิวนิก ซัคคินิก
	สับปะรด	6-20	มาลิก
มาลิค	กล้วย	4	-
	ท้อ	4	ซิตริก
	องุ่น	1.5-2	ทาทาริก
	แอปเปิ้ล	3-19	คิวนิก

ที่มา: จริงแท้ ศิริพานิช, 2549

2. สารประกอบฟีนอล

สารประกอบฟีนอล (Phenolic compound) สารประกอบฟีนอล คือสารประกอบที่มีหมู่ของฟีนอลเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ และอาจมีหมู่เคมีหมู่อื่นๆ มาเกาะตรงตำแหน่งต่างๆ เช่น กรดคาเฟอิค (caffaic aicd) กรดซินามิค (Cinnamic acid) กรดคอโรจีนิค (Chlorogenic acid) แอนโธไซยานิน (anthocyanin) และแทนนิน (tannin) โดยมีสารฟีนิลอะลานีน (Phenylanin) เป็นโมเลกุลต้นแบบ ของสารประกอบฟีนอลอื่นๆ สารประกอบฟีนอลเป็นสารประกอบผลพลอยได้จากกระบวนการเมทาบอลิซึมของเซลล์สารประกอบฟีนอลลิคเป็นสารที่พบในธรรมชาติมากที่สุดชนิดหนึ่ง แบ่งได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ๆ คือ flavonoid compound, phenolic acid, Hydroxycinamiv acid และ lignan (ปิยศิริ สุนทรนนท์, 2551) ความสำคัญของสารประกอบฟีนอล แบ่งออกเป็น 3 ประการ ได้แก่

1. การต้านทานโรค มีการค้นพบว่าสารประกอบฟีนอลหลายชนิดสามารถป้องกันหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราบางชนิดได้

2. รสฝาด รสฝาดของผลไม้หลายๆชนิดพบว่าขึ้นอยู่กับปริมาณของสารประกอบฟีนอลในผล เช่นรสขมในผลไม้พวกส้มก็เป็นผลมาจากฟีนอลเหมือนกันโดยเฉพาะนารินจิน ซึ่งพบมาก และ

เป็นฟีนอลที่ให้รสขมสูง สำหรับรสขมที่เกิดในผลพวกแตงนั้นเกิดจากสาร cucurbitacin เป็นสารประกอบพวก triterpenoid เช่นเดียวกับ limonoids ที่พบในพวกส้ม แต่ไม่ใช่ฟีนอล

3. สีนอกจากแอนโทไซยานินซึ่งเป็นฟีนอลอย่างหนึ่งที่ให้สีสันกับผลไม้ สารประกอบ ฟีนอลอื่นๆซึ่งปกติไม่มีสีก็อาจทำให้เกิดสีน้ำตาลได้เมื่อเซลล์ของผักผลไม้ถูกกระทบกระเทือน ซึ่งจะทำให้เอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) เปลี่ยนโมเลกุลของฟีนอลไปเป็น quinone และรวมตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่ขึ้นและมีสีน้ำตาล (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549)

ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids)

ฟลาโวนอยด์พบทั่วไปในพืชที่มีสีเขียว และพบในทุกส่วนของพืช ไม่ว่าจะเป็น ใบ ราก เนื้อไม้ เปลือกต้น ดอก ผล หรือ เมล็ด ฟลาโวนอยด์จัดเป็นสารสำคัญของกลุ่มโพลีฟีนอล สารกลุ่ม ฟลาโวนอยด์แบ่งเป็นกลุ่มย่อยๆ ได้หลายกลุ่มตามความแตกต่างของสูตรโครงสร้าง ตัวอย่างของสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ได้แก่ ฟลาเวน (flanvanes) ไอโซฟลาเวน (isofavanes) ชาลโคน (chalcones) ฟลาวาโนน (flavanones) ไอโซฟลาวาโนน (isoflavanones) ไดไฮโดรชาลโคล(dihydrochalcones) ฟลาวานอล (flavanols) ไอโซฟลาวานอล (isoflavanols) แอนโทไซยานิดิน (anthocyanidins) ฟลาโวน (flavones) ไอโซฟลาโวน (isoflavones) คูมาริน (coumarin) ซึ่งในอาหารแต่ละชนิดจะพบสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่แตกต่างกัน (ตาราง 5) (ปรีชา บุญจูง, 2550)

ตาราง 5 สารกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่พบบ่อย และแหล่งอาหารที่พบมาก

โครงสร้างหลัก	ชื่อสาร	แหล่งที่พบ
flavones	Epicatechin	ชาเขียว ชาดำ
	Catechin	ไวน์แดง
	Epigallocatechin	
	Epicatechin gallate	
	gallate	
Flavonones	Naringin	ผลพืชตระกูลส้มมะนาว
	Taxfolin	เปลือกผลพืชตระกูลส้มมะนาว
	Fisetin	

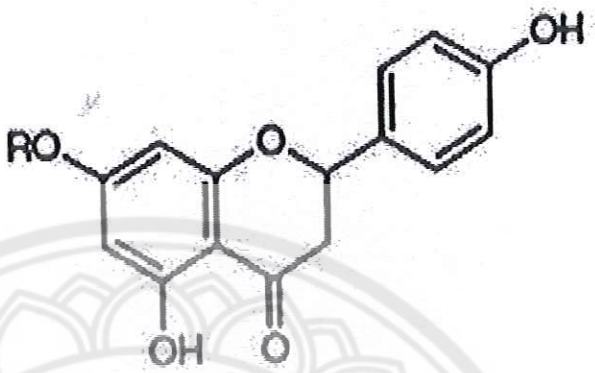
ตาราง 5 (ต่อ)

โครงสร้างหลัก	ชื่อสาร	แหล่งที่พบ
Flavonols	Kaemferol	ผัคลีค บลอคโคลี่ ส้มเกรฟฟรุต ชาดำ แอปเปิล เบอร์รี่ โอลีฟ ชา ไวน์แดง
Flavonols	Kaemferol	ผัคลีค บลอคโคลี่ ส้มเกรฟฟรุต ชาดำ แอปเปิล เบอร์รี่ โอลีฟ ชา ไวน์แดง
	Quercetin	ไวน์แดง ผลองุ่น แครนเบอร์รี่
Flavones	Chrysin	เปลือกผลไม้
	Apigenin	ขึ้นฉ่าย ผักชีฝรั่ง
Anthocyanidin	Malvidin	ผลองุ่นแดง ไวน์แดง
	Cyanidin	ลูกเชอร์รี่ ผลราสเบอรี่ สตรอเบอร์รี่ ผลองุ่น
	Apigenidin	ผลไม้และเปลือกไม้ที่มีสี
Phenylpropanoids	Ferulic acid	ข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าว มะเขือเทศผักขม กะหล่ำปลี หน่อไม้ฝรั่ง
	Caffeic acid	ผลองุ่นขาว ไวน์ขาว ผักขม กะหล่ำปลี หน่อไม้ฝรั่ง กาแฟ
	p-coumaric acid	ผลองุ่นขาว ไวน์ขาว มะเขือเทศ ผักขม กะหล่ำปลี หน่อไม้ฝรั่ง
	Chlorogenic acid	แอปเปิ้ล สาลี่ เชอร์รี่ ลูกพลัม มะเขือเทศ

ที่มา: ปรีชา บุญจูง, 2550

นารินจิน (Naringin) เป็นสารที่ให้รสขมมากที่สุดในบรรดาสารประกอบฟลาวาโนนที่พบในส้มโอ นารินจินเป็นสารประกอบฟลาโวนอยด์ชนิดหนึ่งที่มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 580.53 มีสูตรเคมี $C_{27}H_{32}O_{14}.2H_2O$ (4,5,7-Trihydroxy-flavanone 7-rhamnoglucoside) นารินจินบริสุทธิ์จะมีลักษณะเป็นผงสีเหลือง มีความขมมาก สารประกอบนารินจินเกิดจากการเชื่อมกันของน้ำตาลกับสารนารินเจนิน ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างโมเลกุล (ภาพ 1) นารินจินที่ไม่ก่อให้เกิดความขมจะมีค่าประมาณ

50 ส่วนในล้านส่วน แต่โดยทั่วไปมักพบในปริมาณ 500 ส่วนในล้านส่วน และบางครั้งอาจพบได้สูงกว่า 900 ส่วนในล้านส่วน (Ribeiro, 2002)



ภาพ 1 โครงสร้างโมเลกุลของสารนารินจินและสารนารินเจนิน

ที่มา: http://www.ijmt.net/4-2/figure3.jpg

Wanpeng, et al. (2014) ศึกษาปริมาณฟลาโวนอยด์ ในเปลือก และเนื้อของส้มโอ โดยใช้ ส้มโอจากท้องถิ่นในประเทศจีน 28 จังหวัด พบว่าฟลาโวนอยด์ที่อยู่ในรูปของ Flavanones (naringin, hesperidin, eriocitrin, neohesperidin, naringenin, hesperetin, narirutin และdidymin) และในรูปของ polymethoxylated flavones (sinensetin, nobiletin and tangeretin) ในงานวิจัยพบว่า ฟลาโวโนนเป็น flavonoids ที่สำคัญในส้มโอ naringin เป็นฟลาโวโนนที่มีปริมาณมากสุดในส้มโอ ตามด้วย neohesperidin และ narirutin ปริมาณ naringin ของส่วนเปลือกมีความเข้มข้นระหว่าง 2186.47 - 9871.69 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และในส่วนเนื้อมีมากถึง 734.61- 4166.19 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งในเปลือกจะพบปริมาณของ ฟลาโวนอยด์มากกว่าในเนื้อ และผลความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระพบว่าในเปลือกมีมากกว่าในเนื้อเช่นกัน Vaniya, et al. (2013) ได้ศึกษาหาการกระจายของปริมาณฟลาโวนอยด์ ได้แก่ hesperidin, naringin, sinensetin, nobiletin และ tangeretin ในเปลือกส่วนที่เป็น albedo และ flavedo ของส้มโอไทย (*Citrus grandis* (L.) Osbeck พันธุ์ขาวน้ำผึ้ง และ *C. grandis* (L.) Osbeck พันธุ์ขาวใหญ่ ปริมาณฟลาโวนอยด์ ขึ้นอยู่กับชนิดของสายพันธุ์โดยในสองสายพันธุ์ของส้มโอที่ทำการทดลองพบปริมาณนารินจิน ซึ่งเป็นสารหลักในเปลือกของส้มโอ ซึ่งในพันธุ์ขาวใหญ่ และขาวน้ำผึ้งมีค่า 10.884 และ 11.875 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตาราง 6) Chaiwong, et al. (2010) รายงานว่าส้มโอ *C. grandis* พันธุ์ทองดีที่เจริญในภูมิภาคต่างๆของประเทศไทยมีปริมาณนา

รินจินอยู่ในช่วง 254-719 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในส่วนของเฮสเปอริดินไม่สามารถตรวจพบได้ในส่วนของเปลือกส้มโอทั้งสองสายพันธุ์ซึ่งสามารถบอกได้ว่าเฮสเปอริดินไม่ได้เป็นสารหลักของของฟลาโวโนน เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Pichaiyongvongdee and Haruenkit. (2009) ที่รายงานว่าในส้มโอสายพันธุ์ไทยหลายๆสายพันธุ์ไม่พบปริมาณของเฮสเปอริดิน

ตาราง 6 ปริมาณของฟลาโวโนนในส้มโอไทย

ชื่อวิทยาศาสตร์	สายพันธุ์	ชนิดตัวอย่าง	ปริมาณนารินจิน (mg/kg)	ปริมาณเฮสเปอร์ริดิน (mg/kg)
Citrus grandis (L.) Osbeck	ขาวใหญ่	เปลือก	10.884 ± 608	ND
Citrus grandis (L.) Osbeck	ขาวน้ำผึ้ง	เปลือก	11.875 ± 955	ND

หมายเหตุ: ND หมายถึง ตรวจไม่พบ

ที่มา: Vaniya, et al., 2013

3. สารต้านอนุมูลอิสระ

การศึกษาหลายๆงานวิจัยแสดงให้เห็นว่าผลของอนุมูลอิสระก่อให้เกิดความเสียหาย และอันตรายต่อร่างกาย อันนำไปสู่ภาวการณ์เกิดโรคบางโรคได้ หรือทำให้เซลล์ผิดปกติ โรคต่างๆที่เกิดจากร่างกายมีปริมาณอนุมูลอิสระสะสมอยู่ในระดับสูง เช่น โรคมะเร็ง โรคหลอดเลือดหัวใจ โรคเกี่ยวกับระบบภูมิคุ้มกันทำงานผิดปกติ โรคข้ออักเสบ โรคแก่ก่อนวัย โรคต้อกระจก โรคอัลไซเมอร์ (Alzheimer) โรคพาร์กินสัน (Pakinson) ฯลฯ ซึ่งสภาวะเหล่านี้สามารถควบคุมได้โดย สารต้านอนุมูลอิสระหรือสารแอนติออกซิเดนท์ เป็นสารที่ทำหน้าที่ป้องกันการเกิดกระบวนการออกซิเดชันซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ (นวลศรี รักอริยธรรม, 2545)

การจำแนกสารต้านอนุมูลอิสระ

สามารถแบ่งสารต้านอนุมูลอิสระตามแหล่งที่อยู่ได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1. Intracellular antioxidant ส่วนใหญ่เป็นกลุ่มของสารต้านอนุมูลอิสระชนิดที่เป็นเอนไซม์พบในปฏิกิริยาภายในร่างกาย เช่น catalase, superoxide dismutase (SOD), glutathione peroxi-

dase (GPX), glutathione reductase (GPX), gluthione tranferase (GSR), glutathione tranferase (GST) เป็นต้น

2. Extracellular antioxidant เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีโมเลกุลขนาดเล็กเมื่อเทียบกับ intracellular antioxidant ได้ แก่ ascorbic acid, uriic acid, bilirubin, vitamin E , beta-carotene ubiqunine (coenzyme Q) , polyphenols, flavonoids, glucosinolates, ส่ วน antioxidant ที่สังเคราะห์ขึ้น ได้แก่ butyrated hydroxytoluene (BHT) และ butyrated hydroxyanisole (BHA) (กฤษณ์ บุญอริยเทพ, 2545)

Pichaiyongvongdee and Haruenkit (2009) ได้ทำการวิเคราะห์การกระจายของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณฟีนอลิคทั้งหมดของส้มโอ 7 สายพันธุ์ โดยทำการวิเคราะห์แยกส่วนได้แก่ เปลือกชั้นนอก เปลือกชั้นใน เนื้อเยื่อ และเมล็ด พบว่าในเมล็ดมีปริมาณฟีนอลิคมากสุดมีค่าอยู่ระหว่างไม่สามารถตรวจพบได้จนถึง 4957.97 ไมโครกรัมต่อกรัมและในเมล็ดมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP มากสุดจากทั้งสี่ส่วนที่ทำการวิเคราะห์โดยมีค่า ร้อยละ 79.97 - 90.92 และ3108.78 - 4957.97 มิลลิกรัมโทล็อกซ์ต่อ 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบโพลีฟีนอล และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH พบว่าค่าที่ได้มีความสัมพันธ์ในเชิงบวก โดยมีค่า r2 =0.702 และเมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบโพลีฟีนอล และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP พบว่า ค่าที่ได้มีความสัมพันธ์ในเชิงบวก โดยมีค่า r2 = 0.659 เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Pansiree, et al. (2013) รายงานว่า total phenolic ของส้มโอมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับ ferric reducing antioxidant power และ Trolox equivalent antioxidant capacity ซึ่งเป็นวิธีวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยมีความสัมพันธ์ที่ (R2 = 0.829;$p < 0.05$) และ (R2 = 0.829; $p < 0.05$) ตามลำดับ

ส้มโอตัดแต่ง

ส้มโอตัดแต่งคือส้มโอที่ผ่านกระบวนการแปรรูปเบื้องต้น เช่น การตัดแต่ง ล้าง ปอกเปลือก จากนั้นนำไปบรรจุในภาชนะปิดสนิท และเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิตู้เย็น เรียกว่า minimally processed fruit หรือ fresh – cut ซึ่งเป็นวิธีการยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้สดตัดแต่งอีกวิธีการหนึ่ง (ธนาวรรณ สุขเกษม, 2552)

ส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคมีอายุการเก็บรักษาค่อนข้างสั้น การเสื่อมเสียของผลไม้ตัดแต่งที่เห็นกันมากได้แก่การเหี่ยวของผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว การสุกเร็ว นิ่ม เละเนื่องจากกระบวนการ

หายใจการคายน้ำ และกระบวนการเปลี่ยนแปลงอื่นๆ และอาจเสื่อมเสียจากสิ่งแวดล้อมตั้งแต่สภาพการเก็บเกี่ยว การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวการขนส่ง การบรรจุ การเก็บรักษาในช่วงสั้นๆก่อนการจำหน่าย เชื้อจุลินทรีย์ และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ (ทนง ภัครัชพันธุ์, 2549)

1. วิธีการยืดอายุการเก็บรักษาของผลไม้ตัดแต่ง

1.1 การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลง (Modified Atmosphere Packaging หรือ MAP)

ปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการเก็บรักษาได้แก่อุณหภูมิ เมื่อทำการลดอุณหภูมิให้กับผลิตผลกระบวนการต่างๆทางสรีรวิทยาจะเกิดขึ้นในอัตราที่ช้าลงทำให้อายุการเก็บรักษานานขึ้น (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549) ดังนั้นการเก็บรักษาผลผลิตทุกชนิดจึงควรเก็บรักษาไว้ในสภาพที่มีอุณหภูมิต่ำที่สุดที่จะไม่เกิดอันตรายหรือก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอื่นๆ (ตาราง 7)

การใช้บรรยากาศดัดแปลงในบรรจุภัณฑ์ หรือ MAP (Modified Atmosphere Packaging) เป็นการบรรจุอาหารในฟิล์มซึ่งมีความสามารถในการซึมผ่านความชื้น ออกซิเจน ไนโตรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ตามที่ต้องการ อากาศจะถูกกำจัดออกจากบรรจุภัณฑ์ และแทนที่ด้วยส่วนผสมของก๊าซที่กำหนด และปิดผนึกด้วยความร้อนการเปลี่ยนแปลงส่วนผสมของอากาศขึ้นอยู่กับ ปัจจัยดังนี้ (ธนาวรรณ สุขเกษม, 2552)

1. อัตราการหายใจของอาหารสด อุณหภูมิในการเก็บรักษา
2. ความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำและก๊าซของบรรจุภัณฑ์
3. ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกซึ่งจะมีผลต่อความสามารถในการซึมผ่านฟิล์มบางชนิด

ประโยชน์ของการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลง

ประโยชน์ของการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงนอกจากจะชะลอกระบวนการทางชีวเคมีภายในผลิตผลทำให้ยืดอายุการเก็บรักษาได้แล้วยังมีประโยชน์ด้านอื่นๆ ดังนี้

1. ทำให้สามารถเก็บเกี่ยวผลิตผลที่มีความบริบูรณ์มากขึ้น
2. ทำให้การเปลี่ยนแปลงต่างๆที่กระตุ้นโดยเอทิลีนเกิดขึ้นได้ช้าลง
3. ลดการเหม็นหืน
4. ลดอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาต่างๆที่เกิดขึ้นได้ระหว่างการเก็บรักษา
5. ลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์
6. ลดการเจริญเติบโตของแมลงที่ติดมากับผลิตผล
7. เพิ่มคุณค่าของผลิตผล

ตาราง 7 อุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสม และอายุการเก็บรักษาของผลไม้บางชนิด

ชนิดผลไม้	อุณหภูมิที่เหมาะสม (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	อายุการเก็บรักษา
กล้วยไข่	13-14	90-95	4-6 สัปดาห์
กล้วยน้ำหว้า	13-14	90-95	4-6 สัปดาห์
เงาะ	13	90-95	2-3 สัปดาห์
ทับทิม	5	90-95	2-3 เดือน
ทุเรียน	15	80-90	2-3 สัปดาห์
ฝรั่งกลมสาลี่	5-10	90-95	2-3 สัปดาห์
แพชชั่น	7-10	85-90	3-5 สัปดาห์
มะนาว	9-10	85-90	6-8 สัปดาห์
มะพร้าวอ่อน	5	85-90	3-4 สัปดาห์
มะม่วงสุก	13	85-90	2-3 สัปดาห์
มังคุด	13	90-95	3-4 สัปดาห์
ลิ้นจี่	1.5	90-95	3-5 สัปดาห์
ลำไย	5	90-95	5-6 สัปดาห์
ส้มเขียวหวาน	4	90-95	2-4 สัปดาห์
ส้มโอ	5	90-95	3-5 เดือน

ที่มา: จริงแท้ ศิริพานิช, 2549

การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การห่อด้วยพลาสติกฟิล์ม การบรรจุในถุงพลาสติก การใช้ไข และสารเคลือบผิว ผลิตผลที่เก็บรักษาในสภาพนี้จะมีการใช้ออกซิเจน และปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาทำให้ออกซิเจนที่มีอยู่ในปริมาณที่จำกัดในภาชนะเหลือน้อยลง และคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากการหายใจเพิ่มมากขึ้นจนสามารถชะลอการหายใจของผลิตผลได้ (Kader, 1993)

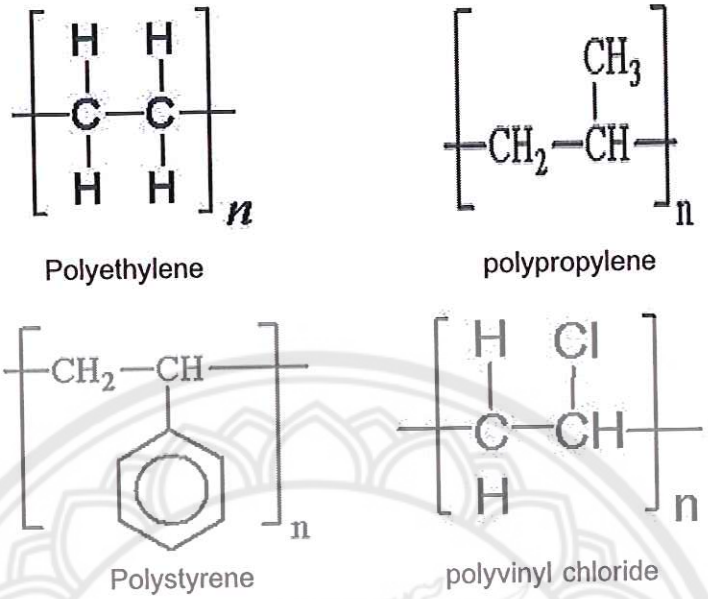
พลาสติกที่ใช้ในการทำภาชนะบรรจุ

ภาชนะบรรจุสำหรับผักและผลไม้มีหลายชนิดตั้งแต่ เข่ง ชะลอมไปจนถึงกล่องโฟม หรือตะกร้าพลาสติกผลผลิตชนิดใดจะเหมาะสมกับภาชนะบรรจุชนิดใด จะขึ้นอยู่กับความต้องการของผลิตผลนั้นๆ

การเลือกใช้ภาชนะบรรจุ

ประเภทของภาชนะบรรจุแบ่งตามรูปร่างลักษณะ เช่น ลัง (bin, crate, lug) กล่อง (box, caton) ตะกร้า (basket) ถาด (tray) ถุง (bag, sack) หรืออาจแบ่งออกเป็นประเภทตามลักษณะการใช้งาน เช่น ภาชนะบรรจุสำหรับใช้ในการแปลงเพื่อลำเลียงผลิตผลมายังโรงคัดบรรจุ ภาชนะบรรจุสำหรับขนส่งหรือค้าส่ง และภาชนะบรรจุสำหรับการค้าปลีกหรือการวางขาย (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549)

พลาสติกมีหลายชนิด มีทั้งที่ทำจากผลิตผลทางการเกษตร ปิโตรเลียม ถ่านหิน และสินแร่ พลาสติกที่ใช้ในการบรรจุหีบห่อผักและผลไม้ส่วนใหญ่ได้แก่ polyethylene, polypropylene, polystyrene และ polyvinyl chloride ซึ่งมีสูตรโครงสร้างแสดงในภาพที่ 2 พลาสติกเหล่านี้เมื่อทำเป็นภาชนะบรรจุสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ ภาชนะแบบแข็ง และแบบอ่อน ภาชนะแบบอ่อนได้แก่ กระสอบ ถุง และฟิล์ม ฟิล์มพลาสติกที่ใช้ในการบรรจุหีบห่อผักและผลไม้ สำหรับการขายปลีก มีทั้งที่ทำจาก LDPE, HDPE, PVC และ PVDC แต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่ต่างกันการเลือกใช้ควรคำนึงถึงสิ่งต่อไปนี้คือ การหดตัว การยืดตัว การปิดผนึก การยอมให้อากาศ และน้ำผ่าน ความใส ความมันเงา และความง่ายในการพิมพ์ข้อความเป็นต้น (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549)



ภาพ 2 สูตรโครงสร้างเคมีของพลาสติกบางชนิด

ที่มา: จริงแท้ ศิริพานิช, 2549

คุณสมบัติของฟิล์มห่อหุ้ม

โพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride, PVC)

พลาสติกชนิดนี้รู้จักแนะนำมาใช้เมื่อประมาณร้อยปีมาแล้ว ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมในประเทศเยอรมันเมื่อปี ค.ศ. 1925 มีคุณสมบัติทนต่อสารเคมี ทำความสะอาดง่ายไม่เกาะติดสิ่งสกปรก ไวนิลทุกชนิดเหนียวทนทานมีทั้ง ชนิดอ่อน แข็ง และโฟมทนกรดต่างๆได้บ้าง คุณสมบัติกันการซึมผ่านของก๊าซ และไอน้ำได้ดี

Suzana and Maria (2003) ศึกษาผลของฟิล์มจากมันเทศต่ออายุการเก็บรักษา และคุณภาพของสตรอเบอรี่สด เทียบกับ Polyvinyl Chloride (PVC) ฟิล์ม โดยทำการเก็บรักษาสตรอเบอรี่ที่ 4 องศาเซลเซียส และ 85 % RH พบว่า PVC สามารถลดการสลายตัวของผลไม้ได้ และในระยะเวลา 7 วันพบว่า PVC ฟิล์มแสดงให้เห็นว่าชะลอการลดลงของน้ำหนัก และป้องกันการสูญเสียลักษณะทางประสาทสัมผัสคือความแน่นเนื้อของสตรอเบอรี่ตัดแต่งได้ และในทางจุลชีววิทยาหรือปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ และการเก็บรักษาสามารถควบคุมการเก็บรักษาได้ถึง 14 วัน

Sonia, et al. (2007) ศึกษาผลของ PVC ฟิล์ม และสารเคลือบจากแป้งต่อคุณภาพของกะหล่ำปลีที่เก็บในอุณหภูมิแช่เย็น โดยสารเคลือบที่ใช้คือ glycerol, sorbitol และglycerol บวกกันน้ำมันดอกทานตะวัน เก็บรักษาทุกๆ ตัวอย่างไว้ที่ 0 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 42 วัน และสุ่มตัวอย่าง

ทุกๆ14 วันเพื่อทดสอบ การยอมรับ การสูญเสียน้ำหนัก สี และเนื้อสัมผัส ซึ่งผลการวิจัยพบว่าช่วง 14 วันแรกกะหล่ำปลียังคงคุณภาพที่ดีแต่ในตอนท้ายของการเก็บรักษาพบว่าเกิดสีน้ำตาลบริเวณส่วนที่ถูกตัดน้ำหนัก และความแน่นเนื้อลดลง และพบว่าในตัวอย่างที่บรรจุใน PVC ฟิล์มจะชะลอการสูญเสียดังกล่าวโดยเฉพาะในตัวอย่างที่บรรจุในฟิล์ม PVC และเคลือบโดย glycerol ซึ่งในงานวิจัยนี้สามารถแสดงให้เห็นว่า PVC ฟิล์มมีประสิทธิภาพเพียงพอในการเก็บรักษากะหล่ำปลีในระยะเวลานาน

Ahmed (2006) ศึกษาดูวิธีการยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้สดตัดแต่งให้มีระยะเวลานาน โดยมีการใช้วิธีการหลายๆ วิธีร่วมกันระหว่างการใช้ฟิล์มบรรจุภัณฑ์โดยเฉพาะรวมกับการทำความสะอาดด้วยสารเคมี และการดัดแปลงบรรยากาศสามารถยืดอายุการเก็บรักษาของผักผลไม้หลายชนิดได้เป็นเวลานานขึ้นมีผลทำให้ผู้บริโภคยอมรับผักและผลไม้สดตัดแต่งที่ผ่านกระบวนการดังกล่าว การใช้ฟิล์มลักษณะเฉพาะร่วมกับภาชนะ บรรจุภัณฑ์แบบสภาพดัดแปลงบรรยากาศ (Modified Atmosphere Packaging, MAP) และการทำความสะอาดด้วยสารเคมีจะช่วยปรับปรุงการยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ได้ ภาชนะบรรจุแบบบรรยากาศดัดแปลงเป็นวิธีที่มีความสมดุลระหว่างก๊าซออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุ ซึ่งจะช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้สดตัดแต่งมีอัตราการหายใจลดลง และยังคงความสดของผลิตภัณฑ์ในระหว่างที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน เช่น ผักกาดหอมใช้ฟิล์มสำหรับเป็นภาชนะบรรจุที่มีอัตราการไหลผ่านออกซิเจนต่ำมาก จะเป็นสาเหตุทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเน่าเสียง่าย ดังนั้นจึงมีการใช้วิธีการต่างๆร่วมกันเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้สดตัดแต่งให้นานขึ้น

ธนาวรรณ สุขเกษม (2552) ศึกษาวิธีการยืดอายุการเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งโดยใช้ฟิล์มห่อหุ้ม และสารเคลือบผิวซึ่งงานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อทำการศึกษาวิธีการเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งโดยใช้ฟิล์มห่อหุ้ม และสารเคลือบผิวบริโภคได้ชนิดต่างๆ ที่เหมาะสมต่อการยืดอายุการเก็บรักษาของส้มโอตัดแต่ง 2 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ท่าข่อย และพันธุ์ขาวแตงกวา และทำการบรรจุแบบดัดแปลงสภาพบรรยากาศโดยใช้ฟิล์ม 2 ชนิด ได้แก่ ฟิล์ม polyethylene (PE) และฟิล์ม Polyvinylchloride (PVC) และสารเคลือบผิวชนิดบริโภคได้ 3 ชนิด ได้แก่ 1.0% Carboxy Methyl Cellulose (CMC), 0.5% Chitosan และ 1.0% Algenate เก็บตัวอย่างที่ 5 องศาเซลเซียส 15 องศาเซลเซียส และ 37 องศาเซลเซียส ผลการศึกษาพบว่าส้มโอตัดแต่งพันธุ์ท่าข่อย และพันธุ์ขาวแตงกวาที่ห่อหุ้มด้วยฟิล์ม PVC และเคลือบผิวด้วย 1.0% CMC และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสในวันที่ 9 ของการเก็บรักษามีปริมาณวิตามินซีคงเหลือ ปริมาณกรดฟลีนอลิค และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในปริมาณที่สูงกว่าวิธีอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คือ 61.68 mg/g , 250.23 mg/L และ 66.71% ตามลำดับของ

ส้มโอตัดแต่งพันธุ์ท่าข่อย สำหรับส้มโอตัดแต่งพันธุ์ขาวแตงกวา มี 66.89 mg/g , 298.22 mg/L และ 68.05% ตามลำดับ

Isabel, et al. (2008) ศึกษาผลของminimal processing ต่อสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ สารประกอบฟีนอลทั้งหมด วิตามินซี และไลโคปีนของมะเขือเทศตัดแต่งหลากหลายสายพันธุ์ (Rambo, Durinta, Bodar, Pitenza, Cencara และ Bula) เก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิตู้เย็น งานวิจัยนี้พบว่ากระบวนการ minimally processing และการเก็บรักษาในบรรยากาศดัดแปลง (5% O_2+5% CO_2) พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอล และวิตามินซี ของมะเขือเทศทั้ง 6 สายพันธุ์มีค่าระหว่าง 187.4-335 mg/kg และ 69.6-212.3 mg/kg ตามลำดับ เปรียบเทียบผลของสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด วิตามินซี และไลโคปีนของมะเขือเทศที่ผ่านกระบวนการพบว่าปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพดังกล่าวมีค่าไม่แตกต่างกันเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านกระบวนการ minimally processing ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวชี้ให้เห็นว่ากระบวนการ minimally processing ร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ หรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยซึ่งไม่แสดงความแตกต่างทางสถิติ

Zisheng, et al. (2015) ประเมินผลของ nano-CaCO3-base low density polyethylene (LDPE) packaging ต่อลักษณะทางกายภาพ และ biochemical ของเผือกตัดแต่งโดยทำการเก็บรักษาที่ 10 องศาเซลเซียสพบว่าบรรจุภัณฑ์แบบ nano -CaCO3 –LDPE ที่บรรจุเผือกตัดแต่งมีผลในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ Phenylalanine ammonia-lyase (PAL), Polyphenol Oxidase (PPO) และ Peroxidase (POD) บรรจุภัณฑ์ดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการชะลอการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ยับยั้งการผลิต ethylene และการผลิต malondialdehyde อีกทั้งยังช่วยลดการสลายของค่ากรด และวิตามินซี ดังนั้น nano-CaCO3-LDPE packaging มีประโยชน์ในการยืดอายุการเก็บรักษาของเผือกตัดแต่ง อีกทั้งยังปรับปรุงคุณภาพของผักและผลไม้ตัดแต่งได้

Pushkala, et al. (2012) ศึกษาการเคลือบแครอท (ชิ้นน้อย) ด้วยผงไคโตซานร่วมกับการเก็บในถุง macro perforated LDPE pack ในการยืดอายุการเก็บรักษา งานวิจัยนี้พบว่าการใช้ไคโตซานเคลือบ และ pretreatment ด้วย citric acid มีประโยชน์ในการลดลการสูญเสียน้ำหนัก และส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางกายภาพ (pH , ค่ากรด , ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด) เพียงเล็กน้อย ปริมาณฟีนอลิคทั้งหมดของตัวอย่างที่เคลือบไคโตซานจะมีปริมาณมากกว่าตัวอย่างควบคุมคือตัวอย่างที่ไม่เคลือบไคโตซาน โดยปริมาณ ฟีนอลิคทั้งหมด อยู่ระหว่าง 1.8-32 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และเมื่อเก็บเป็นเวลานานถึง 10 วันพบว่าปริมาณฟีนอลิคเพิ่มขึ้น ซึ่งชี้ให้เห็นว่า ไตโตซานมีสมบัติ

เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างที่ treated ด้วยกรดซิตริก กับไม่ treated พบว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการแช่ในกรดซิตริกก่อนที่จะเคลือบไคโตซานมีปริมาณวิตามินซี มากกว่า

Lucera, et al. (2011) ศึกษาอิทธิพลของคุณสมบัติ mass transport ของ packaging film ที่มีผลต่อดอกย่อยของบล็อคโคลี่สดตัดแต่ง โดยตัวอย่างควบคุมใช้ polyvinyl chloride, PVC หนา12 ไมโครเมตร ฟิล์มที่ทดสอบคือ oriented-polypropylene ที่ความหนา 3 ระดับคือ 20, 40 และ 80 และฟิล์มที่เป็น micro-perforated ในการทดสอบพบว่า micro-perforated film มีประสิทธิภาพการลดการสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่างได้มากกว่าตัวอย่างควบคุม เนื่องจาก micro –perforated film มีค่าการซึมผ่านของไอน้ำน้อยกว่าตัวอย่าง no –perforated และสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ดีกว่าเช่นกัน โดยยืดอายุการเก็บรักษาได้สูงสุดถึงร้อยละ 50 เมื่อเทียบกับดอกย่อยของบล็อคโคลี่สดตัดแต่งทั้งหมด ดังนั้นงานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าคุณสมบัติ mass transport ของบรรจุภัณฑ์มีอิทธิพลอย่างมากต่อความเข้มข้นของก๊าซเหนือช่องว่างผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีผลต่ออัตราการหายใจของผลิตภัณฑ์ และอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์

กระบวนการพาสเจอไรซ์น้ำผลไม้

น้ำผลไม้สามารถแบ่งเป็น 5 ประเภทได้แก่น้ำผลไม้แท้ (fruit juice) น้ำผลไม้ดัดแปรหรือน้ำผลไม้กึ่งแท้ (modified fruit juice) น้ำผลไม้ผสมเนื้อผลไม้ (Fruit puree) น้ำผลไม้ผงสำเร็จรูป และน้ำผลไม้เทียม ซึ่งในงานวิจัยนี้ทำการศึกษากระบวนการผลิตน้ำผลไม้พร้อมดื่ม จัดอยู่ในกลุ่มของน้ำผลไม้แท้ หมายถึงน้ำผลไม้ที่ไม่มีการเติมน้ำลงไปอาจจะเติมน้ำตาลหรือกรดเพื่อปรับองค์ประกอบให้เหมือนน้ำผลไม้ตามธรรมชาติ น้ำผลไม้จะมีทั้งใส และขุ่นขึ้นอยู่กับธรรมชาติของผลไม้ที่เป็นวัตถุดิบ (ประสิทธิ์ อติวีระกุล, 2527)

กรรมวิธีการผลิตน้ำผลไม้พร้อมดื่ม

หลักในการผลิตน้ำผลไม้คือการแยกส่วนของของเหลวในผลไม้ พร้อมกับสารประกอบที่ให้กลิ่น รส รวมทั้งสารอาหารที่ละลายได้ในของเหลวออกมาเช่น น้ำตาล กรด เกลือแร่ และวิตามินต่างๆ ขั้นตอนการผลิตที่สำคัญๆ ได้แก่

1. การสกัดน้ำผลไม้ (Juice extraction) วิธีการสกัดน้ำผลไม้มีสองวิธีคือ วิธีการสกัดทางกลและทางชีวภาพ

2. การทำให้น้ำผลไม้ใส (Clarification) การทำให้น้ำผลไม้ใสมีหลายวิธีได้แก่ การใช้ความร้อน โดยการให้ความร้อนจะทำให้สารแขวนลอยตกตะกอนมีผลทำให้กรองง่ายขึ้นนอกจากนี้ความร้อนจากการพาสเจอร์ไรส์ยังมีผลทำให้น้ำผลไม้ใสขึ้นเช่นกัน (ประสิทธิ์ อติวีระกุล, 2527) การใช้สารตกตะกอน จำพวก เจลาตินหรือ เบนโทไนซ์ การใช้การเหวี่ยง การใช้เอนไซม์ และการกรอง

3. กระบวนการทำให้น้ำผลไม้มีความคงตัวซึ่งจะไม่ทำให้เกิดการแยกชั้นระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาสารที่ทำให้เกิดความคงตัวได้แก่ เพคติน กัม และคาร์บอกซิลเมทิลเซลลูโลส

4. การปรับปรุงคุณภาพด้านรสชาติของน้ำผลไม้พร้อมดื่ม องค์ประกอบทางเคมีของน้ำผลไม้ที่มีผลต่อรสชาติได้แก่ ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดโดยทั่วไปน้ำผลไม้ควรมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดประมาณ 12-14 ^{0}Brix (Mill, et al., 1992) กรด รสเปรี้ยวเป็นรสธรรมชาติของน้ำผลไม้ กรดที่นิยมใช้ในน้ำผลไม้ คือ กรดซิตริก กรดมาลิค กรดแอสคอร์บิก กรดทาร์ทาริก (Wilson, 1980)

5. การถนอมรักษาน้ำผลไม้เนื่องจากน้ำผลไม้อยู่ในกลุ่มอาหารประเภทกรด (acid food) ซึ่งมีค่า pH อยู่ระหว่าง 3.7-4.5 ดังนั้นสามารถฆ่าเชื้อจุลลินทรีย์โดยใช้กระบวนการพาสเจอร์ไรซ์

การพลาสเจอไรซ์ (Pasteurization)

การพลาสเจอไรซ์เป็นกระบวนการที่ให้ความร้อนไม่รุนแรงนักที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส เพื่อยืดอายุของผลิตภัณฑ์อาหารให้นานหลายวัน เช่น นม หรือนานหลายวัน เช่น น้ำผลไม้บรรจุขวด วิธีนี้สามารถใช้ในการถนอมอาหารได้โดยการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ และทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความทนทานต่อความร้อนต่ำ เช่น แบคทีเรียที่ไม่สร้างสปอร์ ยีสต์ และรา และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านประสาทสัมผัส และคุณค่าของอาหารน้อยที่สุด การพาสเจอไรซ์ไม่ใช่การฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดที่มีในอาหารดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อแบบพลาสเจอไรซ์จึงจำเป็นต้องเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 4-10 องศาเซลเซียส (วิไล รังสาดทอง, 2546)

การผลิตน้ำผลไม้ที่เป็นน้ำผลไม้พร้อมดื่มจะเห็นว่ามีการใช้ความร้อนในกระบวนการผลิตเป็นที่รู้ดีว่าการใช้ความร้อนจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบที่สำคัญในผลิตภัณฑ์ เช่น วิตามินซี ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลิค และสารอื่นๆ การให้ความร้อนจะทำให้สารพวกฟีนอลิคในน้ำส้มเพิ่มขึ้น ขณะที่วิตามินซีลดลง (Sadlers, et al., 1992)

สภาวะในการให้ความร้อนและวัตถุประสงค์ของการพลาสเจอไรซ์ของอาหารชนิดต่างๆจะแตกต่างกันดังแสดงใน (ตาราง 8)

ตาราง 8 วัตถุประสงค์และสภาวะในการให้ความร้อนของการพลาสเจอไรซ์อาหารชนิดต่าง ๆ

อาหาร	วัตถุประสงหลัก	วัตถุประสงค์รอง	สภาวะในการให้ความร้อน
pH < 4.5			65 °C 30 นาที
น้ำผลไม้	ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เช่น pectin – esteraseและ polygalacturonase	ทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย เช่น ยีสต์ รา	77 °C 1 นาที หรือ 88 °C 15 นาที
เบียร์	ทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเนาเสีย เช่น ยีสต์ป่า Lactobacillus species และยีสต์ที่หลงเหลืออยู่ เช่น Saccharomyces species	-	65-68 °C 20 นาที (บรรจุขวด) 72-75 °C 1-4 นาที ที่ 900-1,000 kPa
pH > 4.5			
นม	ทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคเช่น Brucella abortis, Mycobacterium tuberculosis,Coxiella burnettii	ทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสีย และทำลายเอนไซม์	63 oC 30 นาที หรือ 71.5 oC 15 วินาที
ไข่	ทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค เช่น Salmonella seftenburg	ทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสีย	64.4 oC 2.5 นาที หรือ 60 oC 3.5 นาที

ที่มา: วิไล รังสาดทอง, 2546

Predo, et al. (2013) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์ สี สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของน้ำทับทิมพาสเจอไรซ์ ที่การพาสเจอไรซ์ 3 ระดับ ได้แก่ Low temperature pasteurization (LTP) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระดับ Medium temperature pasteurization (MTP) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสและระดับ High temperature pasteurization (HTP) ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส และที่เวลา 30 และ 60 วินาที จากการศึกษาพบว่า ที่ระดับ HTP สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ทั้งหมด และเมื่ออุณหภูมิการฆ่าเชื้อเพิ่มขึ้นทำให้ค่าสี a* ซึ่งเป็นสีแดงเพิ่มขึ้นโดยสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของแอนโทไซยานิน และจากการศึกษายังพบว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทำให้กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น

Karina, et al. (2013) ศึกษาผลของเวลา และอุณหภูมิในการทำให้ใสในน้ำองุ่นที่มีผลต่อปริมาณฟีนอลิคทั้งหมด และ ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระที่มาของการศึกษาเนื่องจากพบว่าน้ำผลไม้จะมีปริมาณฟีนอลิคทั้งหมด และแอนโทไซยานิน และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระต่ำ เมื่อเทียบกับสารสกัดที่ได้จากผิวของผลไม้ในระหว่างกระบวนการน้ำผลไม้เริ่มต้น ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการสลายที่สำคัญ คือ อุณหภูมิ การศึกษานี้ทำการทดลองที่อุณหภูมิ ระหว่าง 50-80 องศาเซลเซียส และที่เวลาการทำให้ใสที่ 1-30 นาที ปริมาณฟีนอลิคทั้งหมด ที่วิเคราะห์โดยวิธี Folin & ciocalteu's phenol reagent และวัดกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี Hydrophilic oxygen radical absorbance capacity ($H\text{-}ORAC_{FL}$) assay พบว่าน้ำองุ่นที่ผ่านกระบวนการทำให้ใสโดยใช้เวลา และอุณหภูมิต่างกันมีปริมาณฟีนอลิคทั้งหมดไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาทีมีค่า $H\text{-}ORAC_{FL}$ หรือกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ ดังนั้นอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสที่เวลา 30 นาที เหมาะสมสำหรับกระบวนการทำให้ใสของน้ำองุ่นเพื่อที่จะรักษากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุด

Marve, et al. (2014) ศึกษาผลของกระบวนการผลิตน้ำมัลเบอรี่ต่อการต้านอนุมูลอิสระจากการศึกษาพบว่าปริมาณฟีนอลิคทั้งหมด (total phenolic content ,TPC) และปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (total flavonoid content, TFC) ในขั้นตอนของการบดผลไม้ มีค่า TPC และ TFC ลดลงร้อยละ 24.9 และ 40.7 ตามลำดับ และเมื่อผ่านกระบวนการผลิตไปจนกระทั่งได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ผ่านกระบวนการ พาสเจอไรส์ที่ 107 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 นาที ปริมาณของ TPC และ TFC มีค่าเพิ่มขึ้นโดยค่า TPC มีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 39.5 ซึ่งปริมาณของ TPC ในผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีค่าเท่ากับ 1919 mgGAE/100g DW ส่วน TFC เพิ่มขึ้นร้อยละ 16.0 ปริมาณ TFC ในผลิตภัณฑ์สุดท้ายคือ 1709 mgRE/100g ผลของกระบวนการผลิตที่มีผลต่อผลรวมของกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ TAC ที่ประเมินจาก 4 วิธีวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ คือ ABTS (2,2-azinobis 3 ethylbenzothia-

zoline-6 sulfonic acid diammonium salt) ,FRAP (ferric reducing antioxidant power) , CU-PRAC (copper reducing antioxidant capacity) และ DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) พบว่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระจากผลสดจนถึงผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน

Aporn, et al. (2013) ศึกษาคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาน้ำสับปะรด ที่ผ่านกระบวนการพาสเจอไรซ์ และการทำให้ใสโดยไม่ใช้ความร้อนแต่ใช้กระบวนการ microfiltration พบว่าผลของการเก็บรักษาที่ 4, 27 และ 37 องศาเซลเซียสในการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน พบว่าน้ำสับปะรดที่ผ่านการกรองแบบ microfiltration ไม่มีการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ภายในระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน ส่วนคุณสมบัติทางพฤกษเคมี เช่น ปริมาณฟีนอลิคทั้งหมด ปริมาณวิตามินซี และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ จะลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษา และอุณหภูมิการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะวิตามินซีจะมีความไวในการสลายตัว เมื่อเวลา และอุณหภูมิการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นมากที่สุด แต่ระยะเวลา และอุณหภูมิการเก็บรักษา ไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และค่าความเป็นกรดด่าง และเมื่อทำการเปรียบเทียบคุณภาพของน้ำสับปะรดจากการเปลี่ยนแปลงของปริมาณวิตามินซี ปริมาณฟีนอลิคทั้งหมด และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ พบว่าที่อุณหภูมิการเก็บรักษา ที่ 4 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมมากที่สุดสำหรับการป้องกันการเน่าเสีย และป้องกันการเปลี่ยนแปลงของสารพฤกษเคมีมากที่สุด

Terefe, et al. (2013) ทำการเปรียบเทียบกระบวนการให้ความร้อน และhigh pressure ต่อphenolic phytochemical ในสตรอเบอรี่สายพันธุ์ต่างกัน การทดลองพบว่าทั้งกระบวนการ high pressure และการพาสเจอไรซ์โดยการให้ความร้อนทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณแอนโทไซยานินลดลงในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งกระบวนการ high pressure ไม่ได้แสดงผลว่าสามารถเก็บรักษาสารพฤกษเคมีได้ดีกว่ากระบวนการพาสเจอไรซ์โดยการให้ความร้อน ซึ่งชี้ให้เห็นว่า HPP อาจจะไม่ให้ผลที่ดีกว่าเสมอไปเมื่อเปรียบเทียบกับการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม

กระบวนการผลิตน้ำผลไม้ผง

หลักการพื้นฐานของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer)

เมื่อของเหลวถูกฉีดเป็นละอองฝอย ให้สัมผัสกับอากาศร้อนภายในห้องอบแห้งให้น้ำในอาหารระเหยไปอย่างรวดเร็ว เพราะละอองฝอยมีพื้นที่ผิวมากจากนั้นผงแห้งจะตกลงมาและถูกแยกออกจากลมร้อนเพื่อนำไปบรรจุต่อไปโดยกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยประกอบด้วย 4 ขั้นตอนดังนี้ (จินตนา ศรีผุย, 2537)

1. การทำให้ของเหลวมีอนุภาคเล็กหรือละอองฝอย (Atomization stage) เป็นขั้นตอนสำคัญต่อการใช้งาน ประการแรกเป็นตัวทำให้เกิดพื้นที่ผิวในการระเหยซึ่งถ้ามีพื้นที่ผิวสูงก็จะสามารถ

ระเหยน้ำออกจากอาหารได้เร็ว ประการที่สองเป็นตัวทำให้เกิดอนุภาคเล็กๆ ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพเฉพาะทั้งขนาด รูปร่าง และความหนาแน่นเนื่องจากของเหลวมีลักษณะเล็กลงซึ่งจะเพิ่มพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อนได้มากทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นหัวฉีด(Atomizer) ในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยจึงเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญ ถ้าหัวฉีดทำงานได้ดีสามารถทำให้ของเหลวที่ต้องการอบแห้งแตกตัวเป็นละอองเล็กๆได้มาก พื้นที่ผิวที่สัมผัสอากาศร้อนก็เพิ่มมากขึ้นจะเป็นผลทำให้การอบแห้งทำได้อย่างรวดเร็วและได้ผลิตภัณฑ์คุณภาพดี หัวฉีดที่ใช้กับเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยแบ่งเป็น 3 ชนิด คือหัวฉีดแบบหมุนของเหลวที่เหมาะสำหรับหัวฉีดแบบหมุนคือของเหลวที่เป็นเนื้อเดียวกันหรือไม่เป็นเนื้อเดียวกันก็ได้ หัวฉีดแบบแรงดันเป็นหัวฉีดที่ใช้สำหรับการอบแห้งที่มีกำลังการผลิตมากๆ เหมาะสำหรับของเหลวที่มีความหนืดสูง หัวฉีดแบบฉีดสองหัวพร้อมกันนิยมใช้กับการอบแห้งที่ต้องการอัตราการอบแห้งต่ำ ทั้งนี้การใช้งานขึ้นอยู่กับหลายๆปัจจัย แต่โดยทั่วไปแล้วหัวฉีดแบบหมุนจะมีความยืดหยุ่นของการใช้งานได้มากกว่าแบบอื่นๆ เพราะสามารถใช้กับของเหลวที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน และที่มีความหนืดสูงได้การอุดตันที่จะเกิดขึ้นกับชนิดนี้มีน้อยกว่า

2. การสัมผัสระหว่างละอองอาหารกับอากาศร้อน ในขั้นตอนนี้อนุภาคของอาหารจะสัมผัสกับอากาศร้อนหรือตัวกลางที่จะให้ความร้อนกับอนุภาคอาหารเหลวเพื่อให้น้ำในอาหารเหลวรับความร้อนจากอากาศร้อนมาทำให้เกิดการระเหยน้ำออก การกำหนดทิศทางของการเคลื่อนที่ของอากาศร้อนเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึง ถ้าทิศทางการไหลของอากาศเหมาะสมก็จะทำให้การถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นได้เร็ว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการอบแห้ง สารที่ต้องการอบแห้งคุณภาพและลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ การสัมผัสระหว่างอาหารกับอากาศร้อนแบ่งได้ 3 แบบ คือ การไหลไปในทิศทางเดียวกัน เหมาะสำหรับสารละลายอาหารที่ไม่ต้องการความร้อน การไหลสวนทางกันเหมาะสำหรับอาหารที่ทนความร้อนสูงและต้องการความร้อนเพื่อให้ได้ลักษณะหรือคุณภาพบางอย่างที่ต้องการและการไหลแบบผสมกัน

อากาศร้อนที่ใช้ในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยนี้ ได้จากความร้อน 2 แบบคือ แบบให้ความร้อนโดยตรง และแบบให้ความร้อนโดยอ้อม แบบแรกเป็นการเผาไหม้โดยเชื้อเพลิงให้อากาศร้อนแล้วนำไปใช้โดยตรงหรือได้จากขดลวดไฟฟ้าให้ความร้อนกับอากาศ ข้อดีของการให้ความร้อนแบบนี้คือมีการสูญเสียความร้อนน้อย ส่วนแบบทำความร้อนโดยทางอ้อมได้จากการให้อากาศไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้จากไอน้ำซึ่งจะมีการสูญเสียความร้อนมาก

3. ช่วงการระเหย (Evaporation stage) การระเหยของน้ำออกจากอนุภาคอาหารที่ถูกพ่นฝอยเกิดขึ้นจากมีการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลสาร การอบแห้งวิธีนี้จะแตกต่างจากการอบแห้งวิธีอื่นคือ การระเหยของน้ำจะเกิดขึ้นในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant-rate period) เป็น

ส่วนมากเนื่องจากมีความชื้นสูงมากและเกิดในทำนองเดียวกันกับการระเหยน้ำของหยดน้ำบริสุทธิ์ กระบวนการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลเกิดขึ้นดังนี้ คือ อันดับแรกอนุภาคถูกทำให้ร้อนขึ้นหรืออุณหภูมิสูงขึ้นจากการนำความร้อน และการพาความร้อนที่เกิดขึ้นที่ผิวอนุภาคแล้วเปลี่ยนอยู่ในรูปของความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ จากนั้นส่วนของไอน้ำจะถูกถ่ายเทมวลให้อากาศร้อนโดยการแพร่ และโดยการพาออกไปจากผิวหน้าของอนุภาคไปกับความร้อน อัตราการระเหยน้ำจะขึ้นกับปัจจัยหลายประการได้แก่ อุณหภูมิของอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ หรือความดันไอ และคุณสมบัติการถ่ายเทของอากาศ ขนาดอนุภาค อุณหภูมิของอนุภาค ความเร็วลมของอากาศร้อน ตลอดจนคุณลักษณะหรือองค์ประกอบของส่วนประกอบที่เป็นของแข็งในอนุภาค

4. การแยกอาหารผงจากระบบทำแห้ง (Dry product recovery) หลังจากอาหารผงตกลงสู่พื้นล่างของภาชนะทำแห้ง อนุภาคจะมีน้ำหนักเบาและจะถูกดูดออกไปโดยแรงจากพัดลมส่งออกมาตามท่อลมออก ผงอาหารแห้งนี้สามารถแยกออกจากอากาศร้อนด้วยระบบไซโคลนซึ่งสามารถแยกเอาอากาศกับอนุภาคของแข็งออกจากกันได้ โดยอาศัยแรงเหวี่ยงและการถ่ายเทโมเมนตัม ข้อดีของวีนี้คือมีการสูญเสียผลิตภัณฑ์น้อย การปนเปื้อนจากอากาศภายนอกมีน้อยสามารถใช้ได้ดีทุกๆ อุณหภูมิ ต้นทุนการดูแลรักษาไม่ยาก

ปัจจัยที่มีผลต่อผงน้ำผลไม้ที่ผลิตจากเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

เนื่องจากการอบแห้งแบบพ่นฝอย มีตัวแปรที่สามารถเลือกสภาวะการใช้งานได้หลายค่าทำให้ผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งมีคุณภาพแตกต่างกันไป เพื่อให้ได้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ตรงตามต้องการต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ดังลายละเอียดที่จะกล่าวต่อจากนี้ (จินตนา ศรีผุย, 2537)

การทำให้เกิดอนุภาค (Atomization) การเพิ่มพลังงานในการทำให้เกิดอนุภาคฝอยจะทำให้ได้อนุภาคที่มีขนาดเล็กลงเมื่ออัตราการป้อนคงที่ กล่าวคือเพิ่มความเร็วรอบของหัวฉีดหรือเพิ่มความดัน หรืออัตราส่วนการไหลระหว่างอากาศกับของเหลวในหัวฉีด และถ้าผลิตภัณฑ์มีขนาดเล็กมากๆ ก็จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาแน่นสูงเนื่องจากอนุภาคที่มีขนาดเล็กทำให้เกิดช่องว่างได้น้อยกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ ดังนั้นจึงมีความหนาแน่นสูงกว่า Chegini and Ghobadian (2005) พบว่า ผงน้ำส้มมีค่าความชื้นลดลงเมื่อเพิ่มความเร็วของ Atomizer จาก 10,000-25,000 รอบต่อนาที การเพิ่มความเร็ว Atomizer ทำให้ขนาดอนุภาคเล็กลง และลดความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ (Greenwald and King, 1981)

คุณสมบัติของตัวอย่าง ในสภาวะการทำงานของหัวฉีดคงที่ถ้าเพิ่มปริมาณของแข็งของตัวอย่างมีผลต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณของแข็งในอนุภาคที่พ่นฝอยใน

ขณะที่น้ำที่ระเหยออกไปมีอัตราการระเหยคงเดิม ดังนั้นอัตราส่วนความชื้นต่อของแข็งที่เหลืออยู่ในอนุภาคจะน้อยกว่ากรณีที่มีปริมาณของแข็งของตัวอย่างต่ำ ผลที่ได้คือได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นต่ำ ปริมาณของแข็งที่ป้อนต้องเลือกให้มีปริมาณสูงสุดแต่ถ้ามากเกินไปก็อาจจะไม่สามารถพ่นฝอยได้ หรือไม่สามารถดูดผ่านเครื่องปั๊มดูดของเหลวได้ ซึ่งจะทำให้เกิดการเกาะติดที่ผนังห้องอบแห้งและคุณภาพของผลิตภัณฑ์เกิดการเสื่อมสลาย ส่วนการเพิ่มอุณหภูมิของตัวอย่างที่ป้อนจะช่วยลดปริมาณความร้อน ที่ใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์

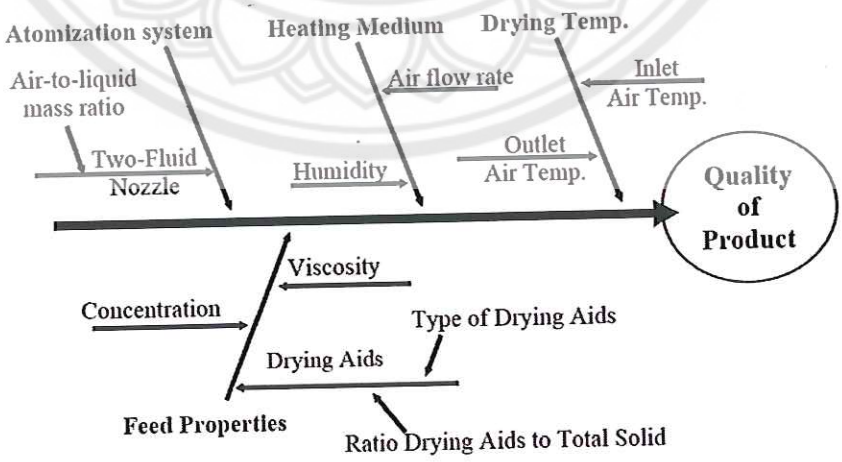
อัตราการฟีด การเพิ่มอัตราการฟีดในขณะที่สภาวะหัวฉีดคงที่ มีผลทำให้อนุภาคที่พ่นฝอยมีขนาดใหญ่เพิ่มขึ้นดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้มีขนาดอนุภาคใหญ่เพิ่มขึ้นและทำให้ความหนาแน่นผลิตภัณฑ์ต่ำ ในขณะเดียวกันการเพิ่มอัตราการฟีดในขณะที่อัตราการไหลของอากาศร้อนขาเข้า และปริมาณความร้อนที่ให้ระบบคงที่ มีผลทำให้ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณน้ำที่ต้องการระเหยออกจากตัวอย่างเพิ่มขึ้นในขณะที่ระบบสามารถระเหยน้ำได้คงเดิม

ชนิดของหัวฉีด ที่เลือกใช้งานระหว่างหัวฉีดชนิด Rotary และ Nozzle ที่แตกต่างกันซึ่งมีความสามารถพ่นฝอยได้อนุภาคที่มีขนาดแตกต่างกัน ขึ้นกับการออกแบบและลักษณะเฉพาะของเครื่อง ดังนั้นการเลือกใช้งานขึ้นอยู่กับว่าต้องการผลิตภัณฑ์ลักษณะเช่นใด

การไหลของอากาศ การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของอากาศมีผลกระทบต่อเวลาที่อยู่ในห้องอบแห้งของอนุภาคหรือเวลาที่ใช้ในการอบแห้งโดยตรง ถ้าลดอัตราการไหลของอากาศทำให้เวลาที่อยู่ในห้องอบแห้งนานขึ้น และทำให้มีปริมาณน้ำที่ระเหยได้สูงขึ้น นอกจากนี้อัตราการไหลของอากาศต่ำ ช่วยให้การแยกผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งมีประสิทธิภาพดีขึ้นและลักษณะการไหลของอากาศมีผลกระทบต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ Goula and Adamopoulos (2005) รายงานว่าเมื่ออัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ผงเปลือกมะเขือเทศเพิ่มขึ้น

อุณหภูมิในการอบแห้ง (Operating temperature) อุณหภูมิในการอบแห้งมีผลกระทบจากอุณหภูมิอากาศขาเข้าและอุณหภูมิอากาศขาออกคือ ที่สภาวะอัตราการไหลของอากาศคงที่ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศขาเข้าเป็นการเพิ่มแรงขับเคลื่อนของน้ำในอนุภาคที่จะระเหยออก มีผลทำให้ความสามารถในการระเหยน้ำของเครื่องอบแห้งเพิ่มขึ้น และเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการอบแห้งหรือปริมาณความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ลดลง เนื่องจากอนุภาคเกิดการระเหยน้ำได้เร็วขึ้นทำให้อนุภาคมีรูพรุนอยู่ภายในมากขึ้นจึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีความหนาแน่นลดลง ในการทำงานจริงต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสุดท้ายคงที่เพื่อให้ได้คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีตามที่ต้องการ ดังนั้นอุณหภูมิขาออกต้องอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ในช่วงที่แน่นอน และเพื่อสะดวกต่อการบรรจุภัณฑ์ ในบางกรณีต้องเลือกสภาวะการทำงานที่อุณหภูมิขาออกต่ำจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสูง เพื่อ

ป้องกันการรวมตัวหรือดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง Punchira, et al. (2004) อธิบายว่าเมื่อทำแห้งน้ำผลไม้รวมโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยปรับอุณหภูมิอากาศขาเข้า 3 ระดับคือ 100 110 และ 120 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าเพิ่มขึ้นปริมาณความชื้นลดลง เนื่องจากอุณหภูมิสูงทำให้น้ำระเหยออกไปได้มาก และเมื่ออุณหภูมิขาเข้าเพิ่มขึ้นยังส่งผลให้ความหนาแน่นผลิตภัณฑ์ผงมีรูพรุนอยู่ภายในมากขึ้นทำให้ความหนาแน่นต่ำ เช่นเดียวกับผงน้ำส้มที่ผลิตจากเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ที่อุณหภูมิอากาศขาเข้าที่ 110 120 130 และ 140 องศาเซลเซียสพบว่าปริมาณความชื้นและความหนาแน่นลดลงเมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าเพิ่มขึ้น (Goula และ Adamopoulos, 2010) นอกจากอุณหภูมิอากาศขาเข้าจะมีผลต่อความชื้น และความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์แล้วยังมีผลต่อการสลายของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ Goula และ Adamopoulos (2005) พบว่าปริมาณไลโคปีนในเปลือกมะเขือเทศมีปริมาณลดลง 8.07-20.93% เมื่อทำแห้งแบบพ่นฝอย และเมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าเพิ่มขึ้นเป็นผลให้ปริมาณไลโคปีนลดลง เช่นเดียวกับการทำแห้งน้ำแตงโมที่อุณหภูมิขาเข้า 145 155 165 และ 175 องศาเซลเซียสพบว่าเมื่ออุณหภูมิขาเข้าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณไลโคปีน และเบต้าแคโรทีนลดลง (Quek, et al., 2007) การศึกษาผลของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยของผงน้ำมะขามป้อมที่ระดับอุณหภูมิอากาศขาเข้า 125 150 175 และ 200 องศาเซลเซียสพบว่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระอิสระ 2,2-diphenyl picryl hydrazile (DPPH) มีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิขาเข้าเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการศึกษาน้ำฟักข้าวที่พบว่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระลดลง (Mishra, et al., 2014; Kha, et al., 2010)



ภาพ 3 อิทธิพลที่มีผลต่อคุณภาพของผงผลิตภัณฑ์

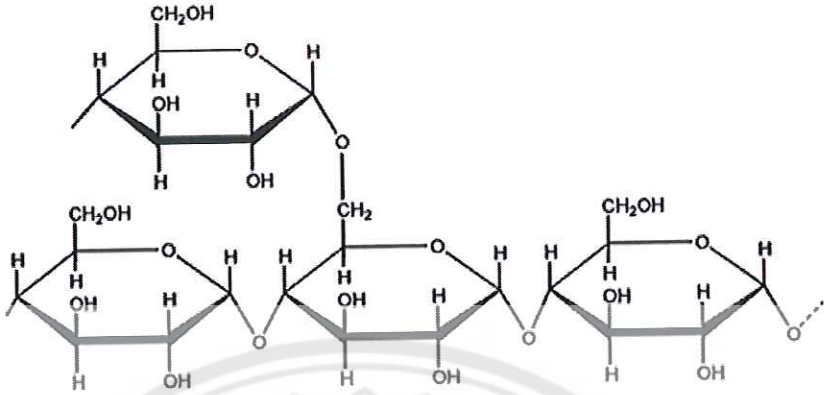
ที่มา: Pao, 2005

Drying aids

วัตถุเจือปนในอาหารที่ช่วยในการทำแห้งในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย เป็นสารที่ป้องกันการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการหรือกลิ่นระเหยในผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้แห้ง นอกจากนี้ใช้ลดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ แต่การเติมจะต้องมีความเหมาะสมเนื่องจากทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์และอาจจะเพิ่มค่าใช้จ่ายในการผลิต

มอลโตเด็กทรินซ์ (Maltodextrin)

มอลโตเด็กซ์ทรินคือคาร์โบไฮเดรตประเภทโพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide) มีสูตรโมเลกุลคือ $(C_6H_{12}O_6)\cdot H_2O$ (ภาพ 4) จัดเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทเดียวกับกลูโคสไซรัป ประกอบด้วยหน่วยของ D-glucoseหลาย ๆ หน่วยเชื่อมต่อกัน เตรียมได้จากการย่อยโมเลกุลของสตาร์ช การไฮโดรไลซิสด้วยกรดไฮโดรคลอริก หรือโดยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส เพื่อให้เกิดสารละลายกลูโคสพอลิเมอร์ (Glucose polymer solution) ที่มีสายยาว สารละลายนี้จะถูกกรอง และทำให้แห้ง หรือทำให้เข้มข้นมากขึ้นเพื่อให้ได้มอลโตเด็กซ์ทริน สตาร์ชที่นำมาใช้ ได้แก่ สตาร์ชจากข้าวโพด ข้าวเจ้า มันสำปะหลัง มันฝรั่ง เป็นต้น โดยทั่วไปที่นิยมผลิตจะมีค่า dextrose equivalent, DE อยู่ในช่วง 5 – 19 มอลโตเด็กซ์ทรินอาจอยู่ในรูปสารละลายเข้มข้นหรือรูปผงสีขาวไม่มีกลิ่นไม่มีรสหวานหรือหวานเล็กน้อย จัดเป็นสารที่ไม่มีอันตรายต่อร่างกายมีความชื้นประมาณร้อยละ 3 – 5 ความหนาแน่น (Bulk density) อยู่ในช่วง 0.31 – 0.61 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สามารถใช้มอลโตเด็กซ์ทรินได้ในปริมาณที่เหมาะสมกับชนิดของอาหาร และหน้าที่ของมอลโตเด็กซ์ทรินในอาหารชนิดนั้น ๆ สามารถละลายได้ในน้ำที่อุณหภูมิห้อง สารละลายที่ได้อาจจะใสหรือขุ่น ขึ้นกับชนิดของมอลโตเด็กซ์ทรินที่นำมาใช้งาน สารละลายที่ได้มีคุณสมบัติทางด้านความเป็นเนื้อ (Body) และมีความหนืดที่สม่ำเสมอ เนื้อสัมผัสเรียบเนียน การเติมมอลโตเด็กซ์ทรินจะทำให้ความหนืดของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ทำให้สัดส่วนของน้ำในผลิตภัณฑ์ลดลง การเปลี่ยนแปลงทางเคมีช้าลง มีความสามารถดูดความชื้นจากอากาศได้ต่ำ (Siew Young, et al., 2007)



ภาพ 4 สูตรโครงสร้างมอลดตเด็กซ์ทริน

ที่มา: Pao, 2005

Goula และ Adamopoulos (2010) รายงานว่าเมื่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ผงน้ำส้มจากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย มีความชื้นลดลง ความหนาแน่นผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น การดูดความชื้นลดลง และการเกาะตัวเป็นก้อนลดลงเช่นกัน

Goula และ Adamopoulos (2008) รายงานว่าการเพิ่มมอลโตเด็กซ์ทรินที่มีค่า DE แตกต่างกันที่ 6 DE 12 DE และ21 DE ในการทำแห้งแบบพ่นฝอยของมะเขือเทศพบว่า เมื่อ DE ของมอลโตเด็กซ์ทรินสูงขึ้นทำให้ความชื้นผลิตภัณฑ์ผงมะเขือเทศเพิ่มขึ้น

Davinder และ Dalbir (2015) รายงานว่าการเพิ่มขึ้นของมอลโตเด็กซ์ทรินจากร้อยละ 3-10 มีผลต่อลักษณะทางกายภาพของผงน้ำแตงโมโดยเมื่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินเพิ่มขึ้นทำให้ความชื้นลดลง กิจกรรมของน้ำ (Water activity) มีค่าลดลง และกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยของน้ำแตงโมยังส่งผลให้ปริมาณไลโคปีน และเบต้าแคโรทีนของผงแตงโมลดลง และค่าความสว่างของผงแตงโมเพิ่มขึ้นเมื่อมอลโตเด็กซ์ทรินเพิ่มขึ้น

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

วัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือส้มโอ (*Citrus grandis* (L.) Osbeck) วงศ์ Rutaceae พันธุ์ท่าข่อยปลูกในจังหวัดพิจิตร อายุการเก็บเกี่ยว 6.5-7.5 เดือน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสก่อนแปรรูป และวิเคราะห์

สารเคมีและอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ในงานวิจัย

1. Sodium hydroxide, AR grade, RCI Labscan
2. *Phenolphthalein* indicator, AR grade, RCI Labscan
3. Folin-ciocalteu, AR grade, Fluka
4. Sodium carbonate, AR grade, RCI Labscan
5. Gallic acid, AR grade, Sigma-Aldrich
6. Sodium nitrite, AR grade,
7. Aluminium Chloride, AR grade,
8. Quercertin, AR grade, Sigma-Aldrich
9. 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH), AR grade, Sigma-Aldrich
10. Methanol, AR grade, RCI Labscan
11. Sodium acetate, AR grade, RCI Labscan
12. Acetic acid glacial, AR grade, RCI Labscan
13. 2, 4, 6-tripyridyl-s-triazine(TPTZ), AR grade, Sigma-Aldrich
14. Hydrogen chloride, AR grade, RCI Labscan
15. Ferric chloride, AR grade, RCI Labscan
16. Potassium persulphate, AR grade, Sigma-Aldrich
17. Ethanol, AR grade, RCI Labscan
18. 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid)(ABTS) , AR grade, Sigma-Aldrich

19. 6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid(Tolox) , AR grade, Sigma-Aldrich

20. Meta-phosphoric acid, AR grade, Sigma-Aldrich

21. Potassium dihydrogen phosphate, AR grade, Sigma-Aldrich

22. Methanol, HPLC grade, RCI Labscan

23. Ascorbic acid, Standard grade, Sigma-Aldrich

24. Acetone, AR grade, RCI Labscan

25. Acetonitrile, HPLC grade, RCI Labscan

26. Acetic acid, HPLC grade, RCI Labscan

27. H2O, HPLC grade, RCI Labscan

28. Sulfuric acid, AR grade, RCI Labscan

29. Boric acid, AR grade, RCI Labscan

30. Petroleum ether, AR grade, RCI Labscan

31. Potassium hydroxide, AR grade, RCI Labscan

32. Dichloran Rose Bengal Chloramphenical Agar (DRBC), Merck

33. Plate count agar, Merck

34. Peptone water, Merck

35. Naringin, Standard grade, Sigma-Aldrich

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

1. อุปกรณ์ในการแปรรูปส้มโอ

   1.1 มีด

   1.2 มีดปอกผลไม้

   1.3 เครื่องปั่นแยกกาก

   1.4 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

2. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

   2.1 เครื่องชั่ง ทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Sartorius, ED2244S)

   2.2 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง โดย pH meter (Consort, C 830)

   2.3 เครื่องวัดความหวาน hand refractometer

2.4 เครื่องวัดสี (Hunter Lab, DP 9000)

2.5 เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง (Shimadzu)

2.6 เครื่องวิเคราะห์ไขมัน (Buchi, E-816 SOX)

2.7 เครื่องวิเคราะห์โปรตีน (Distillation : Buchi, B 323/ Digestion : Buchi, B 435)

2.8 เครื่องวิเคราะห์เยื่อใย (LABCONCO, 266853)

2.9 เครื่องวิเคราะห์เถ้า (Fisher, 10-650-126)

2.10 เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Thermo, Genesys 20)

2.11 เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centurion, K240 R)

2.12 ตู้อบลมร้อน (UMAC, UM-Oven 120 L)

2.13 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

ตอนที่ 1 ศึกษาลักษณะทางเคมีกายภาพ วิตามินซี สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของผลส้มโอสด 4 ส่วน ได้แก่ เปลือกนอก เปลือกใน เยื่อหุ้มเนื้อ และเนื้อ

นำส้มโอพันธุ์ท่าข่อยน้ำหนักมากกว่า 700 กรัม มีรูปร่างสมบูรณ์ไม่บิดเบี้ยว ไม่มีตำหนิที่ผิว เช่น เป็นขี้กลาก หรือถูกแดดเผา มีอายุการเก็บเกี่ยว 6.5-7.5 เดือน ล้างด้วยน้ำเปล่า เช็ด และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนแห้ง แยกส้มโอเป็น 4 ส่วนได้แก่ เปลือกนอก เปลือกใน เยื่อหุ้มเนื้อ และเนื้อ ส่วนของเปลือกนอก เปลือกใน และเยื่อหุ้มเนื้อ หั่นให้มีขนาดประมาณ 1x1 เซนติเมตร เนื้อส้มโอนำเมล็ดออก นำส้มโอทั้ง 4 ส่วน ใส่ถุง และปิดผนึกเก็บรักษาที่ -18 องศาเซลเซียส จนกว่าจะวิเคราะห์ ก่อนวิเคราะห์นำตัวอย่างมาตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง และปั่นแต่ละส่วนให้มีขนาดเล็กๆ

1. สมบัติทางกายภาพ

1.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ด้วย pH meter

1.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid content) ด้วย Hand Refractometer และอ่านค่าเป็น degree brix

1.3 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมด (Titratable total acidity) โดยใช้วิธีการไตเตรชั่น และคำนวณในรูปของกรดซิตริก (AOAC,2000)

2. สมบัติทางเคมี

2.1 ปริมาณสารฟีนอลิคทั้งหมด (Total phenolic contents) โดยวิธี Folin-Ciocalteu method และคำนวณหาปริมาณฟีนอลิคทั้งหมดในรูปของ Gallic acid equivalent ด้วยวิธี Singleton, et al. (1999)

2.2 ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (Total Flavonoids content) ด้วยวิธี Ramful, et al. (2010)

2.3 ปริมาณวิตามินซี (Ascorbic acid) ด้วยวิธี Shafqat, et al. (2012)

2.4 ปริมาณนารินจินตามวิธีของ Khan, et al. (2010)

2.5 กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ

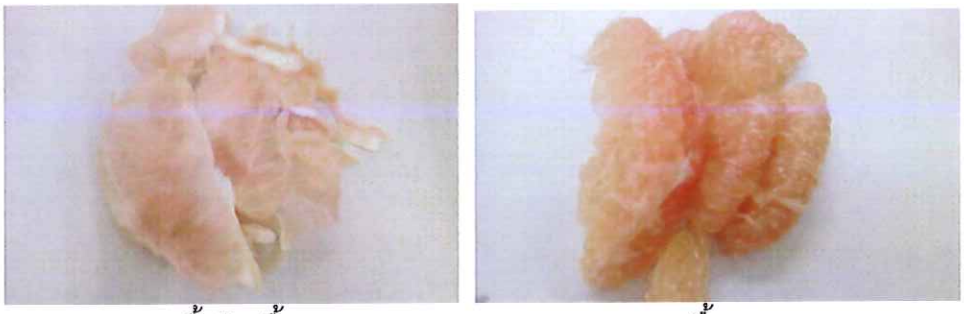
2.5.1 DPPH Radical Scavenging ด้วยวิธีของ Tippani, et al. (2010)

2.5.2 FRAP assay ตามวิธีของ Benzie and Strain. (1996)

2.5.3 ABTS assay ตามวิธีของ Babbar, et al. (2011)

2.6 ปริมาณสารประกอบหลักในอาหาร (proximate) ได้แก่ ความชื้น (moisture) โปรตีน (protein) ไขมัน (fat) เส้นใย (crude fiber) เถ้า (ash) และคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (total carbohydrate) ด้วยวิธี (AOAC, 2000)

เปลือกนอก เปลือกใน



เยื่อหุ้มเนื้อ เนื้อ

ภาพ 5 ส่วนประกอบของผลส้มโอ ที่ใช้ในการศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพ วิตามินซี สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ

ตอนที่ 2 ผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อลักษณะทางเคมีกายภาพ การสลายของวิตามินซี สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระ และจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ของส้มโอตัดแต่ง

นำส้มโอพันธุ์ท่าข่อย อายุการเก็บเกี่ยว 6.5-7.5 เดือน น้ำหนักมากกว่า 700 กรัม มีลักษณะสมบูรณ์ไม่บิดเบี้ยว มาล้าง เช็ดให้แห้ง ปอกเปลือก นำเนื้อส้มโอบรรจุใส่ถาดโฟม ถาดละ 250 กรัม ห่อหุ้มด้วยฟิล์มพลาสติกชนิด Polyvinyl chloride (PVC) จากนั้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส

1. สมบัติทางกายภาพ

1.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ด้วย pH meter

1.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid content) ด้วย Hand Refractometer และอ่านค่าเป็น degree brix

1.3 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมด (Titratable total acidity) โดยใช้วิธีการไตเตรชั่นและคำนวณในรูปของกรดซิตริก (AOAC,2000)

2. สมบัติทางเคมี

2.1 ปริมาณสารฟีนอลิคทั้งหมด (Total phenolic contents) โดยวิธี Folin-Ciocalteu method และคำนวณหาปริมาณฟีนอลิคทั้งหมดในรูปของ Gallic acid equivalent ด้วยวิธี Singleton, et al. (1999)

2.2 ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (Total Flavonoids content) ด้วยวิธี Ramful, et al. (2010)

2.3 ปริมาณวิตามินซี (Ascorbic acid) ด้วยวิธี Shafqat, et al. (2012)

2.4 ปริมาณนารินจินตามวิธีของ Khan, et al. (2010)

2.5 กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ

2.5.1 DPPH Radical Scavenging ด้วยวิธีของ Tippani, et al. (2010)

2.5.2 FRAP assay ตามวิธีของ Benzie and Strain. (1996)

2.5.3 ABTS assay ตามวิธีของ Babbar, et al. (2011)

3. สมบัติทางชีววิทยา

3.1 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (FDA BAM, 2001)

3.2 จำนวนยีสต์และรา (FDA BAM, 2001)

ภาพ 6 ภาพบรรจุภัณฑ์ส้มโอตัดแต่งพันธุ์ท่าข่อย

ตอนที่ 3 ศึกษาผลของอุณหภูมิ และเวลา ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ การสลายของวิตามินซี สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระ และจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ของน้ำส้มโอพร้อมดื่ม

ส้มโอที่ใช้สำหรับการผลิตน้ำส้มโอมี 2 ระยะการสุก คือ ระยะการสุกที่ ร้อยละ 90 คือ ส้มโอที่มีอายุการเก็บเกี่ยวที่ 6 เดือน และระยะการสุกที่ร้อยละ100 คือส้มโอที่มีอายุการเก็บเกี่ยวที่ 7 เดือน

นำส้มโอพันธุ์ท่าข่อยที่มีน้ำหนักมากกว่า 700 กรัม มีลักษณะสมบูรณ์ไม่บิดเบี้ยว มาล้างเช็ดให้แห้ง ปอกเปลือก นำส่วนเนื้อส้มโอสกัดน้ำด้วยเครื่องปั่นแยกกาก นำน้ำส้มโอที่ได้มากรองด้วยผ้าขาวบางเพื่อเอาเยื่อออก นำน้ำที่ได้มาให้ความร้อนที่ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วินาที จากนั้นบรรจุใส่ขวดพลาสติกขนาด 250 มิลลิลิตร ปิดผนึกและเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส

1. สมบัติทางกายภาพ

1.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ด้วย pH meter

1.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid content) ด้วย Hand Refractometer และอ่านค่าเป็น degree brix

1.3 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมด (Titratable total acidity) โดยใช้วิธีการไตเตรชั่นและคำนวณในรูปของกรดซิตริก (AOAC,2000)

2. สมบัติทางเคมี

2.1 ปริมาณสารฟีนอลิคทั้งหมด (Total phenolic contents) โดยวิธี Folin-Ciocalteu method และคำนวณหาปริมาณฟีนอลิคทั้งหมดในรูปของ Gallic acid equivalent ด้วยวิธี Singleton, et al. (1999)

2.2 ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (Total Flavonoids content) ด้วยวิธี Ramful, et al. (2010)

2.3 ปริมาณวิตามินซี (Ascorbic acid) ด้วยวิธี Shafqat, et al. (2012)

2.4 ปริมาณนารินจิน ตามวิธีของ Khan, et al. (2010)

2.5 กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ

2.5.1 DPPH Radical Scavenging ด้วยวิธีของ Tippani, et al. (2010)

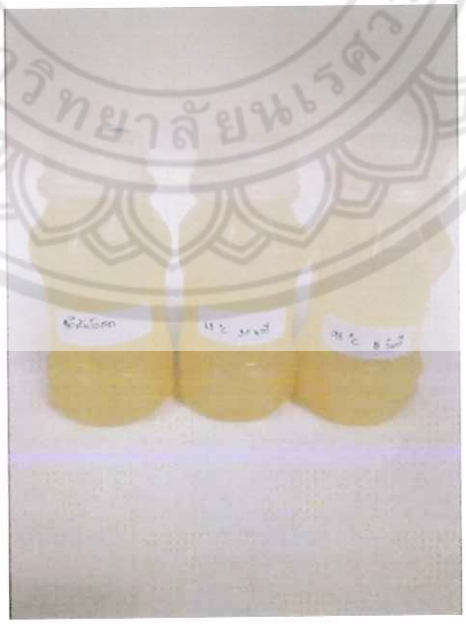
2.5.2 FRAP assay ตามวิธีของ Benzie and Strain. (1996)

2.5.3 ABTS assay ตามวิธีของ Babbar, et al. (2011)

3. สมบัติทางชีววิทยา

1.1 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (FDA BAM, 2001)

1.2 จำนวนยีสต์และรา (FDA BAM, 2001)



ภาพ 7 ภาพบรรจุภัณฑ์น้ำส้มโอสด และน้ำส้มโอพาสเจอร์ไรซ์

ตอนที่ 4 ศึกษาผลของอุณหภูมิขาเข้า และปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ การสลายของวิตามินซี สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ของน้ำส้มโอผง โดยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย

นำน้ำส้มโอพันธุ์ท่าข่อยจากส้มโอที่ระยะการสุกร้อยละ 100 ที่ผ่านการสกัดโดยใช้เครื่องปั่นแยกกาก ผสมมอลโตเด็กทรินซ์ 3 ระดับ คือ 4.5 6.9 และ 10.2% และนำเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drier) ปรับอุณหภูมิขาเข้า (Inlet temperature) 3 ระดับคือ 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส และตั้งค่าอุณหภูมิขาออก (Outlet temperature) 90 องศาเซลเซียส ความดันที่ 0.2 MPa อัตราการป้อนตัวอย่างที่ 0.6 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เก็บตัวอย่างผงน้ำส้มโอใส่ถุงอลูมิเนียมฟอยด์ ปิดผนึก และเก็บรักษาที่ -18 องศาเซลเซียส

1. สมบัติทางกายภาพ

1.1 ความชื้น (AOAC, 2000)

1.2 วิเคราะห์ค่าสี (L*, a*, b*)

1.3 ความสามารถในการละลาย (Water solubility Index, WSI) ตามวิธีของ Anderson, et al. (1969)

2. สมบัติทางเคมี

2.1 ปริมาณสารฟีนอลิคทั้งหมด (Total phenolic contents) โดยวิธี Folin-Ciocalteu method และคำนวณหาปริมาณฟีนอลิคทั้งหมดในรูปของ Gallic acid equivalent ด้วยวิธี Singleton, et al. (1999)

2.2 ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (Total Flavonoids content) ด้วยวิธี Ramful, et al. (2010)

2.3 ปริมาณวิตามินซี (Ascorbic acid) ด้วยวิธี Shafqat, et al. (2012)

2.4 ปริมาณนารินจินตามวิธีของ Khan, et al. (2010)

2.5 กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ

2.5.1 DPPH Radical Scavenging ด้วยวิธีของ Tippani, et al. (2010)

2.5.2 FRAP assay ตามวิธีของ Benzie and Strain. (1996)

2.5.3 ABTS assay ตามวิธีของ Babbar, et al. (2011)

6.9% maltodextrin 160 °C 10.2% maltodextrin 160 °C

6.9% maltodextrin 180 °C 10.2% maltodextrin 180 °C

4.5% maltodextrin 200 °C 6.9% maltodextrin 200 °C

10.2% maltodextrin 200 °C

ภาพ 8 ผลิตภัณฑ์ผงน้ำส้มโอจากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่าง ๆ

บทที่ 4

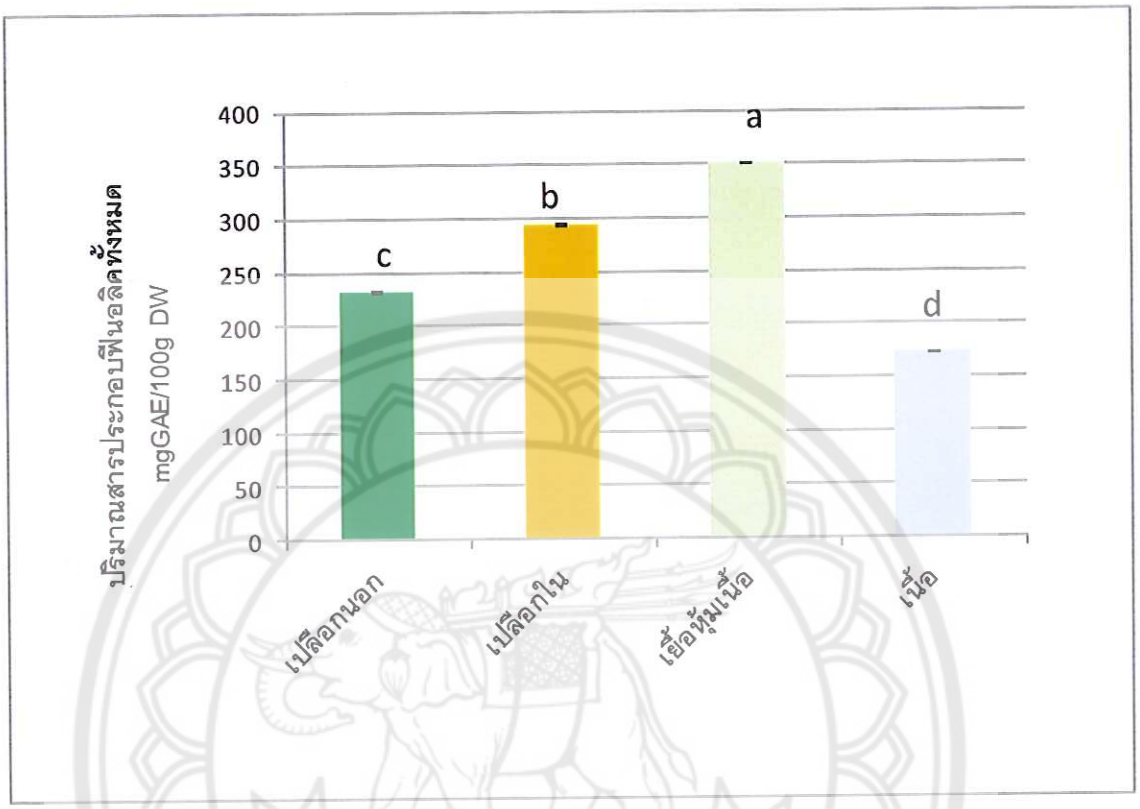
ผลการวิจัย

ตอนที่ 1 ศึกษาลักษณะทางเคมีกายภาพ วิตามินซี สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของผลส้มโอสด 4 ส่วนได้แก่ เปลือกนอก เปลือกใน เยื่อหุ้มเนื้อ และเนื้อ

1. สมบัติทางเคมี

1.1 สารประกอบฟีนอลิค (Phenolic compound)

ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด แอนโทไซยานิน และสารประกอบฟีนอลิคที่ไม่ใช่ฟลาโวนอยด์เป็นสารที่บ่งบอกถึงปริมาณฟีนอลิค ซึ่งเป็นสารประกอบที่สำคัญในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยในการศึกษานี้พบว่าสารประกอบฟีนอลลิคทั้งหมดของเปลือกชั้นนอก เปลือกชั้นใน เยื่อหุ้มเนื้อ และเนื้อมีค่าอยู่ระหว่าง 1.73-3.51 มิลลิกรัมกรดแกลิคต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (ภาพ 9) และเมื่อเปรียบเทียบการกระจายตัวของสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดในแต่ละส่วน ได้แก่ เปลือกชั้นนอก เปลือกชั้นใน เยื่อหุ้มเนื้อ และเนื้อ พบว่าในส่วนเยื่อหุ้มเนื้อมีปริมาณมากสุดคือ (3.51 มิลลิกรัมกรดแกลิคต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) และในส่วนเนื้อมีปริมาณน้อยสุดคือ (1.73 มิลลิกรัมกรดแกลิคต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลในส้มโอไทยมีปริมาณมากน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ปัจจัยที่สำคัญได้แก่ ความแตกต่างของส่วนต่างๆของส้มโอ และความหลากหลายของสายพันธุ์ เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง เปลือกนอก เปลือกใน เนื้อ และเมล็ด ในส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวาพบว่าในส่วนเมล็ดมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิคมากที่สุด ลองลงมาคือเปลือกนอก เปลือกใน และเนื้อตามลำดับ (Pichaiyongvongdee, et al., 2009) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดของส้มโอ 6 พันธุ์ได้แก่ ขาวใหญ่ ทองดี ขาวแตงกวา ขาวน้ำผึ้ง ท่าข่อย และทับทิมสยามมีค่าระหว่าง 1.01-1.14 มิลลิกรัมกรดแกลิคต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (Mäkynen, et al., 2013) เช่นเดียวกับการวิเคราะห์สารประกอบโพลีฟีนอลของส้มโอทั้ง 7พันธุ์ พบว่าในส้มโอพันธุ์ท่าข่อย และพันธุ์ทองดีซึ่งมีเปลือกชั้นใน และเนื้อสีชมพูอ่อน มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลมากกว่าส้มโอที่มีเนื้อเยื่อสีขาว โดยในการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลในน้ำส้มโอพบว่าในน้ำส้มโอพันธุ์ท่าข่อยมีค่า1.50 มิลลิกรัมกรดแกลิคต่อกรัมน้ำหนักสด (Pichaiyongvongdee, et al., 2009) ยังกล่าวได้ว่าชนิดของเนื้อเยื่อของผลไม้มีผลต่อปริมาณโพลีฟีนอลที่แตกต่างกัน และพบว่าสารประกอบโพลีฟีนอลในเนื้อเยื่อของส้มเขียวหวานมีปริมาณมากที่สุด ในขณะที่น้ำส้มเขียวหวานมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลน้อยที่สุด (Abeysinghe, et al., 2007)

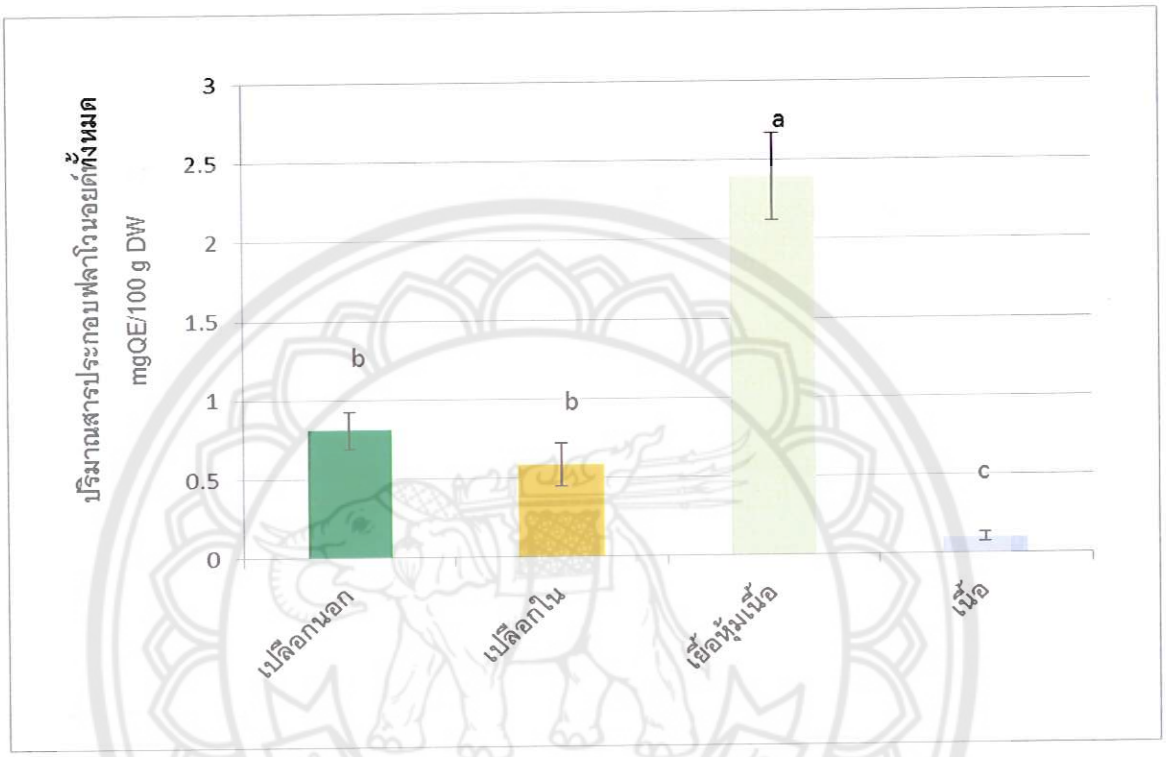


ภาพ 9 ปริมาณฟีนอลิคทั้งหมด (mgGAE/gDW) ของส้มโอพันธุ์ท่าข่อยแต่ละส่วน ได้แก่ เปลือกนอก เปลือกใน เยื่อหุ้มเนื้อ และเนื้อส้มโอ

1.2 สารประกอบฟลาโวนอยด์ (Flavonoids)

ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของส้มโอพันธุ์ท่าข่อยแต่ละส่วนอยู่ในช่วงระหว่าง 0.10 – 2.40 มิลลิกรัมเควอซิทินต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (ภาพ 10) โดยในส่วนของเยื่อหุ้มเนื้อมีปริมาณมากที่สุด ตามด้วย เปลือกชั้นนอก เปลือกชั้นใน และเนื้อตามลำดับ ซึ่งผลสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Wang, et al. (2007) ที่รายงานว่าปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของส้มโอในส่วนเปลือกจะมากกว่าในเนื้อ ขณะที่งานวิจัยของ Abeysinghe, et al. (2007) พบว่า ในส่วนเยื่อของ citrus fruit 4 สปีชี่ย์ได้แก่ mandarin type (*Citrus unshiu* and *Citrus reticulata*), orange type (*Citrus sinensis*) และ hybrid type (*Citrus changshanensis*) มีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมากกว่าส่วนเนื้อโดยในส่วนเยื่อมีปริมาณอยู่ระหว่าง 2.74-7.13 มิลลิกรัมรูทินต่อกรัมน้ำหนักเปียก นอกจากส่วนต่างๆที่แตกต่างกันของส้มโอจะมีผลต่อปริมาณของฟลาโวนอยด์แล้วยังมีการรายงานว่า

ความหลากหลายของพันธุ์ ความอ่อนแก่ และสภาพแวดล้อมในการปลูกก็มีผลต่อปริมาณฟลาโวนอยด์ด้วยเช่นกัน (เสาวภา ไชยวงศ์ และคณะ, 2010 และ Chaiwong, et al., 2010)

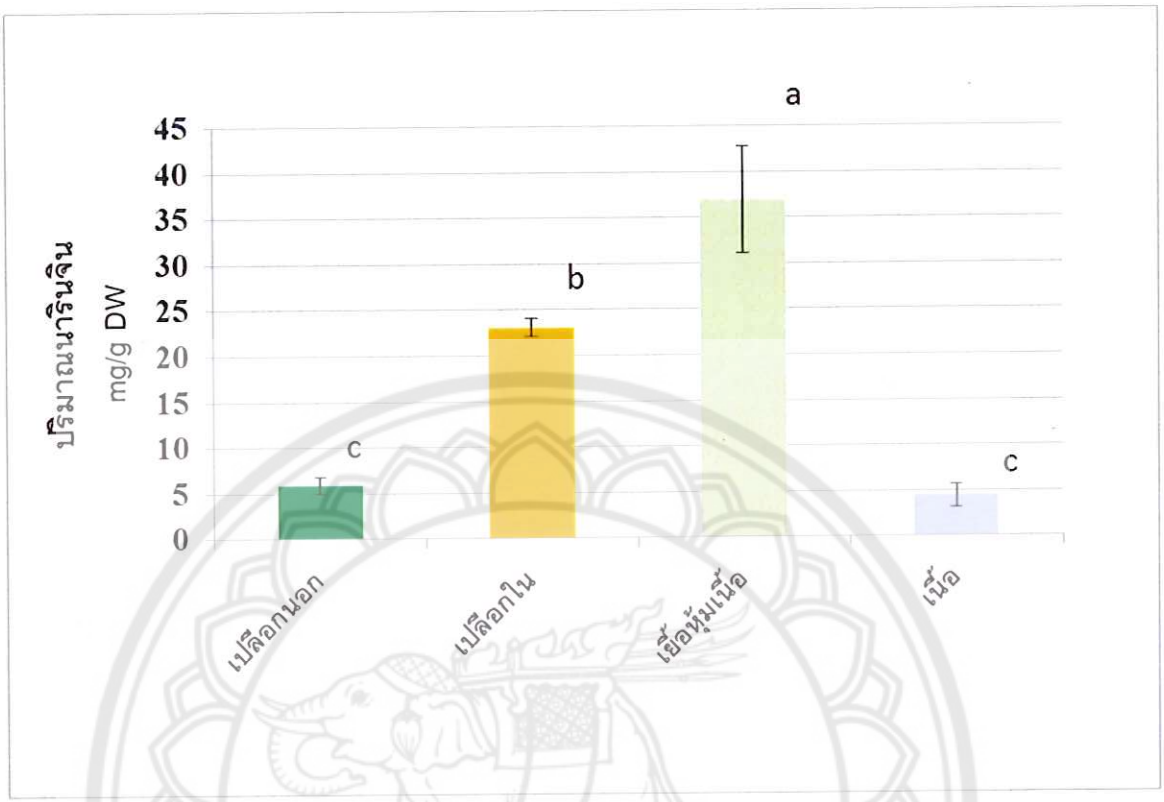


ภาพ 10 ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (mgQE/gDW) ของส้มโอพันธุ์ท่าข่อยแต่ละ**ส่วน ได้แก่** เปลือกนอก เปลือกใน เยื่อหุ้มเนื้อ และเนื้อ

1.3 นารินจิน (Naringin)

ฟลาโวนอยด์ที่พบในส้มโอ ได้แก่ นารินจิน (naringin) นารินจีนิน (naringenin) เอสเปอรริดิน(hesperidin) และนีโอเอสเปอริดิน (neohesperidin) (Xu, et al., 2008) โดยฟลาโวนอยด์ที่พบมากที่สุดคือ นารินจิน (Mäkynen, et al., 2013 และ Xu, et al., 2008) ซึ่งส้มโอไทยมีปริมาณนารินจินอยู่ระหว่าง 13-85 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด และสายพันธุ์ทับทิมสยามเป็นพันธุ์ที่มีปริมาณนารินจินมากที่สุด ส่วนส้มโอพันธุ์ทองดี ขาวแตงกวา ขาวน้ำผึ้ง และขาวใหญ่มีปริมาณสารนารินจินไม่แตกต่างกันมีปริมาณอยู่ระหว่าง 36 – 41 มิลลิกรัมต่อ100 กรัมน้ำหนักสด (เสาวภา ไวยวงศ์ และคณะ, 2533) รูปแบบการกระจายตัวของนารินจินภายใต้เนื้อเยื่อของส้มโอที่แตกต่างกัน ได้แก่ เปลือกชั้นนอก (flavedo) เปลือกชั้นใน (albedo) เนื้อเยื่อ (segment membrane) เมล็ด (seed) และน้ำ (juice) โดยแหล่งของนารินจินที่พบมาก ได้แก่ เปลือกชั้นใน (albedo) ขณะที่เมล็ด และน้ำมีปริมาณเล็กน้อย

(Pichaiyongvongdee and Haruenkit , 2009) ซึ่งงานวิจัยนี้ศึกษาการกระจายตัวของนารินจิน ในส้มโอพันธุ์ท่าข่อยที่แตกต่างกัน 4 ส่วนได้แก่เปลือกชั้นนอก เปลือกชั้นใน เยื้อหุ้มเนื้อ และเนื้อ จากการวิเคราะห์ปริมาณนารินจิน โดย High Pressure Liquid Chromatography (HPLC) พบว่าส่วนของเยื้อหุ้มเนื้อมีปริมาณมากที่สุด (36.97 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) และลดลงตามลำดับได้แก่ ส่วนเปลือกชั้นใน เปลือกชั้นนอก และเนื้อ โดยมีปริมาณดังนี้ 23.06, 5.89 และ 4.43 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งตามลำดับ (ภาพ 11) โดยในส่วนเปลือกชั้นนอก และเปลือกชั้นในพบว่าปริมาณของสารนารินจินไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งปริมาณนารินจิน ดังกล่าวมีค่าสอดคล้องกับงานวิจัยของ Pichaiyongvongdee and Haruenkit (2009) ที่รายงานว่าส่วนของเปลือกชั้นนอกมีปริมาณนารินจินระหว่าง 10.07 - 28.51 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง เปลือกชั้นในมีปริมาณนารินจินระหว่าง 2.48 - 8.96 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และเนื้อมีปริมาณนารินจินระหว่าง 1.80 - 4.40 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งสารนารินจินเป็น ฟลาโวนอยด์ชนิดหนึ่งซึ่งก่อให้เกิดรสขม โดยปริมาณนารินจินที่ไม่ทำให้เกิดรสขมจะมีค่าประมาณ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และเนื่องจากการวิเคราะห์ปริมาณนารินจินในงานวิจัยนี้พบว่ามีประมาณนารินจินเกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตรในทุกส่วนจึงสามารถสรุปได้ว่านารินจินเป็นสารหลักที่ทำให้เกิดรสขมในส้มโอพันธุ์ท่าข่อย ดังนั้นในการแปรรูปมีความจำเป็นที่จะระมัดระวังขั้นตอนการแปรรูปเพื่อป้องกันการตกค้างของปริมาณนารินจิน และจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับปัจจัยในขั้นตอนการแปรรูปที่มีผลต่อการลดลงของความขมของส้มโอที่เกิดจากปริมาณนารินจิน



ภาพ 11 ปริมาณนารินจิน (mg/gDW) ในแต่ละส่วนของส้มโอพันธุ์ท่าข่อยได้แก่ **เปลือกนอก** เปลือกใน เยื่อหุ้มเนื้อ และเนื้อ

1.4 **วิตามินซี** (Vitamain C)

วิตามินซีเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในผลไม้ตระกูลส้ม เช่น ส้ม ส้มโอ ซึ่งถือว่าเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ (Knekt, et al., 2004) ส้มโอพันธุ์ท่าข่อยที่ศึกษามีปริมาณวิตามินซี 71.0 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด (ตาราง10) เมื่อเปรียบเทียบกับส้มโอ หรือส้มพันธุ์อื่นๆ พบว่าในส้มโอพันธุ์ท่าข่อยที่ศึกษามีค่ามากกว่า เช่นงานวิจัยของ Abeysinghe, et al. (2007) พบว่าวิตามินซีของผลไม้ตระกูลส้ม 4 พันธุ์ได้แก่ ส้มแมนดาริน (*Citrus unshiu* และ *Citrus reticulata*), ส้มหวาน (*Citrus sinensis*) และ ส้มพันธุ์ผสม (*Citrus changshanensis*) มีค่าอยู่ระหว่าง 14.2 - 45.3 เช่นเดียวกับปริมาณวิตามินซีของส้มที่มีค่าอยู่ระหว่าง 47.7–57.7 47.9 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด (Gorinstein, et al., 2001) และเนื่องจากวิตามินซีจะสลายตัวได้ง่ายในสภาวะที่มีความร้อน แสง ความชื้น และในสิ่งแวดล้อมที่มีสภาพเป็นด่าง ซึ่งพืชผักและผลไม้ที่เก็บเกี่ยวจากต้นมาเป็นเวลานานๆ หรือนำมาผ่านกระบวนการหุงต้ม ซึ่งการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ และบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมสามารถป้องกัน

การสลายของวิตามินซีได้ จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับอุณหภูมิ และรูปแบบบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมที่สามารถป้องกันการสลายของวิตามินซี

1.5 ความสามารถการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activity)

ความสามารถของการต้านอนุมูลอิสระที่วิเคราะห์โดย 3 วิธีแตกต่างกัน ได้แก่ DPPH, FRAP และ ABTS ของแต่ละส่วนของส้มโอพันธุ์ท่าข่อยที่แตกต่างกันคือ เปลือกชั้นนอก เปลือกชั้นในเยื่อหุ้มเนื้อ และเนื้อ (ตาราง 9) พบว่าส่วนเนื้อมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH มากที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในส่วนของเปลือกชั้นนอก และเยื่อหุ้มเนื้อ โดยส่วนของเปลือกชั้นในพบว่ามีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระน้อยที่สุดสำหรับการวิเคราะห์โดยวิธี DPPH เช่นเดียวกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP ที่พบว่ามีค่ามากที่สุดในส่วนของเนื้อโดยมีค่า 36.93 มิลลิกรัมโทล็อกซ์ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง มีงานวิจัยรายงานว่าการวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของน้ำส้มโอพันธุ์ Miyou และ Sijiyou โดยวิธี DPPH พบเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระDPPH ที่ 37.71 และ 35.79 ตามลำดับ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำส้มโอพันธุ์ Miyou และ Sijiyou โดยวิธีFRAP มีค่าเท่ากับ 510.16 และ 442.22 mgAEAC/L ตามลำดับ โดยปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเมื่อตรวจสอบโดยวิธีFRAP และDPPH (Xu, et el., 2008) ในขณะที่ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี ABTS ของงานวิจัยที่ศึกษามีค่าอยู่ระหว่าง 11.97 - 33.91 มิลลิกรัมโทล็อกซ์ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งค่าของวิธี ABTS สอดคล้องกับปริมาณฟีนอลิคทั้งหมด และฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมากที่สุด จากงานวิจัยต่างๆที่ผ่านมาพบว่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของส้มโอมีความสามารถในการยับยั้งการก่อตัวของอนุมูลอิสระ1 ,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radical และยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของอนุมูลอิสระABTSได้ (Jayaprakasha, et al., 2008) ซึ่งอนุมูลอิสระมีบทบาทสำคัญในการทำให้เกิดโรคของมนุษย์หลายโรค เช่น โรคไขข้ออักเสบ โรคเบาหวาน และภาวะแทรกซ้อนของโรคมะเร็ง และโรคเกี่ยวกับระบบประสาทต่างๆ และโรคปอด (Bjelakovic, et al., 2008) สารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติสามารถช่วยป้องกันอนุมูลอิสระเหล่านี้ได้ ดังนั้นการรับประทานอาหารที่มีสารประกอบ ฟลาโวนอยด์ และสารประกอบฟีนอล จึงมีความสำคัญเนื่องจากสารประกอบเหล่านี้มีประโยชน์ต่อสุขภาพของมนุษย์เพราะมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Fang, et al., 2002) แต่ความสัมพันธ์ของคุณค่าทางโภชนาการของฟีนอลมีความไม่แน่นอน เนื่องจากสารประกอบฟีนอลอาจจะดูดซึมได้ไม่ดี และเผาผลาญรวดเร็วทำให้เป็นขีดจำกัดของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในร่างกาย (Duthie, 1999) ซึ่งตรงกันข้ามวิตามินซีที่เป็นชีวปริมาณออกฤทธิ์ (bio -available) สูงและส่งผลให้วิตามินซีเป็นสารสำคัญที่สุดของสารต้านอนุมูล

อิสระที่ละลายน้ำได้ในเซลล์ ที่มีประสิทธิภาพในการไล่ออกซิเจนเช่น O^{-}_{2}, $OH^{\cdot}$, peroxyl radicals และ singlet oxygen (Halliwell, 1996) ดังนั้นความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของส้มโอพันธุ์ท่าข่อยที่พบอาจจะไม่ได้มาจากสารประกอบฟีนอลิคเพียงอย่างเดียวแต่อาจจะเนื่องมาจากวิตามินซี ซึ่ง Peter, et al. (2000) รายงานว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระรวมของน้ำส้มเกิดจากวิตามินซีประมาณร้อยละ 65-100 ซึ่งผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าวิตามินซีเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญในน้ำส้ม

ตาราง 9 กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของแต่ละส่วนของส้มโอพันธุ์ท่าข่อยโดยวิ**ธีที่แตกต่างกัน**

ส่วนต่างๆ	DPPH (% antioxidant activity)	FRAP (mgTE/g DW)	ABTS (mgTE/g DW)
เปลือกนอก	7.36±0.04 [a]	11.01±1.59 [b]	22.59±1.85 [c]
เปลือกใน	4.18±0.04 [b]	12.18±1.36 [b]	28.56±1.86 [b]
เยื่อหุ้มเนื้อ	7.86±0.08 [a]	9.89±0.50 [b]	33.90±2.56 [a]
เนื้อ	8.34±0.05 [a]	36.93±1.31 [a]	11.97±2.38 [d]

*ตัวอักษรยกที่แตกต่างในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) โดยวิธีของ Duncan new multiple rang test

1.4 องค์ประกอบทางเคมี (Proximate)

ส้มโอมีคุณค่าทางโภชนาการสูงจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของส้มโอในแต่ละส่วน พบว่าในเนื้อส้มโอมีปริมาณเยื่อใย และโปรตีนถึง 6.572 และ9.577 กรัมต่อ100 กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ รวมทั้งในเนื้อส้มโอมีไขมันในเนื้อส่วนที่รับประทาน น้อยที่สุด คือมี 1.126 กรัมต่อ100 กรัมน้ำหนักแห้ง และเมื่อวิเคราะห์ปริมาณความชื้น เถ้า เยื่อใย ไขมัน และโปรตีนของส้มโอแต่ละส่วน ได้แก่ เปลือกนอก เปลือกใน เยื่อหุ้ม และเนื้อ พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 65.801-88.866%, 2.763-6.379 กรัมต่อ100 กรัมน้ำหนักแห้ง 6.572-17.323 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง 1.126-3.202 กรัมต่อ100 กรัมน้ำหนักแห้ง และ 4.221-9.577 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้งตามลำดับ (ตาราง 10)

ตาราง 10 ปริมาณกลุ่มสารหลักในอาหารของส้มโอพันธุ์ท่าข่อยในแต่ละส่วนได้แก่ เปลือกนอก เปลือกใน เยื่อหุ้มเนื้อและ เนื้อ

ส่วนต่างๆ	ความชื้น (g/100gFW)	เถ้า (g/100gDW)	เยื่อใย (g/100gDW)	ไขมัน (g/100gDW)	โปรตีน (g/100gDW)
เปลือกนอก	72.55±2.61 [b]	6.38±1.86 [a]	13.52±0.44 [b]	3.20±1.12 [a]	6.17±2.50 [a]
เปลือกใน	73.67±1.72 [b]	3.63±1.26 [b]	16.70±1.53 [a]	1.62±1.59 [b]	4.22±0.59 [b]
เยื่อ	65.80±4.07 [c]	2.76±0.86 [b]	17.32±1.16 [a]	1.67±0.41 [b]	5.76±0.64 [a]
เนื้อ	88.87±7.66 [a]	3.98±0.39 [b]	6.57±1.04 [c]	1.13±0.53 [b]	9.58±1.51 [a]

*ตัวอักษรยกที่แตกต่างในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) โดยวิธีของ Duncan new multiple rang test

2. สมบัติทางเคมีกายภาพ

สมบัติทางเคมีกายภาพ เช่น ค่ากรด-ด่าง ค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และค่ากรดที่ไตเตรทได้ทั้งหมดเป็นค่าที่มีความสำคัญช่วยบ่งบอกระยะการสุก และคุณภาพของผลไม้ตระกูลส้ม (Cheong, et al., 2012) คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และปริมาณวิตามินซีของส้มโอพันธุ์ท่าข่อย ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°Brix) ค่ากรด-ด่าง และปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ทั้งหมดของส้มโอพันธุ์ท่าข่อยเท่ากับ 10.33 °Brix, 3.40 และ 1.15 กรัมกรดซิตริกต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตาราง11) ซึ่งสมบัติทางเคมีกายภาพดังกล่าวมีค่าใกล้เคียงกับส้มโอเนื้อสีชมพูที่มีปริมารกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมด 0.94 กรัมกรดซิตริกต่อกิโลกรัม และ pH 3.67 ซึ่งมีความเป็นกรดสูง (Cheong, et al., 2012)

ตาราง 11 ลักษณะทางเคมีกายภาพ และปริมาณวิตามินซีของส้มโอพันธุ์ท่าข่อย

ส้มโอท่าข่อย	pH	Total Soluble Solid (°Brix)	Titratable acidity (g citric acid /kg)	Vitamin C (mg/100gFW)
เนื้อส้มโอ	3.40±0.04	10.33±0.05	1.15±0.02	71.0±0.12

ตอนที่ 2 ผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ลักษณะทางเคมีกายภาพ การสลายของวิตามินซี สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระของส้มโอตัดแต่ง

1. สมบัติทางจุลชีววิทยา

ผลไม้สดจะเสื่อมเสียได้ง่ายจากเชื้อจุลินทรีย์เนื่องจากไม่ได้ผ่านการให้ความร้อน และไม่มีสารกันบูด โดยแบคทีเรียชอบกรด และไม่ชอบกรด และยีสต์และรา สามารถใช้ผลไม้เป็นสารตั้งต้นในการทำให้เกิดการเน่าเสียได้ (Tournas, et al., 2006) งานวิจัยนี้พบว่าจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดเริ่มต้นของส้มโอตัดแต่งมีค่าเท่ากับ 2.8 log CFU/g (ตาราง12) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกันที่ 4 และ 35 องศาเซลเซียส พบว่าจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดของส้มโอตัดแต่งที่เก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส น้อยกว่าส้มโอตัดแต่งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส โดยพบว่าเมื่อเก็บรักษาที่ 35 องศาเซลเซียส ในวันที่ 1 ส้มโอตัดแต่งมีจำนวนเชื้อแบคทีเรียเกินกำหนดของมาตรฐานผลไม้สดที่กำหนดไว้ว่าผลไม้สดต้องมีจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดไม่เกิน 4 log CFU/g ในขณะที่การเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งได้นานถึง 7 วัน สำหรับจำนวนยีสต์และราทั้งหมดพบว่าส้มโอตัดแต่งเริ่มต้นไม่มีจำนวนยีสต์และรา และงานวิจัยนี้พบว่าการเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานกว่าการเก็บรักษาที่ 35 องศาเซลเซียส เนื่องจากแบคทีเรียที่ทำให้เกิดการเน่าเสียในผัก และผลไม้ ได้แก่ แบคทีเรียกลุ่มที่ต้องการอากาศ แบคทีเรียในกลุ่มโคลิฟอร์ม ยีสต์และรา เป็นแบคทีเรียที่ชอบอุณหภูมิปานกลางสามารถเจริญเติบโตที่ 30 - 45 องศาเซลเซียส ส่วนที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาส้มโอตามรายงานของ ธนาวรรณ สุขเกษม (2552) คือ 5 องศาเซลเซียส

ตาราง 12 ผลของจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด และ จำนวนยีสต์และราทั้งหมดของส้มโอตัดแต่งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 35 องศาเซลเซียส

วันที่เก็บรักษา	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/g)		จำนวนยีสต์และราทั้งหมด (log CFU/g)	
	4°C	35°C	4°C	35°C
0	2.80±0.10	2.80±0.10	ND	ND
1	3.10±0.10	6.00±0.60	ND	ND
2	3.70±0.50	7.00±0.00	ND	4.50±0.20
3	3.90±0.10	8.20±0.50	3.20±0.20	7.10±0.10
4	4.00±0.20		3.30±0.10	
5	4.80±0.10		4.80±0.10	
6	5.40±0.20		5.70±0.10	
7	6.20±0.10		6.90±0.20	

หมายเหตุ: ND หมายถึง ตรวจไม่พบ

2. **สมบัติทางเคมีกายภาพ**

ลักษณะทางกายภาพของส้มโอตัดแต่งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 35 องศาเซลเซียส ได้แก่ ค่ากรด-ด่างมีค่าอยู่ระหว่าง (3.61-4.08) ค่ากรดทั้งหมดที่ไตเตรทได้มีค่าอยู่ระหว่าง (0.733-0.848 กรัมกรดซิตริกต่อกิโลกรัม) และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายมีค่าอยู่ระหว่าง (10.4-12.5 °Brix) (ตาราง 13) อุณหภูมิการเก็บรักษาที่ 4 และ 35 องศาเซลเซียสไม่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพที่ของส้มโอตัดแต่ง ($p< 0.05$) เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Sawsen, et al. (2012) รายงานว่าอุณหภูมิไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่ากรด และของแข็งที่ละลายได้ของ citrus fruit พันธุ์ต่างๆในประเทศสเปน

ตาราง 13 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของส้มโอตัดแต่งที่เก็บรักษาที่ 4 และ 35 องศาเซลเซียส

วันที่เก็บ	pH		TA (g citric acid /kg)		TSS (°Brix)	
รักษา	4°C	35°C	4°C	35°C	4°C	35°C
0	3.74±0.03^{bcA}	3.74±0.03^{aA}	0.79±0.05^{aA}	0.79±0.05^{aA}	11.80±0.01^{dA}	11.80±0.01^{dA}
1	3.75±0.04^{bcA}	3.91±0.10^{bA}	0.85±0.06^{aA}	0.80±0.23^{aA}	11.60±0.01^{cA}	11.40±0.03^{aA}
2	3.80±0.02^{cA}	4.02±0.07^{bcB}	0.82±0.13^{aA}	0.73±0.35^{aA}	10.50±0.01^{aA}	10.60±0.02^{bA}
3	3.75±0.03^{bcA}	4.08±0.04^{cB}	0.84±0.35^{aA}	0.75±0.21a^{B}	12.00±0.01^{fA}	11.70±0.03^{cA}
4	3.71±0.07^{abc}	-	0.80±0.12^{a}	-	12.50±0.03^{g}	-
5	3.72±0.06^{abc}	-	0.80±0.30^{a}	-	11.50±0.01^{b}	-
6	3.67±0.10^{ab}	-	0.77±0.24^{a}	-	11.90±0.01^{e}	-
7	3.61±0.08^{a}	-	0.80±0.16^{a}	-	10.60±0.01^{c}	-

หมายเหตุ: - หมายถึง ไม่ได้วิเคราะห์เนื่องจากส้มโอตัดแต่งเกิดการเน่าเสียจากเชื้อจุลินทรีย์

*ตัวอักษรยกพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) โดยวิธีของDuncan new multiple rang test

*ตัวอักษรยกพิมพ์ใหญ่แสดงความแตกต่างในแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) โดยวิธีของDuncan new multiple rang test

3. สมบัติทางเคมี

3.1 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Bioactive compound)

อุณหภูมิการเก็บรักษามีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิค และสารประกอบฟลาโวนอยด์ของส้มโอตัดแต่งดังแสดงใน ตาราง14 จากตารางจะเห็นได้ว่าปริมาณฟีนอลิคทั้งหมด และปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมีค่าลดลงตามระยะเวลาที่เก็บรักษาแต่ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิการเก็บรักษาที่ 4 และ 35 องศาเซลเซียส ในวันเดียวกันพบว่าส้มโอตัดแต่งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส มีปริมาณฟีนอลลิค ปริมาณฟลาโวนอยด์ น้อยกว่าที่เก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส โดยปริมาณฟีนอลิคทั้งหมดของส้มโอตัดแต่งที่เก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 7 วันมีค่าลดลงร้อยละ 13.80 และเก็บรักษาที่ 35 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 3 วันมีค่าลดลงร้อยละ 15.89 และปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดที่เก็บรักษาที่ 4 และ 35 องศาเซลเซียส มีค่าลดลงร้อยละ 11.66 และ 8.95 ตามลำดับ เช่นเดียวกันคืออุณหภูมิมีผลต่อปริมาณวิตามินซี (ตาราง 15) ซึ่งจากการทดลองนี้พบว่าปริมาณวิตามินซีของส้มโอตัดแต่งที่เก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียสมีค่าลดลง 21.14% และที่เก็บรักษา 35 องศาเซลเซียสมีค่าลดลง 18.37 % โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาณวิตามินซีลดลงน้อยกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่าการเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งที่อุณหภูมิต่ำสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ดีกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง รวมทั้งลดการสูญเสียของปริมาณฟีนอลิค ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ และปริมาณวิตามินซีได้ ในการศึกษาการเก็บรักษาของส้มที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 65 วันพบว่ามีปริมาณวิตามินซีลดลงจาก 55.37 จนถึง 50.87 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร และปริมาณฟีนอลิคทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นจากวันเริ่มต้น (Paolo, et al., 2008) ปริมาณนารินจินของส้มโอตัดแต่งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน พบว่า มีปริมาณนารินจินอยู่ระหว่าง 4.325-4.413 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง เมื่อเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษากับปริมาณนารินจินของส้มโอตัดแต่ง พบว่าอุณหภูมิการเก็บรักษาไม่มีผลต่อปริมาณนารินจิน และระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลต่อปริมาณนารินจินที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Kranthi, et al. (2016) พบว่า ปริมาณฟลาโวโนนของเกรฟฟรุต ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (23 องศาเซลเซียส) และ 9 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 1 สัปดาห์ปริมาณนารินจินมีค่าไม่แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียสมีปริมาณนารินจิน 1205.90 ไมโครกรัมต่อกรัม และที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 9 องศาเซลเซียสมีปริมาณนารินจิน 1193.38 ไมโครกรัมต่อกรัม

ตาราง 14 ผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด และปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของเนื้อส้มโอตัดแต่ง

วันที่เก็บรักษา	TPC (mgGAE/gDW)		TFC (mgQE/gDW)	
	4°C	35°C	4°C	35°C
0	0.91 ± 0.05^{cA}	0.91 ± 0.05^{cA}	0.63 ± 0.29^{eA}	0.63 ± 0.29^{cA}
1	0.86 ± 0.02^{bA}	0.82 ± 0.01^{bB}	0.61 ± 0.32^{deA}	0.60 ± 0.12^{bB}
2	0.85 ± 0.04^{bA}	0.78 ± 0.04^{abA}	0.60 ± 0.42^{cdeA}	0.58 ± 0.01^{aA}
3	0.84 ± 0.02^{bA}	0.76 ± 0.01^{aB}	0.59 ± 0.01^{bcdA}	0.57 ± 0.03^{aA}
4	0.84 ± 0.02^{b}	-	0.58 ± 0.23^{abc}	-
5	0.79 ± 0.04^{a}	-	0.56 ± 0.25^{ab}	-
6	0.79 ± 0.01^{a}	-	0.57 ± 0.26^{abc}	-
7	0.78 ± 0.01^{a}	-	0.55 ± 0.05^{a}	-

หมายเหตุ: - หมายถึง ไม่ได้วิเคราะห์เนื่องจากส้มโอตัดแต่งเกิดการเน่าเสียจากเชื้อจุลินทรีย์

*ตัวอักษรยกพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) โดยวิธีของDuncan new multiple rang test

*ตัวอักษรยกพิมพ์ใหญ่แสดงความแตกต่างในแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) โดยวิธีของDuncan new multiple rang test

2.2 ความสามารถการต้านอนุมูลอิสระ

กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของส้มโอตัดแต่งเมื่อเก็บรักษา 2 อุณหภูมิคือ 4 และ 35 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีค่าลดลงทั้ง 3 วิธี ได้แก่ DPPH radical scavenging activity ABTS radical scavenging activity และ FRAP และเมื่อเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่มีต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระพบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสทำให้กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี ABTS มีค่าน้อยกว่าเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งที่ 4 องศาเซลเซียส โดยกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี ABTS ของส้มโอตัดแต่งที่เก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 7 วันมีค่าลดลงร้อยละ10.09 ในขณะที่กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ

โดยวิธี ABTS ของส้มโอตัดแต่งที่เก็บรักษาที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วันมีค่าลดลง 11.33% ผลของกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระที่ลดลงเนื่องมากจาก ปริมาณวิตามินซี สารประกอบฟีนอลิค และสารประกอบฟลาโวนอยด์ ที่เป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของส้มโอเป็นสารเบื้องต้นลดลง (Kranthi, et al., 2016)

ตาราง 15 ผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อ ปริมาณวิตามินซี และปริมาณนารินจิน ของส้มโอตัดแต่ง

วันที่เก็บรักษา	ปริมาณวิตามินซี (mg/100g FW)		ปริมาณนารินจิน (mg/gDW)	
	4°C	35°C	4°C	35°C
0	76.09 ± 0.33^{aA}	76.09 ± 0.33^{aA}	4.41 ± 2.85^{cA}	4.41 ± 2.85^{cA}
1	75.11 ± 0.24^{bA}	72.15 ± 0.28^{bB}	4.41 ± 0.65^{cA}	4.40 ± 0.97^{cA}
2	72.33 ± 0.42^{cA}	68.89 ± 0.53^{cB}	4.41 ± 0.75^{cA}	4.37 ± 2.75^{bA}
3	70.99 ± 1.45^{dA}	62.11 ± 2.45^{dB}	4.40 ± 2.76^{cA}	4.33 ± 0.56^{aA}
4	69.46 ± 1.64^{e}	-	4.38 ± 0.87^{b}	-
5	64.11 ± 0.45^{f}	-	4.36 ± 0.92^{a}	-
6	63.89 ± 3.45^{g}	-	4.35 ± 2.48^{a}	-
7	60.17 ± 2.49^{h}	-	4.36 ± 1.98^{a}	-

หมายเหตุ: - หมายถึง ไม่ได้วิเคราะห์เนื่องจากส้มโอตัดแต่งเกิดการเน่าเสียจากเชื้อจุลินทรีย์

*ตัวอักษรยกพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) โดยวิธีของDuncan new multiple rang test

*ตัวอักษรยกพิมพ์ใหญ่แสดงความแตกต่างในแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) โดยวิธีของDuncan new multiple rang test

ตาราง 16 ผลการวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของส้มโอตัดแต่งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 35 องศาเซลเซียส

วันที่เก็บรักษา	DPPH (mgTE/gDW)		ABTS (mgTE/gDW)		FRAP (mgTE/gDW)	
	4°C	35°C	4°C	35°C	4°C	35°C
0	6.13±0.39$^{c\,A}$	6.13±0.39$^{b\,A}$	6.25±0.05$^{e\,A}$	6.25±0.05$^{c\,A}$	10.41±0.24$^{c\,A}$	10.41±0.24$^{b\,A}$
1	5.98±0.78$^{bc\,A}$	5.73±0.45$^{ab\,A}$	5.95±0.25$^{de\,A}$	5.22±0.07$^{b\,B}$	10.07±0.31$^{bc\,A}$	10.04±0.13$^{b\,A}$
2	5.87±0.23$^{abc\,A}$	5.61±0.32$^{ab\,A}$	5.83±0.23$^{cd\,A}$	5.12±0.06$^{b\,B}$	9.89±0.36$^{ab\,A}$	9.51±0.25$^{a\,A}$
3	5.84±0.21$^{abc\,A}$	5.24±0.16$^{a\,B}$	5.74±0.21$^{cd\,A}$	4.61±0.13$^{a\,B}$	9.67±0.09$^{ab\,A}$	9.23±0.51$^{a\,A}$
4	5.77±0.09^{abc}	-	5.56±0.20^{bc}	-	9.50±0.26^{a}	-
5	5.57±0.19^{abc}	-	5.30±0.21^{ab}	-	9.40±0.40^{a}	-
6	5.33±0.12^{ab}	-	5.29±0.15^{ab}	-	9.39±0.19^{a}	-
7	5.30±0.03^{a}	-	5.19±0.06^{a}	-	9.36±0.14^{a}	-

หมายเหตุ: - หมายถึง ไม่ได้วิเคราะห์เนื่องจากส้มโอตัดแต่งเกิดการเน่าเสียจากเชื้อจุลินทรีย์

*ตัวอักษรยกพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) โดยวิธีของDuncan new multiple rang test

*ตัวอักษรยกพิมพ์ใหญ่แสดงความแตกต่างในแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) โดยวิธีของDuncan new multiple rang test

ตอนที่ 3 ศึกษาผลของอุณหภูมิ และเวลา ต่อจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ลักษณะทางเคมีกายภาพ การสลายของวิตามินซี สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระของน้ำส้มโอ

1. **สมบัติทางจุลชีววิทยา**

ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราของน้ำส้มโอที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อและไม่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อพบว่าน้ำส้มโอที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อที่ 65 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30นาที และที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วินาทีในตัวอย่างน้ำส้มโอจากส้มโอสุก 90% ไม่พบการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย ยีสต์และราจนถึงวันที่14 (ตาราง16) เนื่องจากความร้อนทำให้โปรตีนและส่วนประกอบภายในเซลล์ของจุลินทรีย์เสียสภาพไปจึงทำให้กำจัดหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Predo, et al. (2013) พบว่าการพาสเจอไรซ์ที่ 95 องศาเซลเซียสในน้ำทับทิมสามารถทำลายและยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีกว่า การพาสเจอไรซ์ที่ 60 องศาเซลเซียส ในขณะที่ตัวอย่างน้ำส้มโอจากส้มโอสุก 100% พบแบคทีเรียทั้งหมดในตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนในวันที่ 6 และพบยีสต์และราในวันที่ 12 อาจเนื่องมาจากเชื้อเริ่มต้นมากกว่าตัวอย่างจากส้มโอสุกร้อยละ 90 และอาจเกิดการการปนเปื้อนหลังจากการให้ความร้อน เช่น กระบวนการบรรจุและปิดผนึก

ตาราง 17 จำนวนแบคทีเรียทั้งหมด และจำนวนยีสต์และราทั้งหมดของน้ำส้มโอจากส้มโอพันธุ์ท่าข่อยที่ระยะการสุกร้อยละ90

วันที่เก็บรักษา	จุลินทรีย์ทั้งหมด log CFU/g			ยีสต์และราทั้งหมด log CFU/g		
	น้ำส้มโอสด	LTLT	HTST	น้ำส้มโอสด	LTLT	HTST
0.00	1.48±0.2	ND	ND	ND	ND	ND
2.00	2.57±0.1	ND	ND	ND	ND	ND
4.00	2.64±0.1	ND	ND	2.35±0.3	ND	ND
6.00	2.73±0.1	ND	ND	2.05±0.0	ND	ND
8.00	2.84±0.0	ND	ND	2.36±0.0	ND	ND
10.00	2.80±0.1	ND	ND	2.46±0.1	ND	ND
12.00	2.81±0.1	ND	ND	2.49±0.1	ND	ND
14.00	2.90±0.5	ND	ND	2.40±0.1	ND	ND

ตาราง 18 จำนวนแบคทีเรียทั้งหมด และจำนวนยีสต์และราทั้งหมดของน้ำส้มโอพันธุ์ ท่าข่อย ที่ระยะการสุกร้อยละ 100

วันที่เก็บ	จุลินทรีย์ทั้งหมด log CFU/g			ยีสต์และราทั้งหมด log CFU/g		
รักษา	น้ำส้มโอสด	LTLT	HTST	น้ำส้มโอสด	LTLT	HTST
0.00	3.89±0.1	ND	ND	ND	ND	ND
2.00	4.01±0.3	ND	ND	ND	ND	ND
4.00	4.47±0.1	ND	ND	4.47±0.3	ND	ND
6.00	4.90±0.0	1.04±0.5	ND	4.90±0.0	ND	ND
8.00	6.51±0.5	1.96±0.2	ND	4.34±0.0	ND	ND
10.00	6.37±0.1	2.33±0.1	2.15±0.5	4.34±0.0	ND	ND
12.00	6.82±0.0	3.40±0.5	3.23±0.2	5.77±0.0	2.75±0.1	ND
14.00	2.90±0.2	3.45±0.1	3.27±0.1	5.89±0.0	3.31±0.2	2.76±0.0

หมายเหตุ: ND หมายถึง ตรวจไม่พบ

2. สมบัติทางเคมีกายภาพ

สมบัติทางเคมีกายภาพได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่ากรดที่ไทเทรตได้ และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของน้ำส้มโอ (ตาราง 19 และ20) มีค่าอยู่ระหว่าง 4.15-4.33, 1.00-1.21 กรัมกรดซิตริกต่อกิโลกรัม และ 8.00-12.00 องศาบริกซ์ ตามลำดับ งานวิจัยนี้พบว่าอุณหภูมิการพาสเจอร์ไรซ์มีผลต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำส้มโอ โดยมีค่าแตกต่างกันทางสถิติที่ $p<0.05$ แต่ไม่เป็นแนวโน้ม ซึ่งขัดแย้งกับงานวิจัยที่เคยมีการศึกษาก่อนหน้านี้ Rivas, et al. (2005) พบว่าในน้ำส้มผสมน้ำแครอท เมื่อผ่านการพาสเจอไรซ์ที่ 98 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 วินาทีมีค่าความเป็นกรด-ด่างไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p<0.05$) กับน้ำส้มผสมน้ำแครอทสด (Rivas, et al., 2005)

ตาราง 19 ลักษณะทางเคมีกายภาพ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่ากรดจากการไทเทรต และของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำส้มโอจากส้มโอพันธุ์ท่าข่อยที่ระยะการสุกร้อยละ 90

วันที่เก็บรักษา	pH			TA (g citric acid/kg)			TSS (°Brix)		
	น้ำส้มโอสด	LTLT	HTST	น้ำส้มโอสด	LTLT	HTST	น้ำส้มโอสด	LTLT	HTST
0	$4.19\pm0.01^{cd\,A}$	$4.23\pm0.01^{a\,B}$	$4.25\pm0.00^{b\,C}$	$1.13\pm0.01^{a\,A}$	$1.15\pm0.01^{a\,B}$	$1.18\pm0.00^{abc\,C}$	10.17 ± 0.00^{aA}	10.50 ± 0.00^{bB}	11.00 ± 0.00^{cC}
2	$4.15\pm0.01^{a\,A}$	$4.22\pm0.01^{a\,B}$	$4.26\pm0.00^{bcd\,C}$	$1.14\pm0.01^{ab\,A}$	$1.17\pm0.01^{ab\,B}$	$1.20\pm0.02^{bc\,C}$	10.50 ± 0.29^{bA}	10.00 ± 0.00^{aB}	11.00 ± 0.00^{cB}
4	$4.20\pm0.00^{de\,A}$	$4.24\pm0.01^{ab\,B}$	$4.26\pm0.01^{cd\,C}$	$1.14\pm0.01^{ab\,A}$	$1.17\pm0.01^{ab\,B}$	$1.20\pm0.00^{bc\,C}$	10.00 ± 0.00^{aA}	10.33 ± 0.29^{bB}	10.50 ± 0.00^{bC}
6	$4.19\pm0.01^{cd\,A}$	$4.23\pm0.01^{a\,B}$	$4.22\pm0.01^{a\,B}$	$1.17\pm0.01^{a\,A}$	$1.21\pm0.02^{ab\,B}$	$1.14\pm0.00^{c\,C}$	10.00 ± 0.000^{aA}	11.00 ± 0.00^{cA}	10.67 ± 0.29^{bA}
8	$4.18\pm0.01^{bc\,A}$	$4.24\pm0.02^{ab\,B}$	$4.27\pm0.01^{cd\,C}$	$1.14\pm0.01^{a\,A}$	$1.17\pm0.00^{ab\,A}$	$1.15\pm0.01^{a\,A}$	10.50 ± 0.00^{bA}	11.00 ± 0.00^{cA}	10.00 ± 0.00^{aA}
10	$4.18\pm0.01^{b\,A}$	$4.24\pm0.01^{ab\,B}$	$4.27\pm0.00^{d\,C}$	$1.17\pm0.01^{a\,A}$	$1.16\pm0.01^{ab\,A}$	$1.16\pm0.00^{a\,A}$	10.00 ± 0.00^{aA}	10.50 ± 0.00^{bA}	11.00 ± 0.00^{cA}
12	$4.21\pm0.01^{e\,A}$	$4.26\pm0.02^{b\,B}$	$4.26\pm0.02^{cd\,B}$	$1.15\pm0.01^{ab\,A}$	$1.15\pm0.00^{a\,A}$	$1.17\pm0.02^{ab\,A}$	10.50 ± 0.00^{bA}	10.50 ± 0.00^{bA}	10.50 ± 0.00^{bA}
14	$4.19\pm0.01^{cd\,A}$	$4.22\pm0.01^{a\,B}$	$4.26\pm0.00^{bc\,C}$	$1.21\pm0.02^{c\,A}$	$1.19\pm0.01^{b\,A}$	$1.16\pm0.02^{a\,A}$	10.00 ± 0.00^{aA}	10.33 ± 0.00^{bA}	11.00 ± 0.00^{cA}

หมายเหตุ: *ตัวอักษรยกพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) โดยวิธีของDuncan new multiple rang test

*ตัวอักษรยกพิมพ์ใหญ่แสดงความแตกต่างในแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) โดยวิธีของDuncan new multiple rang test

ตาราง 20 ลักษณะทางเคมีกายภาพ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่ากรดจากการไทเทรต และของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำส้มโอพันธุ์ท่าข่อยที่ระยะการสุกร้อยละ 100

วันที่เก็บรักษา	pH			TA (g citric acid/kg)			TSS (°Brix)		
	น้ำส้มโอสด	LTLT	HTST	น้ำส้มโอสด	LTLT	HTST	น้ำส้มโอสด	LTLT	HTST
0	4.25 ± 0.01^{bA}	4.27 ± 0.01^{abcB}	4.33 ± 0.01^{fC}	1.08 ± 0.01^{aA}	1.09 ± 0.03^{cdA}	1.08 ± 0.01^{bA}	11.00 ± 0.00^{aA}	9.17 ± 0.29^{aB}	8.00 ± 0.00^{aC}
2	4.24 ± 0.01^{abA}	4.28 ± 0.01^{cdB}	4.28 ± 0.02^{bB}	1.08 ± 0.03^{aA}	1.11 ± 0.04^{dA}	1.09 ± 0.03^{bA}	11.00 ± 0.29^{aA}	11.50 ± 0.00^{bA}	10.00 ± 0.00^{aA}
4	4.24 ± 0.02^{abA}	$4.29\pm0,01^{dB}$	4.30 ± 0.01^{deB}	1.03 ± 0.01^{aA}	1.09 ± 0.02^{cdB}	1.09 ± 0.03^{bB}	11.00 ± 0.00^{aA}	11.50 ± 0.00^{bA}	11.00 ± 0.00^{aA}
6	4.25 ± 0.01^{bA}	4.32 ± 0.01^{eB}	4.30 ± 0.00^{eB}	1.04 ± 0.05^{aA}	1.00 ± 0.04^{aA}	1.10 ± 0.03^{bB}	11.00 ± 0.00^{aA}	11.83 ± 0.29^{cB}	11.50 ± 0.00^{aC}
8	4.24 ± 0.01^{abA}	4.28 ± 0.01^{bcdB}	4.29 ± 0.01^{cdC}	1.08 ± 0.05^{aA}	1.08 ± 0.03^{bcdA}	1.08 ± 0.05^{bA}	10.50 ± 0.00^{aA}	12.00 ± 0.00^{cA}	11.50 ± 0.00^{aA}
10	4.22 ± 0.02^{aA}	4.26 ± 0.01^{aB}	4.28 ± 0.03^{bcC}	1.08 ± 0.01^{aA}	1.03 ± 0.02^{abA}	1.01 ± 0.06^{aA}	10.00 ± 0.00^{aA}	12.00 ± 0.00^{cA}	11.50 ± 0.00^{aA}
12	4.25 ± 0.05^{bA}	4.27 ± 0.07^{abB}	4.24 ± 0.01^{aA}	1.04 ± 0.07^{aA}	1.04 ± 0.05^{abcA}	1.10 ± 0.01^{bA}	11.00 ± 0.00^{aA}	11.50 ± 0.00^{bA}	11.50 ± 0.00^{aA}
14	4.25 ± 0.01^{bA}	4.28 ± 0.01^{bcdB}	4.29 ± 0.01^{cdC}	1.08 ± 0.02^{aA}	1.10 ± 0.02^{dB}	1.07 ± 0.01^{bA}	11.00 ± 0.00^{aA}	12.00 ± 0.00^{cA}	11.50 ± 0.00^{aA}

หมายเหตุ: *ตัวอักษรยกพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) โดยวิธีของDuncan new multiple rang test

*ตัวอักษรยกพิมพ์ใหญ่แสดงความแตกต่างในแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) โดยวิธีของDuncan new multiple rang test

3. สมบัติทางเคมี

3.1 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Bioactive compound)

ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของตัวอย่างน้ำส้มโอที่ผ่านการให้ความร้อน และไม่ให้ความร้อนของน้ำส้มโอจากส้มโอสุกร้อยละ 90 จากวันที่ 0 -14 ที่เก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียสมีค่าอยู่ระหว่าง 0.873-0.442 มิลลิกรัมกรดแกลิคต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (ตาราง 20) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างที่ไม่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน และให้ความร้อนพบว่าเมื่อให้ความร้อนทำให้ปริมาณฟีนอลิคมีค่าลดลง โดยเมื่อให้ความร้อนที่ 95 องศาเซลเซียส จะทำให้ปริมาณฟีนอลิคลดลงมากกว่าให้ความร้อนที่ 65 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับตัวอย่างน้ำส้มโอจากส้มโอที่ระยะการสุกร้อยละ 100 ที่มีปริมาณฟีนอลลิคลดลงเมื่อให้ความร้อน ดังนั้นสามารถบอกได้ว่าอุณหภูมิในการพาสเจอร์ไรซ์มีผลต่อการสลายของสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด เนื่องมาจากออกซิเจนในระหว่างการให้ความร้อนทำให้เกิดการสลายของสารประกอบโพลีฟีนอล (Rawson et al., 2011) งานวิจัยของ Santhirasegaram, et al. (2013) พบว่าเมื่อให้ความร้อนที่ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 วินาที ทำให้ปริมาณโพลีฟีนอลลดลง ซึ่งมีค่าลดลงจากเริ่มต้น 38%

จากตาราง 21 และ 22 พบว่าปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมีปริมาณลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p<0.05$ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างที่ไม่ให้ความร้อน คือน้ำส้มโอสด และน้ำส้มโอที่ให้ความร้อน 2 ระดับ คือ LTLT และ HTST พบว่าน้ำส้มโอที่ให้ความร้อนที่ 95 องศาเซลเซียส หรือ HTST มีปริมาณฟลาโวนอยด์น้อยกว่าให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส หรือแบบ LTLT ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของน้ำส้มโอจากส้มโอที่ระยะการสุกร้อยละ 90 และ100 มีค่า 0.554-0.206 และ 0.454-0.172 มิลลิกรัมเควอเซทินต่อกรัมน้ำหนักแห้งตามลำดับ

ตาราง 21 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด และปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของน้ำส้มโอจากส้มโอที่ระยะการสุกร้อยละ90

วันที่เก็บรักษา	TPC (mgGEA/gDW)			TFC (mgQE/gDW)		
	น้ำส้มโอสด	LTLT	HTST	น้ำส้มโอสด	LTLT	HTST
0	0.56 ± 0.04^{cAB}	0.53 ± 0.03^{abA}	0.61 ± 0.00^{dB}	0.55 ± 0.01^{eA}	0.45 ± 0.00^{dB}	0.30 ± 0.01^{eC}
2	0.87 ± 0.02^{dA}	$0.52f\pm0.00^{eB}$	0.47 ± 0.03^{cC}	0.55 ± 0.02^{eA}	0.43 ± 0.01^{dB}	0.27 ± 0.02^{deC}
4	0.87 ± 0.04^{bA}	0.45 ± 0.02^{eB}	0.46 ± 0.01^{abB}	0.54 ± 0.02^{eA}	0.43 ± 0.01^{dB}	0.24 ± 0.01^{abcC}
6	0.81 ± 0.01^{abA}	0.47 ± 0.02^{dB}	0.48 ± 0.03^{abB}	0.54 ± 0.02^{eA}	0.42 ± 0.01^{cdB}	0.25 ± 0.01^{cdC}
8	0.57 ± 0.01^{bA}	0.44 ± 0.02^{cB}	0.45 ± 0.01^{aB}	0.52 ± 0.01^{deA}	0.39 ± 0.001^{bcdB}	0.24 ± 0.00^{bcC}
10	0.56 ± 0.01^{abA}	0.48 ± 0.02^{bcB}	$0.81\pm0.01a^{bcC}$	0.48 ± 0.04^{cA}	0.37 ± 0.01^{abcB}	0.54 ± 0.02^{abcC}
12	$0.53h\pm0.01^{abA}$	0.49 ± 0.01^{abB}	0.43 ± 0.01^{bcC}	0.43 ± 0.05^{bA}	0.35 ± 0.01^{abB}	0.22 ± 0.00^{abC}
14	0.52 ± 0.01^{aA}	0.48 ± 0.02^{aB}	0.44 ± 0.02^{abcB}	0.35 ± 0.05^{aA}	0.33 ± 0.03^{aB}	0.21 ± 0.05^{a}

หมายเหตุ: *ตัวอักษรยกพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) โดยวิธีของDuncan new multiple rang test

*ตัวอักษรยกพิมพ์ใหญ่แสดงความแตกต่างในแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) โดยวิธีของDuncan multiple rang test

ตาราง 22 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด และปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของน้ำส้มโอจากส้มโอที่ระยะการสุก ร้อยละ100

วันที่เก็บรักษา	TPC (mgGEA/gDW)			TFC (mgQE/gDW)		
	น้ำส้มโอสด	LTLT	HTST	น้ำส้มโอสด	LTLT	HTST
0	0.88 ± 0.01^{eA}	0.71 ± 0.01^{bB}	0.64 ± 0.05^{bC}	0.45 ± 0.02^{dA}	0.37 ± 0.03^{dB}	0.22 ± 0.00^{bC}
2	0.83 ± 0.01^{dA}	0.70 ± 0.01^{bB}	0.56 ± 0.02^{aC}	0.45 ± 0.01^{dA}	0.35 ± 0.01^{dB}	0.20 ± 0.01^{abC}
4	0.82 ± 0.01^{dA}	0.70 ± 0.02^{bB}	0.55 ± 0.01^{aC}	0.46 ± 0.01^{dA}	0.34 ± 0.01^{dB}	0.17 ± 0.01^{aC}
6	0.73 ± 0.01^{cA}	0.63 ± 0.01^{aB}	0.62 ± 0.05^{bB}	0.37 ± 0.01^{cA}	0.28 ± 0.01^{cB}	0.22 ± 0.02^{abC}
8	$0.70\pm.0.02^{bcA}$	$0.62f\pm0.04^{aB}$	0.54 ± 0.02^{aC}	0.34 ± 0.02^{cA}	0.28 ± 0.03^{cB}	0.21 ± 0.01^{abC}
10	0.69 ± 0.02^{bA}	0.60 ± 0.01^{aAB}	$0.73=\pm0.03^{aA}$	0.27 ± 0.00^{bA}	0.23 ± 0.05^{bB}	0.37 ± 0.01^{abB}
12	0.63 ± 0.05^{aA}	0.63 ± 0.00^{aA}	0.66 ± 0.03^{bA}	0.23 ± 0.01^{abA}	0.19 ± 0.05^{aA}	0.20 ± 0.03^{abA}
14	0.66 ± 0.02^{abA}	0.61 ± 0.01^{aB}	0.55 ± 0.01^{aC}	0.22 ± 0.02^{aA}	0.19 ± 0.01^{aB}	0.17 ± 0.01^{abB}

หมายเหตุ: *ตัวอักษรยกพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) โดยวิธีของDuncan new multiple rang test

*ตัวอักษรยกพิมพ์ใหญ่แสดงความแตกต่างในแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) โดยวิธีของDuncan new multiple rang test

การศึกษาปริมาณนารินจินของน้ำส้มโอจากส้มโอพันธุ์ท่าข่อยที่ระยะการสุกร้อยละ 90และ 100 พบว่าน้ำส้มโอจากส้มโอที่ระยะการสุกร้อยละ 100 มีปริมาณนารินจินน้อยกว่าที่ระยะการสุกร้อยละ 90 และเมื่อเปรียบเทียบผลของปริมาณนารินจินในน้ำส้มโอที่ให้ความร้อน และไม่ให้ความร้อนพบว่าอุณหภูมิการพาสเจอไรซ์มีผลต่อการลดลงของปริมาณนารินจิน (ตาราง 23 และ 24) โดยตัวอย่างน้ำส้มโอที่ให้ความร้อนที่ 95 องศาเซลเซียสทำให้ปริมาณนารินจินน้อยกว่าตัวอย่างน้ำส้มโอที่ให้ความร้อน 65 องศาเซลเซียสอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p<0.05$ ในวันที่ 0 พบว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนของน้ำส้มโอจากส้มโอที่ระยะการสุกร้อยละ 90 และ100 มีปริมาณนารินจิน 5.90 และ 5.56 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และเมื่อให้ความร้อนที่ 95 องศาเซลเซียส ปริมาณนารินจินมีค่าลดลงเหลือ 3.73 และ 4.72 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งตามลำดับ ซึ่งมีผลสอดคล้องกับ Igualm et al. (2011) ที่พบว่าน้ำเกรฟฟรุตที่ผ่านการให้ความร้อนในการพาสเจอไรซ์มีปริมาณนารินจินลดลงจาก 23 จนถึง 17 มิลลิกรัมต่อกรัม

ปริมาณวิตามินซีของน้ำส้มโอจากส้มโอพันธุ์ท่าข่อยที่ระยะการสุกร้อยละ 90 และ 100 มีค่าอยู่ระหว่าง 81.080-25.896 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด และ 45.506-14.916 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (ตาราง 23 และ 24) และพบว่าตัวอย่างน้ำส้มโอจากส้มโอสุกร้อยละ 90 มีปริมาณวิตามินซีมากกว่าน้ำส้มโอจากส้มโอสุกร้อยละ 100 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน และไม่ให้ความร้อนพบว่าน้ำส้มโอสด และน้ำส้มโอที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสมีปริมาณวิตามินซีลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p<0.05$ และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสมีปริมาณวิตามินซีลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p<0.05$ ปริมาณวิตามินซีที่ลดลงเนื่องมาจากวิตามินซีเป็นสารที่มีความไวต่อการสลายโดยสามารถสลายได้ที่อุณหภูมิสูง และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ และง่ายต่อการออกซิไดซ์ โดยเฉพาะสภาวะที่มีโลหะหนัก และอยู่ในภาวะความเป็นด่าง (Seung, et al., 2000)

3.2 กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activity)

ความสามารถต้านอนุมูลอิสระของน้ำส้มโอจากส้มโอพันธุ์ท่าข่อยที่ระยะการสุกร้อยละ 90 และ 100 ที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำส้มโอสด โดยมีค่าลดลงทั้ง 3 วิธี ได้แก่ DPPH assay, ABTS assay และ FRAP assay

กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระที่วิเคราะห์โดยใช้ 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazylเป็นอนุมูลอิสระหรือ วิธี DPPH และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) หรือวิธี ABTS พบว่าตัวอย่างน้ำส้มโอของส้มโอร้อยละ 90 ที่ให้ความร้อนทั้ง 2 แบบมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p<0.05$ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างน้ำส้มโอสด

และน้ำส้มโอที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ พบว่ามีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p<0.05$ เช่นเดียวกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระDPPH ของน้ำส้มโอจากส้มโอสุก 100% เมื่อผ่านการให้ความร้อน ทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมีค่าลดลง ซึ่งผลการวิจัยมีความสอดคล้องกับการศึกษาสารต้านอนุมูลอิสระของน้ำส้มที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่ 75องศาเซลเซียส และ 95 องศาเซลเซียส พบว่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระมีค่าลดลง ซึ่งหลังจากผ่านกระบวนการแปรรูปทำให้กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดหายไปร้อยละ 47 (Izquierdo, et al., 2002) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ทดสอบโดยวิธี FRAP assay พบว่าตัวอย่างน้ำส้มโอจากส้มโอสุกร้อยละ 90 ที่ผ่านความร้อน และไม่ให้ความร้อน มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ $p<0.05$ ขณะที่กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของน้ำส้มโอจากส้มโอสุก 100% มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p<0.05$ เมื่อให้ความร้อน กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระที่ลดลงเนื่องจากความร้อนทำให้เกิดการสลายของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ วิตามินซี ฟีนอลิค และฟลาโวนอยด์ ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

ตาราง 23 ปริมาณวิตามินซี และปริมาณนารินจินของน้ำส้มโอจากส้มโอที่ระยะการสุก ร้อยละ90

วันที่เก็บรักษา	Vitamin C (mg/100gFW)			Naringin (mg/gDW)		
	น้ำส้มโอสด	LTLT	HTST	น้ำส้มโอสด	LTLT	HTST
0	81.08±0.70^{cA}	59.21±0.66^{cB}	27.56±4.09^{aC}	5.58±1.29^{aA}	5.46±1.11^{eB}	3.73±2.56^{cC}
2	67.19±0.50^{abA}	53.84±0.78^{bB}	49.59±0.67^{dC}	5.90±4.61^{aA}	457±2.34^{dB}	3.61±2.56^{cC}
4	59.14±0.32^{aA}	64.01c±0.18^{cA}	56.18±0.09^{eA}	6.47±7.32^{aA}	3.92±2.45^{cB}	2.79±2.34^{bB}
6	63.99c±2.03^{abA}	50.35±0.25^{bB}	42.59±5.15^{cC}	6.02±4.54^{aA}	3.46±3.56^{bcB}	2.01±0.19^{aC}
8	59.37±13.04^{aA}	49.05±1.96^{abA}	35.87±7.92^{bB}	4.67±1.24^{aA}	3.45±1.56^{bA}	1.84±7.43^{aB}
10	59.01±0.00^{aA}	51.89e±7.81^{bA}	33.17±6.17^{abB}	4.73±2.34^{aA}	2.98±2.55^{aB}	1.81±1.87^{aC}
12	56.31±4.12^{aA}	44.59±3.78^{aB}	31.88±2.27^{abC}	5.61±1.45^{aA}	3.72±4.55^{bcA}	3.52±3.85^{cA}
14	56.40±2.01^{aA}	45.73±4.18^{aB}	25.90±3.89^{aC}	6.37±2.44^{aA}	3.60±2.64^{bcB}	1.83±1.46^{aC}

หมายเหตุ: *ตัวอักษรยกพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) โดยวิธีของDuncan new multiple rang test

*ตัวอักษรยกพิมพ์ใหญ่แสดงความแตกต่างในแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) โดยวิธีของDuncan new multiple rang test

ตาราง 24 ปริมาณวิตามินซี และปริมาณนารินจินของน้ำส้มโอจากส้มโอที่ระยะการสุก ร้อยละ100

วันที่เก็บรักษา	Vitamin C (mg/100gFW)			Naringin (mg/gDW)		
	น้ำส้มโอสด	LTLT	HTST	น้ำส้มโอสด	LTLT	HTST
0	45.51±0.28^{gA}	41.22±0.18^{dB}	37.16±0.57^{cC}	5.56±4.15^{aA}	4.92±5.22^{aB}	4.72±3.75^{dC}
2	38.40±0.27^{deA}	41.38±0.59^{dA}	31.48±0.92^{cA}	5.51±0.56^{aA}	4.76±0.98^{aB}	4.38±1.14^{cdB}
4	39.68±0.83^{deA}	40.66±7.12^{dA}	36.13±2.69^{cB}	5.86±1.37^{abA}	4.65±3.65^{aB}	4.44±2.45^{cdB}
6	40.15±3.64^{fA}	38.94±0.08^{cA}	32.95±5.63^{cB}	6.18±3.46^{bcA}	4.89±0.87^{aB}	4.31±0.92^{cdC}
8	37.26±8.44^{dA}	27.89±3.32^{bB}	26.35i±6.36^{bB}	6.43±2.54^{cdA}	4.65±2.76^{aB}	4.00i±0.29^{abcC}
10	33.97±1.57^{cA}	24.96±1.77^{aB}	24.24±5.05^{abB}	6.05±0.98^{bcA}	4.57f±4.24^{aB}	3.76±1.56^{abC}
12	14.92±10.03^{aA}	23.50j±2.57^{aB}	19.39±6.82^{abC}	6.64±3.65^{dA}	4.84±1.45^{aB}	4.07±3.24^{bcdC}
14	20.60±11.93^{bA}	23.58±0.43^{aB}	23.97±0.72^{aB}	6.99±3.76^{eA}	4.52±2.65^{aB}	3.50±1.11^{aC}

หมายเหตุ: *ตัวอักษรยกพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) โดยวิธีของDuncan new multiple rang test

*ตัวอักษรยกพิมพ์ใหญ่แสดงความแตกต่างในแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) โดยวิธีของDuncan new multiple rang test

ตาราง 25 กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของน้ำส้มโอจากส้มโอที่ระยะการสุก ร้อยละ90

วันที่เก็บรักษา	DPPH (mgTE/gDE)			FRAP (mgTE/gDE)			ABTS (mgTE/gDE)		
	น้ำส้มโอสด	LTLT	HTST	น้ำส้มโอสด	LTLT	HTST	น้ำส้มโอสด	LTLT	HTST
0	5.42±0.09^{aB}	5.03±0.11^{aA}	5.34±0.14^{dB}	10.64±0.28^{bcA}	10.64±0.06^{dA}	10.47±0.24^{abA}	4.59±0.19^{aA}	4.81±0.03^{bA}	4.56±0.06^{aB}
2	7.80±0.69^{dA}	5.00±0.06^{aB}	4.35±0.05^{cB}	10.74±0.04^{cA}	10.57±0.02^{dB}	10.54±0.08^{abB}	5.54±0.02^{cA}	5.36±0.04^{eB}	2.32±0.06^{bC}
4	7.54±0.19^{cdA}	5.44±1.75^{aB}	4.25±0.04^{bcB}	10.68±0.04^{bcA}	10.60±0.09^{dA}	10.54±0.10^{abA}	5.56±0.07^{cA}	5.65±0.02^{fA}	2.41±0.09^{bB}
6	7.10±0.07^{cA}	4.43±0.31^{aB}	4.01^{h}±0.23^{aB}	10.65±0.11^{bcA}	10.59±0.07^{dA}	10.52±0.05^{aA}	5.25±0.14^{bA}	5.40±0.10^{eA}	2.60±0.17^{bB}
8	7.22±0.16^{cA}	4.81±0.08^{aB}	4.26±0.05^{bcC}	10.38±0.06^{aA}	10.32±0.06^{cA}	10.29±0.05^{abA}	5.42±0.09^{cA}	5.32±0.09^{eA}	2.42±0.25^{bB}
10	6.56±0.14^{bA}	4.76± 0.04^{aB}	4.19±0.02^{bcC}	10.39±0.14^{aA}	10.26±0.11^{bcA}	10.38±0.06^{aA}	5.49±0.10^{cA}	4.52±0.06^{aB}	2.72±0.76^{bC}
12	7.21±0.07^{cA}	4.85±0.17^{aB}	4.32±0.09^{cC}	10.38 ±0.11^{aA}	10.16±0.03a^{bB}	10.10±0.07^{aB}	5.79±0.66^{dA}	5.21±0.04^{dB}	2.60^{i}±0.25^{bC}
14	5.54±0.1^{1aA}	4.21±0.11^{aB}	4.04±0.25^{aB}	10.44±0.14^{abA}	10.07±0.07^{aA}	10.89±0.75^{bA}	5.15±0.13^{bA}	4.95±0.04^{cA}	2.499^{hi}±0.25^{bB}

หมายเหตุ: *ตัวอักษรยกพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) โดยวิธีของDuncan new multiple rang test

*ตัวอักษรยกพิมพ์ใหญ่แสดงความแตกต่างในแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) โดยวิธีของDuncan new multiple rang test

ตาราง 26 กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของน้ำส้มโอจากส้มโอที่ระยะการสุก ร้อยละ100

วันที่เก็บรักษา	DPPH (mgTE/gDE)			FRAP (mgTE/gDE)			ABTS (mgTE/gDE)		
	น้ำส้มโอสด	LTLT	HTST	น้ำส้มโอสด	LTLT	HTST	น้ำส้มโอสด	LTLT	HTST
0	6.68±0.73^{dA}	5.46±0.11^{eB}	5.41±0.10^{eB}	10.49±0.02^{cA}	10.23±0.03^{eB}	10.06 ±0.06^{dC}	0.69±0.03^{cA}	0.57±0.02^{bB}	0.69±0.01^{cA}
2	4.89±0.04^{bcA}	5.20±0.03^{dB}	3.55±0.11^{cC}	10.71±0.01^{cA}	10.17±0.04^{dB}	10.00±0.03^{cdC}	0.69±0.28^{cA}	1.12±0.68^{cA}	0.31±0.01^{bA}
4	5.15±0.07^{cA}	4.71±0.23^{cB}	3.45±0.09^{dC}	10.48±0.04^{cA}	10.21±0.07^{dB}	9.95±0.07^{bcdC}	0.53±0.07^{bcA}	0.45±0.06^{abB}	0.26±0.02^{abC}
6	4.47±0.04^{abA}	3.90±0.11^{bB}	3.69±0.11^{cC}	10.34±0.07^{abcA}	10.000±0.12^{bcdB}	9.81±0.06^{bcC}	0.46±0.06^{bA}	0.35±0.03^{abB}	0.25±0.03^{abC}
8	4.68±0.10^{abcA}	3.63±0.10^{aB}	3.57±0.15^{cB}	10.39±0.04^{bcA}	10.02±0.05^{cdB}	9.78±0.09^{bC}	0.51±0.02^{bcA}	0.34±0.06^{abB}	0.22±0.06^{abC}
10	4.65±0.11^{abcA}	3.501±0.20^{aB}	3.22±0.04^{bC}	10.27±0.09^{abA}	9.78±0.12^{abB}	9.28±0.02^{aC}	0.46±0.02^{bA}	0.29±0.06^{abB}	0.22±0.06^{abC}
12	4.32±0.11^{aA}	3.66±0.10^{aB}	3.09±0.47^{bB}	10.17±0.16^{aA}	9.68±0.29^{aB}	9.20±0.29^{aB}	0.12±0.08^{aA}	0.02±0.03^{aA}	0.13±0.19^{aA}
14	4.26±0.15^{aA}	3.47±0.10^{aB}	2.70±0.11^{aC}	10.21±0.13^{abA}	9.88±0.10^{abcB}	9.28±0.10^{aC}	0.25±0.02^{aA}	0.09±0.04^{aB}	0.19±0.07^{aA}

หมายเหตุ: *ตัวอักษรยกพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) โดยวิธีของDuncan new multiple rang test

*ตัวอักษรยกพิมพ์ใหญ่แสดงความแตกต่างในแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) โดยวิธีของDuncan new multiple rang test

ตอนที่ 4 ศึกษาผลของอุณหภูมิขาเข้า และปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยของผงน้ำส้มโอต่อคุณภาพทางเคมีกายภาพ และสมบัติทางเคมี

1. สมบัติทางเคมีกายภาพ

1.1 ความชื้น

ปริมาณความชื้น (moisture contents) ของน้ำส้มโอผงมีค่าอยู่ระหว่าง 3.02-5.03% ตัวอย่างที่มีค่าความชื้นต่ำสุดคือ มอลโตเด็กทรินซ์ร้อยละ 10.2 และที่อุณหภูมิทำแห้งที่ 180 องศาเซลเซียส (ตาราง 27) ปริมาณมอลโตเด็กทรินซ์เพิ่มขึ้นมีผลให้ปริมาณความชื้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p< 0.05$ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mishra, et al. (2014) ที่ศึกษาอิทธิพลของปริมาณมอลโตเด็กทรินซ์ และอุณหภูมิขาเข้าต่อสมบัติทางกายภาพของผงน้ำมะขามป้อม พบว่าปริมาณมอลโตเด็กทรินซ์เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5 - 9 จะทำให้ความชื้นลดลงจากร้อยละ 5.6 - 3.83 ปริมาณความชื้นที่ลดลงเกิดจากการเพิ่มปริมาณมอลโตเด็กทรินซ์ทำให้ของแข็งเพิ่มขึ้น และลดความชื้นที่ระเหย (Grabowski, et al., 2006; Kha, et al., 2010) และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้ความชื้นลดลงเนื่องจากอุณหภูมิสูงทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนสู่อนุภาคได้มากขึ้นจึงทำให้เกิดการระเหยน้ำออกจากตัวอย่างได้ง่าย (Quek, et al., 2007; Solvol, et al., 2012)

1.2 ค่าสี $L^* a^* b^*$

ค่า L^* แทนความสว่างมีค่าอยู่ระหว่าง 89.108 - 91.520 ตัวอย่างที่มีค่ามากสุดคือมอลโตเด็กทรินซ์ร้อยละ 6.9 และที่อุณหภูมิทำแห้งที่ 200 องศาเซลเซียส ค่า a^* และ b^* มีค่าอยู่ระหว่าง -2.513 ถึง -2.773 และ 8.890 - 12.042 ตามลำดับ (ตาราง27) จากงานวิจัยที่มีการศึกษาผ่านๆมาพบว่าค่าสี L^* ของผงน้ำแตงโมเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณมอลโตเด็กทรินซ์เพิ่มขึ้น (Oberoi and Sogi, 2015) เช่นเดียวกับตัวอย่างผงน้ำมะขามป้อมที่ค่าสี L^* หรือค่าความสว่างเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณมอลโตเด็กทรินเพิ่มขึ้น แต่ถ้าหากอุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความสว่างของตัวอย่างที่มีมอลโตเด็กทริน 9% มีค่าลดลง (Mishra, et al., 2013)

1.3 ความสามารถในการละลายน้ำ

ความสามารถในการละลายน้ำ (Water Solubility Index, WSI) ของน้ำส้มโอผงมีค่าอยู่ระหว่าง 90.47 - 93.56 โดยตัวอย่างที่มีมอลโตเด็กทรินซ์ร้อยละ 4.5 และที่อุณหภูมิทำแห้งที่ 200 องศาเซลเซียสพบว่ามีความสามารถในการละลายน้ำมากที่สุด (ตาราง 27) เมื่อปริมาณมอลโตเด็ก ทรินซ์เพิ่มขึ้นทำให้ค่าการละลายของน้ำส้มโอผงลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p< 0.05$ และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากถ้าอุณหภูมิขาเข้าสูงขึ้นทำให้ความชื้นลดลง และมี wet surface อยู่รอบอนุภาคน้อยเมื่อนำไปละลายน้ำจึงละลายได้ดีกว่าตัวอย่างผงที่มีความชื้นสูง (Peleg and Bagley, 1993) ผลจากการวิจัยนี้แตกต่างจาก

งานวิจัยของ Sousa, et al. (2008) ที่สังเกตเห็นว่าอุณหภูมิทำแห้งและปริมาณมองโตเด็กทรินซ์ไม่มีผลต่อความสามารถในการละลายน้ำ

2. **สมบัติทางเคมี**

2.1 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Bioactive compound)

ปริมาณวิตามินซีของผงน้ำส้มโออยู่ระหว่าง 29.436 - 44.899 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด น้ำส้มโอผงที่มีมอลโตเด็กทรินซ์ร้อยละ 4.5 และอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสมีประมาณวิตามินซีมากที่สุดคือ 44.90 มิลลิกรัมต่อ100 กรัมน้ำหนักสด (ตาราง28) จากการทดลองพบว่าปริมาณมอลโตเด็กทรินซ์ และอุณหภูมิทำแห้งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณวิตามินซี โดยปริมาณมอลโตเด็กทรินซ์เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณวิตามินซีมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการละลายผงมอลโตเด็กทรินซ์รวมกับน้ำส้มโอจะต้องใช้ความร้อนในการละลายซึ่งระยะเวลาในการให้ความร้อนจะแปรผันตามปริมาณมอลโตเด็กทรินซ์ ในขณะที่วิตามินซีเป็นวิตามินที่ไวต่อความร้อนและการเกิดออกซิเดชันได้ง่ายจึงสลายได้ง่าย (Fennema, 1976)

ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้แก่ สารประกอบฟีนอลิค สารประกอบฟลาโวนอยด์ และนารินจินของน้ำส้มโอผง มีค่าอยู่ระหว่าง 1.870-2.267 มิลลิกรัมกรดแกลิคต่อกรัมน้ำหนักแห้ง 0.851-1.095 มิลลิกรัมเควอเซทินต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และ 0.026-0.074 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ มอลโตเด็กทรินซ์ร้อยละ 6.9 และอุณหภูมิขาเข้าที่ 200 องศาเซลเซียสพบว่าปริมาณฟีนอลิคทั้งหมด และปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมากที่สุด อุณหภูมิทำแห้งสูงขึ้นเป็นผลให้ปริมาณฟีนอลิคลดลง และทำให้ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดเพิ่มขึ้น

ตาราง 27 % yield, ปริมาณความชื้น ค่าการละลายน้ำ และค่าสี *Lab* ของผงน้ำส้มโอพันธุ์ท่าข่อยที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ตัวอย่าง							
%malto dextin	Inlet Temperature (°C)	%yield	%MC	%WSI	L*	a*	b*
4.5	160	-	-	-	-	-	-
6.9	160	2.50^{d}	4.33±0.65^{b}	92.15±0.24^{e}	89.12±0.06^{d}	-2.51±0.01^{a}	8.89±0.02^{g}
10.2	160	4.70^{a}	3.12±0.24^{d}	90.47±0.22^{f}	89.11±0.07^{d}	-2.61±0.02^{b}	9.58±0.04^{f}
4.5	180	-	-	-	-	-	-
6.9	180	1.30^{g}	4.25±0.45^{c}	92.20±0.25^{d}	90.53±0.06^{c}	-2.66±0.03^{c}	9.59±0.01^{e}
10.2	180	4.60^{b}	3.02±0.26^{e}	89.99±0.64^{g}	90.72±0.09^{c}	-2.66±0.02^{d}	10.47±0.05^{d}
4.5	200	1.66^{e}	5.03±0.04^{a}	93.56±0.19^{a}	91.10±0.09^{b}	-2.68±0.01^{e}	12.04±0.03^{a}
6.9	200	1.60^{f}	4.27±0.87^{c}	93.04±0.18^{c}	91.52±0.02^{a}	-2.68±0.06^{f}	11.24±0.04^{c}
10.2	200	4.00^{c}	3.11±0.12^{d}	93.25±0.09^{b}	91.19±0.01^{ab}	-2.77±0.05^{g}	11.41±0.06^{b}

หมายเหตุ: สัญลักษณ์ – หมายถึงไม่สามารถผลิตผงน้ำส้มโอโดยกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

*ตัวอักษรยกที่แตกต่างในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) โดยวิธีของDuncan new multiple rang test

ตาราง 28 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและปริมาณวิตามินซีในผงน้ำส้มโอพันธุ์ท่าข่อยที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ตัวอย่าง		Ascorbic acid	Naringin (mg/g DW)	TPC	TFC
% malto dextn	Inlet Temperature (°C)	(mg/100gFW)		(mgGAE/gDW)	(mgQE/g DW)
4.5	160	-	-	-	-
6.9	160	29.44±2.58 ^{b}	0.03±2.19 ^{c}	2.16±0.01 ^{ab}	0.89±0.00 ^{d}
10.2	160	30.12±3.66 ^{b}	0.03±3.51 ^{cd}	2.05±0.03 ^{bc}	0.85±0.01 ^{e}
4.5	180	-	-	-	-
6.9	180	37.26±4.72 ^{ab}	0.03±2.79 ^{c}	2.10±0.06 ^{bc}	0.89±0.00 ^{d}
10.2	180	33.91±4.44 ^{b}	0.03±3.25 ^{d}	2.04±0.00 ^{c}	0.85±0.00 ^{e}
4.5	200	44.90±0.75 ^{a}	0.07±5.51 ^{a}	1.87±0.10 ^{d}	1.06±0.02 ^{b}
6.9	200	34.14±1.57 ^{b}	0.06±0.83 ^{b}	2.27±0.03 ^{a}	1.09±0.03 ^{a}
10.2	200	30.95±4.20 ^{b}	0.03±0.91 ^{c}	1.92±0.01 ^{d}	1.03±0.01 ^{c}

หมายเหตุ: สัญลักษณ์ – หมายถึงไม่สามารถผลิตผงน้ำส้มโอโดยกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

*ตัวอักษรยกที่แตกต่างในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) โดยวิธีของDuncan new multiple rang test

2.2 กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activity)

กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของผงน้ำส้มโอทั้ง 3 วิธีได้แก่ DPPH assay, ABTS assay และ FRAP assay มีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิขาเข้าเพิ่มขึ้น และปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p<0.05$ (ตาราง 29) กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระที่ลดลงเมื่อมอลโตเด็กซ์ทรินเพิ่มขึ้นสามารถอธิบายได้ว่าอาจจะเป็นเพราะเกิดจากการเจือจางความสามารถการต้านอนุมูลอิสระจากปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน (Mishra, et al., 2014) และการเติมมอลโตเด็กทรินซ์เพิ่มขึ้นทำให้ไปลดอัตราส่วนของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่เป็นสารตั้งต้นในการเกิดกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งผลขัดแย้งกับ Kha et al. (2010) ซึ่งอธิบายว่าระดับที่แตกต่างกันของมอลโตเด็กซ์ทริน ไม่มีผลต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของผงน้ำฝักข้าว และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลงเนื่องจากอุณหภูมิสูงส่งผลให้เกิดการหยุดการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลลิค หรือทำให้เกิดการสังเคราะห์สารในรูปอื่นๆแทน (Mishra, et al., 2014)

ตาราง 29 แสดงกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของผงน้ำส้มโอพันธุ์ท่าข่อยที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ตัวอย่าง		DPPH	ABTS	FRAP
% malto dextin	Inlet Temperature (°C)	(mgTE/gDW)	(mgTE/gDW)	(mgTE/gDW)
4.5	160	-	-	-
6.9	160	6.67±0.11 [a]	5.51±0.07 [c]	16.56±0.02 [a]
10.2	160	5.64±0.13 [b]	6.20±0.08 [a]	15.91±0.12 [b]
4.5	180	-	-	-
6.9	180	6.64±0.16 [a]	5.70±0.11 [b]	16.32±0.32 [a]
10.2	180	5.74±0.05 [b]	5.37±0.05 [c]	15.89±0.21 [b]
4.5	200	5.18±0.05 [c]	4.44±0.04 [e]	15.98±0.14 [b]
6.9	200	3.47±0.29 [d]	4.11±0.23 [f]	15.78±0.19 [b]
10.2	200	2.77±0.03 [e]	5.17±0.34 [d]	15.50±0.16 [c]

หมายเหตุ: สัญลักษณ์ – หมายถึงไม่สามารถผลิตผงน้ำส้มโอโดยกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

*ตัวอักษรยกที่แตกต่างในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยวิธีของDuncan new multiple rang test

บทที่ 5

บทสรุป

สรุปผลการวิจัย

ส้มโอพันธุ์ท่าข่อยเป็นผลไม้ตระกูลส้มที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงโดยมีปริมาณวิตามินซี 71.0 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด และมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเช่น ฟลาโวนอยด์ และโพลีฟีนอลซึ่งเป็นสารที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ การกระจายตัวของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้แก่ โพลีฟีนอลและฟลาโวนอยด์รวมถึงฟลาโวนอยด์ชนิดนารินจิน พบมากที่สุดในส่วนของเยื่อหุ้มเนื้อ และพบน้อยที่สุดในเนื้อ ความสามารถการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี ABTS มีความสัมพันธ์โดยมีค่าสอดคล้องใกล้เคียงกับปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพมากที่สุด ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่พบในส้มโอพันธุ์ท่าข่อยมีความสามารถในการยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระ ABTS ได้มากกว่าอนุมูลอิสระ DPPH และ Fe^{3+}

ส้มโอตัดแต่งเป็นอีกทางเลือกของผลไม้ตัดแต่งในงานวิจัยนี้พบว่าอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียสและ 35 องศาเซลเซียสไม่มีผลต่อปริมาณนารินจิน และลักษณะทางเคมีกายภาพได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรดจากการไทเทรต และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ แต่มีผลทำให้ปริมาณฟีนอลิคทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ปริมาณวิตามินซี และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระมีค่าลดลงเมื่อเก็บรักษาที่ 35 องศาเซลเซียส ปริมาณจุลินทรีย์ และจำนวนยีสต์และราทั้งหมดในตัวอย่างส้มโอตัดแต่งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสปริมาณเชื้อจุลินทรีย์น้อยกว่าที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส โดยที่ 4 องศาเซลเซียสสามารถเก็บรักษาได้ถึง 4 วัน. ในขณะที่เก็บรักษาส้มโอตัดแต่งที่ 35 องศาเซลเซียสจะเสียจากจุลลินทรีย์ตั้งแต่วันที่ 1

เมื่อนำส้มโอมาเข้าสู่กระบวนการฆ่าเชื้อโดยใช้ความร้อน 2 แบบคือแบบ Low Temperature Long Time, LTLT หรือ 65 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที และ High Temperature Shot Time, HTSL หรือ 95 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วินาที พบว่ารูปแบบการให้ความร้อนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพ สมบัติทางเคมี และสมบัติทางชีววิทยา ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมในการพาสเจอไรซ์คือแบบ Low Temperature Long Time เนื่องจากการพาสเจอไรซ์ที่ 65 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที พบว่ายังคงรักษาปริมาณวิตามินซี และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้ดีกว่าแบบ High Temperature Shot Time

การทำแห้งแบบพ่นฝอยของน้ำส้มโอพันธุ์ท่าข่อยที่มีปริมาณมอลโตเด็กทรินซ์ร้อยละ 6.9 อุณหภูมิทำแห้งที่ 180 องศาเซลเซียสเป็นสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสม เนื่องจากพบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่วิเคราะห์โดยวิธี DPPH และ FRAP มากกว่าสภาวะอื่น โดยมีค่า 6.638 มิลลิกรัมโทล็อกซ์ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และ 16.319 มิลลิกรัมโทล็อกซ์ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ พบปริมาณวิตามินซี 37.261 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติที่ $p<0.05$ กับน้ำส้มโอผงที่สภาวะที่มีมอลโตเด็กทรินซ์ร้อยละ 4.5 และอุณหภูมิการทำแห้งที่ 200 องศาเซลเซียสที่มีปริมาณวิตามินซี 44.899 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด และจากการวิจัยพบว่าปริมาณมอลโตเด็กทรินซ์ที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการลดลงของกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ และความสามารถในการละลายน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p<0.05$ และเมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าการละลายน้ำเพิ่มขึ้น แต่ทำให้กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณฟีนอลิคทั้งหมดลดลง

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำส้มโอพันธุ์ท่าข่อยจากการให้ความร้อนแบบ Low Temperature Long time และแบบ High Temperature Shot Time และศึกษาลักษณะทางประสาทสัมผัสของผงน้ำส้มโอพันธุ์ท่าข่อย
2. ควรศึกษาความเสถียรภาพ (Stability) ของผงน้ำส้มโอพันธุ์ท่าข่อยต่อไป

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

กรมส่งเสริมการเกษตร จังหวัดสิงห์บุรี. (2550). *ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการจากผักและผลไม้พื้นบ้านในส่วนที่กินได้ 100 กรัม*. สืบค้น 10 มกราคม 2558 , จาก http://singburi.doae.go.th/acri/www/Nutrition/%E0%B9%8CNutri02_6.htm.

กฤษณ์ บุญอริยเทพ. (2545). *ฤทธิ์และสมบัติทางชีวเคมีของสารต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดจากมะม่วงพันธุ์เขียวเสวย* (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร.

จริงแท้ ศิริพานิช. (2549). *สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้*. กรุงเทพฯ: ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ.

จินตนา ศรีผุย. (2537). *การศึกษาผลของสภาวะการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีต่อคุณภาพสารชีวภาพ* (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ: เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ทนง ภัครัชพันธุ์. (2549). *วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร* (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธนาวรรณ สุขเกษม. (2552). *การศึกษาวิธีการยืดอายุการเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งโดยใช้ฟิล์มห่อหุ้มและสารเคลือบผิว* (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร.

นวลศรี รักอริยธรรม. (2545). *แอนติออกซิแดนท์: สารต้านมะเร็งในผัก - สมุนไพรไทย*. เชียงใหม่ : นพบุรีการพิมพ์.

ประสิทธิ์ อติวีระกุล. (2527). *เทคโนโลยีของผลไม้และผัก*. สงขลา: ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ปรีชา บุญจูง. (2550). *สารต้านอนุมูลอิสระ Radical scavenging agent*. กรุงเทพฯ: นิวไทยมิตรการพิมพ์ (1996).

ปิยศิริ สุนทรนนท์.(2551). *สารต้านอนุมูลอิสระในดอกดาเหลา* (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

เปรมปรี ณ สงขลา. (2527). *ทำสวนส้ม*. กรุงเทพฯ: มอนซานโต้ไทยแลนด์.

พร จันทร์ด่านกลาง. (2535). *การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับพืชไร่แมลง*. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์. (2536). *พลาสติก* (พิมพ์ครั้งที่ 10). กรุงเทพฯ: สัมพันธ์พาณิชย์.

วิไล รังสาดทอง. (2546). *เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร* (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ : เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชัน.

สมคิด เทียมรัศมี. (2548). *การปลูกส้มโอ*. กรุงเทพฯ: อักษรสยามการพิมพ์.

สมพร เกตุพงค์. (2534). *รายงานการวิจัยการศึกษาสภาพการทำสวนส้มโอของเกษตรกรในภาคกลาง*. ชัยนาท: สำนักงานส่งเสริมการเกษตรภาคกลาง.

เสาวภา ไชยวงศ์, และธีรพงษ์ เทพกรณ์. (2553). Flavoniods in thai pomelo. *Journal of application science*. 1531-7805

แอสเนี่ยน วอลจิ. (2540). *vitamin C*. นนทบุรี: แอลทีเพลส.

A.O.A.C. International. (2000). *Official methods of analysis of the association of official analytical chemists* (17th ed.). Avlington, VA, USA: Association of official analysis chemists Int.

Abeysinghe, D., Li, X., Sun, C. D., Zhang, W. S., Zhou, C. H., & Chen, K. S. (2007). Bioactive compounds and antioxidant capacities in different edible tissues of citrus fruit of four species. *Journal of Food Chemistry, 104*, 1338–1344.

Ahmed E. (2006). *Studies look at lengthening shelf life of fresh cut produce*. Retrieved February 1, 2015, from http://www.foodqualitynews.com/news/ng.asp?id=69060-usda-fresh-cut-shelf life.

Amadeo, G.V., Patrícia, V., Paula, B.A., Federico, F., Diego, A.M., & Cristina G.V. (2012). Phytochemical profile of a blend of black chokeberry and lemon juice with cholinestevase inhibition effect and antioxidant potential . *Journal of Food chemistry, 134*, 2090-2096

Babbar, N., Oberoi, H.S., Uppal, D.S., & Patil, R.T. (2011). Total phenolic content and antioxidant capacity of extracts obtained from six important fruit residues. *Journal of Food Research International, 44*, 391–396.

Benzie, I.F.F., & Strain, J.J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Journal of Analytical Biochemistry, 239*, 70–76.

Bemiller, J.N., & Whistler, R.L. (1996). Carbohydrates. In Fenema, O. (Ed), *Journal of Food Chemistry*. New York: Marcel Dekker

Bjelakovic, G., Nikolova, D., Gluud, L., Simonetti, R. G., & Gluud, C. (2008). Antioxidant supplements for prevention of mortality in healthy participants and patients with various diseases. *Journal of Cochrane Database of Systemic Reviews*, *2*, 439-467.

Bico, S.L.S., Raposo, M.F.J., Morais, R.M.S.C., & Morais, A.M.M.B. (2009). Combined Effects of chemical dip and/or carrageenan coating and/or controlled atmosphere on quality of fresh-cut banana. *Journal of Food Control*, *5*, 508-514.

Bocca , A., Cuvetier , M.E., Richard, H., & Berset, C. (1998). Antioxidant activity and phenolic composition of citrus peel and seed extracs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *49* (9), 2123-2127.

Chaiwong, S., Theppakorn, T., Suanphairoch, S., & Chanjirakul, K. (2010). Bioactive flavonoids in Thai pummelo for export. In *International Conference "Thai fruits-Functional fruits"*, , Bangkok: Challenger Hall, Muang Thong Thani.

Chegini, R.G., & Ghobadian, B. (2005). Effect of spray-drying conditions on physical properties of orange juice powder. *Journal of Drying Technology*, *23*, 657-668.

Cheong, M.N., Lui, S.Q., Zhou, W., Curran, P., & Yu, B. (2012). Chemical composition and sensory profile of pomelo (citrus grandis (L.) Obeck) juice. *Journal of Food chemistry*, *135*, 2505-2513.

Fang, Z., & Bhandari, B. (2012). Comparing the efficiency of protein and maltodextrin on spray drying of bayberry juice. *Journal of Food Research International*, *48*, 478–483.

Fennema, OR., (1976). *Principle of food science Part 1: Food chemistry*. New York: Marcel Dekker.

Food and Drug Administration (FDA). (2001). *Bacteriologiical Analytical Manual (BAM)*. Retrieved March 20, 2014, from http://www.fda.gov

Grabowski, J. A., Truong, V. D., & Daubert, C. R. (2006). Spray drying of amylase hydrolyzed sweetpotato puree and physicochemical properties of powder. *Journal of Food Science, 71*, 209-217.

Greenwald, C.G., & King, C.J. (1981). The effects of design and operating conditions on particle morphology for spray dried foods. *Journal of Food Process Engineering*, *4*, 171–187.

Goula, A.M., & Adamopoulos, K.G., (2005). Stability of lycopene during spray drying of tomato pulp. *Journal of LWT-Food Science and Technology*, *38*, 479–487.

Goula A.M., & Adamopoulos K.G. (2010) A new technique for spray drying orange juice concentrate. *Journal of Innovative Food Science and Emerging Technologies*, *11*, 342–351.

Halliwell, B., (1996). Antioxidants in human health and disease. *Annual Review of Nutrition*, *16*, 33–50.

Igual, M., García-Martínez, E., Camacho, M.M., & Martínez-Navarrete, N. (2011). Changes in flavonoid content of grapefruit juice caused by thermal treatment and storage. *Journal of Innovative Food Science and Emerging technologies*, *12* (2), 153-162.

Isabel, O., Serrano, Robert, S.F., & Olga, M.B. (2008). Effect of minimally processing on bioactive compounds and color attributes of fresh-cut tomatoes. *Journal of LWT – Food science and Technology*, *41*, 217-225.

Izquierdo, L., Carbonell, J. V., Sentandreu, E., Sendra, J. M., & Navarro, J. L. (2010). *Zumos cítricos refrigerados de alta calidad sensorial estabilizados por homogenizacióna alta presión*. N.P.: n.p.

Jaya, S., & Das, H. (2004). Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalcium phosphate on vacuum dried mango powder properties. *Journal of Food Engineering*, *63*, 125-134.

Kha, C.T., Nguyen, H.M., & Roach, D.P., (2010). Effects of spray dryingconditions on the physicochemical and antioxidantproperties of the Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit arilpowder. *Journal of Food Engeneering*, *98*, 385–392.

Kader A. A., & Seung K.L., (1993). Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Journal of Postharvest Biology and Technology*, *20*, 207–220

Kader, A.A., Zagory, D., & Kerbell, E.L. (1989). Modified atmosphere packaging of fruit and vegetables. *Journal of Food science*, *28*, 1-30.

Khan, MK., Abert-Vian, M., Fabiano-Tixier, AS., Dangles, O., & Chemat, F. (2010). Ultrasound-assisted extraction of polyphenols (flavanone glycosides) from orange (*Citrus sinensis* L.) peel. *Journal of Food Chemistry, 119*, 851–858.

Karina G.M., Michael S.P., Ronald B.P., & William L.K. (2013). Effect of time – temperature condition and clearification on the total phenolics and antioxidant constituents of muscadine grape juice. *Journal of LWT – Food science and Technology*, *53*, 327-330.

Knekt, P., Kumpulainen, J., Järvinen, R., Rissanen, H., Heliövaara, M., & Reunanen, A. (2004). Flavonoid intake and risk of chronic diseases. *Journal of Clinical Nutrition, 76*, 560–568.

Laorko, A., Tongchitpakdee, S., & Youravong, W. (2013). Storage quality of pineapple juice non-thermally pasteurized and clarified by microfiltration. *Journal of Food Engineering, 116*, 554-561.

Liesbeth, V., Iesel, V.d.P., Tara, G., Rian, A.H. T., Hennie, C.M., Ariette M.M., …, & Ann V. (2011) . omparing equivalent thermal, high pressure and pulsed electric field processes for mild pasteurization of orange juice: Part II: Impact on specific chemical and biochemical quality parameters. *Journal of Innovative Food Science and Emerging technologies, 12*(4), 466-477.

Lucera, A., Costaa, C., Mastromatteoa, M., Contea, A., & Del Nobile, M.A. (2011). Fresh-cut broccoli florets shelf-life as affected by packaging film mass stransport properties. *Journal of Food Engineering*, *102* (2), 122-129.

Ma, Y., Ye, X., Hao, Y., Xu, G., Xu, G., & Liu, D. (2008). Ultrasound-assisted extraction of hesperidin from Penggan (Citrus reticulata) peel. *Journal of Ultrason Sonochem*, *15*, 227–232.

Mäkynen K., Jitsaardkul, S., Tachasamran, P., Sakai, N., Puranachoti, S., Nirojsinlapachai, …, & Adisakwattana, S. (2013). Cultivar variations in antioxidant and antihyperlipidemic properties of pomelo pulp (Citrus grandis [L.] Osbeck) in Thailand. *Journal of Food chemistry*, *139*, 735-743.

Merve, T., Gamze, T., Dilek, B., Robert, H., Jules, B., & Esra, C. (2014). The effects of juice processing on black-mulberry antioxidants. *Journal of Food chemistry, 60* (2), 1155-1161.

Mill, S.H., & Tarr, R.E. (1992). *Fruit juice plus citrus fiber*. N.P.:n.p.

Mishra, P., Mishra, S., & Lata Mahanta, C. (2014). Effect of maltodextrin concentration and inlet temperatureduring spray drying on physicochemical and antioxidantproperties of amla (Emblica officinalis) juice powder. *Journal of Food and Bioproducts Processing, 92*, 252–258.

Nutawan, H. (2002). Modified atmosphere packaging on shelf life of fresh cut pineapple cv. Nang Lae. Chiang Rai: Mae Fah Luang University.

Pao, K. (2005). Spray drying of tamarind paste: effect of drying aid and drying condition on product quality. *Research of master engineering food engineering*. Thonburi: King mongkut's university of techenology thonburi.

Predo, M., Salud, V., Nuria M., García-Viguera, C., Domingo, S., & Manuel, V. (2013). Changes on indigenous microbiota, colour, bioactive compounds and antioxidant activity of pasteurised pomegranate juice. *Journal of Food Chemistry, 141*, 2122-2129.

Peleg, M., & Bagley,B. (1983). *Physical properties of Food*. Newyork: AVI Pubblishing company.

Peter, H., Pavel, T., & Marie, S. (2000). Flavonoids potent and versatile biologically active compounds interacting with cytochrome. *Journal of Chemico-biol Interact, 139*, 1-12.

Pichaiyongvongdee, S., & Haruenkit , R. (2009). Comparitive studies of Limonin & Naringin Distribution in Different Parts of Pummelo [Citrus grandis (L.) Osbeck] Cultivars Grown in Thailand. *Journal of Natural science, 43* (1), 28-36.

Phisut, N. (2012). Spray drying technique of fruit juice powder: some factors influencing the properties of product. *Journal of International Food Research, 19* (4), 1297-1306.

Pushkala, R., Parrathy, K.R., & Srividya, N. (2012). Chitosan of carrot shreds stored in macro perforated LDPE pack. *Journal of Innovative Food Science and Emerging Technologies*, *16*, 11-20.

Quek, Y.S., Chok, N.K., & Swedlund, P. (2007). The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Journal of Chemical Engineering and Processing*, *46*, 386-392

Ramful, D., Bahorun, T., Bourdon , E., Tarnus, E., & Aruoma ,OI. (2010). Bioactive phenolics and antioxidant propensity of flavedo extracts of Mauritian citrus fruits: potential prophylactic ingredients for functional foods application. *Journal of Toxicology, 278*, 75–87.

Ribeiro, M. H. L., Silveira, D., & Ferreira-Dias, S. (2002). Selective adsorption of limonin and naringin from orange juice to natural and synthetic adsorbents. *Journal of European Food Research and Technology, 215*, 462–471.

Rivas, A., Rodrigo, D., Martínez, A., Barbosa-Cánovas, G. V., & Rodrigo, M. (2005). Effect of PEF and heat pasteurization on the physical–chemical characteristics of blended orange and carrot juice. *Journal of Food and Science Technology*, *10*, 1163–1170

Sadlers, G.D., Parish, M.E., & Wicker, L. (1992). Microbial, emzymatic and chemical changes during storage of fresh and processed orange juice. *Journal of Food science, 57*, 1187-1197.

Shafqat , U., Arshad, H., Javid, A., Khaliqurrehman, & Asad U. (2012). A sample and Rapid HPLC Method for Analysis of Vitamin-C in Local Packed Juices of Pakistan. *Journal of Scientific research*, *12*, 1085-1091.

Singleton, V.L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventos, R.M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Journal of Methods Enzymol*, *299*, 152-178.

Siew Young, Q., Ngan King, C., & Peter, S. (2007). The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Journal of Chemical Engineering and Processing*, *46*, 386–392.

Solvol, K.M., Sundarajan, S., Alfaro, L., & Sathivel, S. (2012). Development of cantaloupe (*Cucumis melo*) juice powder usingspray drying technology. *Journal of LWT-Food Sci. Technology, 46*, 287–293.

Sonia, Z.V., Alicia, M., María, A.G., Ricardo, M. F., Miriam N. M., Alicia R.C., & Noemí E.Z. (2007) . Effects of polyvinylchloride films and edible starch coatings on quality aspects of refrigerated Brussels sprouts. *Journal of Food Chemistry, 103*, 701–709.

Sousa, A.S.D., Borges, S.V., Magalhaes, N.F., Ricardo, H.V., & Azavedo, A.D. (2008). Spray dried tomato powder: reconstitutionproperties and color. *Journal of Biology and Technology, 51* (4), 807–817.

Suzana, M., & Maria, V. E.G. (2003). Effects of Yam Starch Films on Storability and Quality of Fresh Strawberries (*Fragaria ananassa*). *Journal of Food Chemistry, 51*, 7005-7011.

Terefe, N.S., Kleintschek, T., Gamage, T., Fanning, K.J., Netzel, G., Versteeg, N., & Netzel, M. (2013). Comparative effect of thermal and high pressure processing on phenolic phytochemicals in dufferent strawberry cultivar. *Journal of Innovative Food Science and Emerging technologies, 19*, 57-65.

Tippani, R., Porika, M., Allenki, V., Anreddy, R., Yellu, N. R., & Krishna, D. (2010). Antioxidant and analgesic activities of pterocarpus marsupium Roxb. *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants, 16*, 63–68.

Tripoli , E., Guardia , M., Giammanco , S., Majo , D.D., & Giammanco , M.(2007). Citrus flavonoid : Molecular structure,biological activity and properties: A review. *Journal of Food Chemistry, 104*, 466-479.

Tonon, V.R., Brabet, C., & Hubinger, M. (2008). Influence of process conditions on the physicochemical properties of acai powder produced by spray drying. *Journal of Food Engineering, 88*, 411-418.

Tournas, V. H., Heeres, J., & Burgess, L. (2006). Moulds and yeasts in fruit salads and fruit juices. *Journal of Food Microbiology, 23*, 684-688.

Vaniya, C., Saranya, J., Naphaporn C., & Sakamon D. (2013). Important flavonoids and limonin in selected Thai citrus residues. *Journal of Functional Food, 5*, 1151-1158.

Waghmare, R.B., & Annapure, U.S. (2013). Combined effects of chemical treatment and/or modified atmosphere packaging (MAP) on quality of fresh-cut papaya. *Journal of Postharvest Biology and technology*, *85*, 147-153.

Wanpeng, X., Bo, F., Qiyang, Z., Bining, J., & Zhiqin, Z. (2014). Flavonoid composition and antioxidant activities of Chinese local pummelo (*Citrus grandis* Osbeck.) varieties. *Journal of Food Chemistry*, *161*, 230–238.

Wilson, C.W. (1980). *Guava. In* Nagy, S. and Shaw, P.E., (eds). *Tropical and Subtropical Fruit: Composition,Properties and Uses.* (pp.279-295). N.P.: n.p.

Xu, G., Liu, D., Chen, J., Ye, X., Ma, Y., & Shi, J. (2008). Juice components and antioxidant capacity of citrus varieties cultivated in China. *Journal of Food Chemistry*, *106*, 545–551.

Zisheng L., Yansheng W., Lei J., & Xu X. (2015). Effect of nano-CaCO3-LDPE packaging on quality and browning of fresh-cut yam. *Journal of LWT –Food science and Technology*, *60* (2), 1155-1161.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก การศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของผลส้มโอ ส้มโอตัดแต่ง น้ำส้มโอ และผงน้ำส้มโอพันธุ์ท่าข่อย

1. การวิเคราะห์ Proximate

1.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

1.1.1 ชั่งน้ำหนักถ้วยอลูมิเนียม พร้อมฝาที่ผ่านการอบแห้งจนมีน้ำหนักคงที่แล้ว บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน

1.1.2 ตัวอย่างที่ผ่านการบดละเอียดใส่ลงในถ้วย อลูมิเนียมประมาณ 3 กรัม เกลี่ยให้ตัวอย่าง สม่ำเสมอ แล้วปิดฝา บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน

1.1.3 วางตัวอย่างในตู้อบลมร้อนโดยเปิดฝาตู้อะลูมิเนียมบางส่วน อบที่อุณหภูมิ105 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง หรือจนได้น้ำหนักที่แน่นอน

1.1.4 เมื่อครบเวลาปิดฝาถ้วย และนำตัวอย่างใส่ในโถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็นจากนั้นนำออกมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

1.1.5 คำนวณปริมาณความชื้นจากสูตร

ปริมาณความชื้น (%) = ((W1-W2) / W) x 100

เมื่อ W= น้ำหนักตัวอย่าง

W1= น้ำหนักถ้วย + น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ

W2= น้ำหนักถ้วย + น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ

1.2 การวิเคราะห์ปริมาณไขมันโดยวิธีซอล์กเลต (AOAC, 2000)

วิธีการทดลอง

1.2.1 อบขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร โดยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน (W1)

1.2.2 ชั่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัม (W) ใส่กระดาษกรองเบอร์ 1 จากนั้นนำไปใส่ในทิมเบอร์กระดาษ (Cellulose Thimble) ปิดด้วยสำลีแล้วใส่ลงในชุดสกัดซอล์กเลต

1.2.3 สกัดโดยใช้ ปิโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum ether) ที่มีจุดเดือด 40-60 องศาเซลเซียส ตามเวลาที่กำหนด (ขึ้นอยู่กับปริมาณไขมันในตัวอย่าง) เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด ระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ออกจากตัวอย่าง

1.2.4 นำขวดก้นกลมที่มีไขมันเหลืออยู่ไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นช่างน้ำหนักที่แน่นอน (W2)

1.2.5 คำนวณปริมาณไขมันจากสูตร

ปริมาณไขมัน= =((W1-W2) / W) x 100

เมื่อ W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

W1 = น้ำหนักขวดก้นกลมก่อนอบ (กรัม)

W2 = น้ำหนักขวดก้นกลมและไขมันหลังอบ (กรัม)

1.3 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนโดยวิธีเคลดาห์ล (AOAC, 2000)

วิธีทดลอง

1.3.1 ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ลงในหลอด Kjeldahl เติมซิลิเนียมลงไป 3 กรัม จากนั้นเติมสารละลายกรดซัลฟูริคเข้มข้น 98% ปริมาตร 25 มิลลิลิตร

1.3.2 นำหลอดย่อยต่อเข้ากับชุดย่อยโปรตีน ย่อยตัวอย่างจนได้สารละลายใส ทิ้งไว้ให้เย็นและไม่มีไอระเหยของกรด

1.3.3กลั่นตัวอย่างที่ย่อยด้วยเครื่อง distillation unit โดยเติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร และ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 90 มิลลิลิตร เก็บส่วนที่กลั่นได้ในสารละลายบอริค เข้มข้น 2% ปริมาตร 60 มิลลิลิตร ที่มีอินดิเคเตอร์ผสมอยู่ ก๊าซแอมโมเนียมที่เกิดขึ้น ถูกควบแน่นจนหมด ได้ปริมาณสารละลายในบอริค ปริมาตร 200 มิลลิลิตร

1.3.4 ทำการไทเทรตส่วนที่กลั่นได้ด้วยสารละลายกรดซัลฟูริคเข้มข้น 0.1 N จนได้จุดยุติสีส้ม บันทึกปริมาตรที่ไทเทรตได้

1.3.5 คำนวณปริมาณโปรตีนจากสูตร

% ไนโตรเจน =(V1 – V2) x N x f x 1400 /E

% โปรตีน = % ไนโตรเจน x F

เมื่อ V1 = ปริมาณกรดซัลฟูริคที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง.

V2 = ปริมาณกรดซัลฟูริคที่ใช้ในการไทเทรต blank

N = ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริคที่ใช้ในการไทเทรต (0.1 N)

f = factor of acid = 1

E = น้ำหนักตัวอย่าง (มิลลิกรัม)

F = conversion factor = 6.25

1.4 การวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใย (AOAC, 2000)

วิธีการทดลอง

1.4.1 ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม (W) ลงในครูซิเบิล จากนั้นวางในตำแหน่งที่บรรจุfritted crucible ของเครื่อง Fibertec hot extraction unit

1.4.2 เติมสารละลายกรดซัลฟูริก 0.223 โมล ปริมาตร 150 มิลลิลิตร ลงในคอลัมน์ ทำการสกัดเป็นเวลา 30 นาที เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดปล่อยสารละลายกรดซัลฟูริกออกจากคอลัมน์ ล้างกรดออกจากตัวอย่างด้วยน้ำกลั่นเดือด

1.4.3 เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.128 โมล ปริมาตร 150 มิลลิลิตร ลงในคอลัมน์ ทำการสกัดเป็นเวลา 30 นาที เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด ปล่อยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ออกจากคอลัมน์ ล้างด่างออกจากตัวอย่างด้วยน้ำกลั่นเดือด

1.4.4 นำ fritted crucible พร้อมตัวอย่างที่ผ่านการสกัดด้วยกรดและด่างไปอบที่ 105 องศาเซลเซียส เป็น เวลา 5 ชั่วโมง ตั้งทิ้งให้เย็นในโถดูดความร้อน แล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอน จะได้น้ำหนักfritted crucible รวมกับกาก (W1)

1.4.5นำเข้าเตาเผา (muffle furnace) ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หรือจนได้เถ้า ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอน จะได้น้ำหนัก fritted crucible รวมกับเถ้า (W2)

1.4.6 คำนวณปริมาณเยื่อใยจากสูตร

ร้อยละของเยื่อใย =((W1 – W2) × 100)/W

เมื่อ W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

W1 = น้ำหนัก fritted crucible รวมกับกาก (กรัม)

W2 = น้ำหนัก fritted crucible รวมกับเถ้า (กรัม)

1.5 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC, 2000)

วิธีการทดลอง

1.5.1 เผาถ้วยกระเบื้อง (crucible) ในเตาเผา (muffle furnace) ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความร้อน ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน (W)

1.5.2 ชั่งตัวอย่างประมาณ 3 กรัม (W1) ลงในถ้วยกระเบื้อง นำไปเผาบน hot plateจนหมดควัน แล้วนำไปเผาต่อในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จนได้เถ้าสีขาว จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน (W2)

1.5.3 คำนวณปริมาณเถ้าในตัวอย่างได้จากสูตร

ร้อยละของเถ้า =((W2 – W1) × 100)/W

เมื่อ W = น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง (กรัม)

W1 = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

W2 = น้ำหนักถ้วยกระเบื้องและตัวอย่างหลังเผา (กรัม)

2. การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

2.1 ค่าสี

วัดสี ผงน้ำส้มโอพันธุ์ท่าข่อย ด้วยเครื่องวัดสี (HUNTER LAB รุ่น DP 9000) บันทึกค่าในระบบ CIE *L** *a** และ *b** โดยการนำผงน้ำส้มโอใส่ในกระบอกแก้ว สำหรับใส่ตัวอย่าง นำไปวัดค่าสี

2.1.1 เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ เข้าโปรแกรม universal software

2.1.2 ไปเมนู standardize และวางแผ่นมาตรฐานสีดำ บนเครื่อง กด read sample ตามด้วยแผ่นมาตรฐานสีขาว กด read sample

2.1.3 นำตัวอย่างผงน้ำส้มโอใส่ในแก้วสำหรับวัดค่าสี วางบนเครื่องวัดค่าสี และกด read sample บันทึกผลที่ได้

จะได้ค่าเฉลี่ยของค่าสีของผงน้ำส้มโอ และทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง รายงานผลเป็น

ค่าสี *L** คือ ค่าแสดงความสว่างของสี ซึ่งค่า *L** มีค่า 0 ถึง 100 ถ้าค่า *L** มากแสดงว่าสีสว่างมาก โดยที่ระดับ *L** เท่ากับ 0 จะเป็นสีดำ

ค่า *a** คือค่าแสดงระดับสีแดง- เขียวเมื่อค่า *a** เป็นบวกจะแสดงถึงลักษณะสีแดง และเมื่อค่า *a** เป็นลบจะแสดงลักษณะสีเขียว โดยเมื่อค่าห่างจาก 0 มากแสดงถึงค่าสีแดงหรือเขียวมากขึ้น

ค่า *b** คือ ค่าแสดงระดับสีเหลือง – น้ำเงิน เมื่อค่า *b** เป็นบวกแสดงถึงลักษณะสีเหลือง และเมื่อค่า *b** เป็นลบจะแสดงลักษณะสีน้ำเงิน โดยที่ค่าห่างจาก 0 มากแสดงถึงค่าสีเหลืองหรือน้ำเงินมากขึ้น

3. การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

3.1 สารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด (Total phenolic contents) (Singleton et al, 1999)

วิธีทดลอง

3.1.1 เตรียมสารละลายมาตรฐาน Gallic acid ความเข้มข้น 50-300 มิลลิกรัม/ลิตร นำสารสกัดตัวอย่าง 100 ไมโครลิตร (µl) ลงในหลอดทดลองเติมสารละลาย Folin- Ciocateu (เจือจางกับน้ำกลั่น อัตราส่วน 1:9) 500 ไมโครลิตร เตอมน้ำ 3 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียคาร์บอเนตเข้มข้น 15%ปริมาตร 1 มิลลิลิตร

3.1.2 เขย่าให้เข้ากัน 2 นาที จากนั้นเติมน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้เพื่อให้สารทำปฏิกิริยากัน 2 ชั่วโมงในที่มืด

3.1.3 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 750 นาโนเมตร

3.1.4 นำค่าที่ได้คำนวณผล เปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานกรดแกลิค

3.2 สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (Total Flavonoid contents) (Ramful et al., 2010)

3.2.1 สารสกัดตัวอย่าง 2.5 มิลลิลิตรใส่ในหลอดทดลอง ผสมกับ 150 ไมโครลิตร ของสารละลาย 5% โซเดียมไนไตร ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที

3.2.2 เติมสารละลาย 150 ไมโครลิตร ของ10% สารละลายอะลูมิเนียมคลอไรด์ ตั้งทิ้งไว้เพื่อทำปฏิกิริยา 1 นาที

3.2.3 เติม 1 มิลลิลิตร ของ 1 M NaOH วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 510 นาโนเมตร โดย UV-vis spectrophotometer

3.2.4 บันทึกผลและเปรียบเทียบผลกับสารละลายมาตรฐาน Quercertin

3.3 สารประกอบนารินจิน (Khan et al., 2012)

สกัดตัวอย่างโดย ชั่งตัวอย่าง 5 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ จากนั้นเติมสารละลาย 80 % อะซิโตน ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ทำการเขย่าเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลานำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1

สภาวะการตรวจวัดเครื่อง สภาวะเครื่อง HPLC มีดังนี้ คอลัมน์ C18, 250 nm x 4.6 mm (5 µm) อัตราการไหล 1 มิลลิลิตร ต่อนาที ตัวทำละลาย (Mobile phase) ที่ใช้คือ 0.5 % Acetic acid (A) และ 100 % acetonitrile (B) การไหลของตัวทำละลายเป็นแบบ gradient โดยนาทีที่ 1-20 ใช้ 10-30% B และนาทีที่ 25 ใช้ 35% B จนกระทั่งยุติการตรวจวัด ปริมาตรที่ฉีดเข้าเครื่อง HPLC คือ 20 ไมโครลิตร ใช้ตัวตรวจวัดแบบยูวีที่ความยาวคลื่น 280 นาโนเมตร ใช้เวลาทั้งหมด 40 นาที

3.4 วิตามินซี (Shafqat et al., 2012)

1. น้ำส้มโอ 5 มิลลิลิตร ผสมกับ mobile phase 5 มิลลิลิตร
2. หมุนเหวี่ยงที่ 5000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที
3. กรองโดยใช้ 0.45 µm
4. สภาวะของเครื่อง
   - ปริมาตรตัวอย่างที่ฉีดเข้าเครื่อง 10 µL

- Mobile phase คือ เมตะฟอสเฟอริคเอสิด และ เมทานอล อัตราส่วน 20:80
- อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที

3.5 กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ

สกัดตัวอย่างโดย ชั่งตัวอย่าง 5 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลาย 80% อะซิโตน เขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1

3.5.1 DPPH assay(Tippani et al., 2010)

1) 1 มิลลิลิตรของสารสกัดตัวอย่างส้มโอ ผสมกับ 2 มิลลิลิตรของ 0.1 mM 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)
2) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที
3) วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตรโดย UV-vis spectrophotometer
4) คำนวณผลและเปรียบเทียบผลกับสารละลายมาตรฐาน Tolox

3.5.2 FRAP assay (Benzie and Strain,1996)

1) เตรียมสารละลาย FRAP จาก 0.3 M acetate buffer (pH 3.6) 10 mM TPTZ ใน40nm HCl และ 20 mM FeCl3 ในอัตรส่วน 10:1:1 (v/v/v)
2) นำสารสกัดส้มโอ 200 ไมโครลิตร ผสมกับ 1.3 มิลลิลิตร ของ FRAP ตั้งทิ้งไว้ที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
3) วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 595 นาโนเมตรโดย UV-vis spectrophotometer
4) คำนวณผลและเปรียบเทียบผลกับสารละลายมาตรฐาน Tolox

3.5.3 ABTS assay(Babbar et al., 2011)

1) เตรียมสารละลาย ABTS จาก 7.4 mM ABTS ผสมกับ 2.6 mM potassium persulfate อัตราส่วน 1:1 ทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง นำมาเจือจางโดยใช้ เมทานอลเพื่อให้ได้ค่าการดูดกลืนแสงที่ 1.1 ที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร
2) นำสารสกัดตัวอย่าง 150 ไมโครลิตร ผสมกับ 2850 ไมโครลิตร ของสาร ABTS ที่เตรียมไว้ ตั้งทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง
3) วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 734นาโนเมตรโดย UV-vis spectrophotometer
4) คำนวณผลและเปรียบเทียบผลกับสารละลายมาตรฐาน Tolox

4. การวิเคราะห์สมบัติทางชีววิทยา

4.1 การวิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (FDA BAM, 2001)

4.1.1 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่บดแล้ว 25 กรัมใส่ในถุงพลาสติกปลอดเชื้อเติมสารละลายเปบโตน ความเข้มข้น ร้อยละ 0.1 ปริมาตร 225 มิลลิลิตร ที่ผ่านการฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดันที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส

4.1.2 นำไปผสมด้วยเครื่องตีผสมอาหารเป็นเวลา 60 วินาทีจะได้สารละลายตัวอย่างส้มโอที่มีความเจือจาง 10^{-1}จากนั้นใช้เปบโตน ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วถ่ายตัวอย่างปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดบรรจุสารละลายเปบโตน 9 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันได้เครื่องปั่นผสม

4.1.3 จะได้สารละลายตัวอย่างที่มีความเจือจาง 10^{-2} เจือจางสารละลายตัวอย่างต่อไปตามวิธีดังกล่าวข้างต้นจนได้สารละลายตัวอย่างที่มีความเจือจางเหมาะสม

4.1.4 ถ่ายสารละลายตัวอย่างที่มีความเจือจาง ระดับต่างๆใส่ลงในจานเพาะเชื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วจานละ 1 มิลลิลิตร ความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ

4.1.5 เทอาหารเลี้ยงเชื้อ plate count agar (PCA) หลอมเหลวอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสลงในจานเพาะเชื้อที่มีสารละลายตัวอย่างอยู่จานละประมาณ 15 มิลลิลิตร

4.1.6 ผสมสารละลายตัวอย่างและเทอาหารเลี้ยงเชื้อให้เข้ากันดีโดยหมุนจาน

4.1.7 วางทิ้งไว้จนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็งตัวจากนั้นคว่ำจานเพาะเชื้อลง นำไปบ่มเพาะเชื้อในตู้บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน 48 ชั่วโมง

4.1.8 เมื่อบ่มเพาะเชื้อครบตามกำหนดแล้วตรวจนับจำนวนโคโลนีบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อเฉพาะจานที่มีจำนวนโคโลนีอยู่ระหว่าง 25 - 250 โคโลนี

4.1.9 คำนวณหาค่าเฉลี่ยของจำนวนโคโลนี จากจานเพาะเชื้อทั้ง 3 ซ้ำ รายงานผลในรูป $\log_{10}$ CFU/g

4.2 วิเคราะห์ปริมาณยีสต์และรา (FDA BAM, 2001)

4.2.1 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่บดแล้ว 25 กรัมใส่ในถุงพลาสติกปลอดเชื้อ เติมสารละลายเปบโตนความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ปริมาตร 225 มิลลิลิตรที่ผ่านการฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดันที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส

4.2.2 นำไปผสมด้วยเครื่องตีผสมอาหารเป็นเวลา 60 วินาทีจะได้สารละลายตัวอย่างที่มีความเจือจาง10^{-1}จากนั้นใช้ปิเปตที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว ถ่ายตัวอย่างปริมาตร 1 มิลลิลิตรลงในหลอดบรรจุสารละลายเปบโตน 9 มิลลิลิตรผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นผสมจากนั้นจะได้สารละลายที่มีความแตกต่าง 10^{-2}

4.2.3 เจือจางสารละลายตัวอย่างต่อไปตามวิธีดังกล่าวข้างต้นจนได้สารละลายตัวอย่างที่มีความเจือจางเหมาะสม

4.2.4 ถ่ายสารละลายตัวอย่างที่มีความเจือจางระดับต่างๆ ใส่ลงในจานเพาะเชื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อที่มีอาหาร Rose Bengal Chloramphenical (RBC) Agar จานละ 0.1 มิลลิลิตร ความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ

4.2.5 ใช้แท่งแก้วปลอดเชื้อเกลี่ยตัวอย่างให้ทั่วผิวหน้าของอาหารแต่ละจานนำไปบ่มเพาะเชื้อโดยไม่ต้องความจำเพาะเชื้อในตู้บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3-5 วัน

4.2.6 เมื่อบ่มเชื้อครบตามกำหนดแล้วตรวจนับจำนวนโคโลนี บนจานอาหารเลี้ยงเชื้อเฉพาะจานที่มีจำนวน โคโลนีอยู่ระหว่าง 25 - 250 โคโลนี

4.2.7 คำนวณหาค่าเฉลี่ยของจำนวนโคโลนีจากจานเพาะเชื้อทั้ง 3 ซ้ำรายงานผลในรูป $\log_{10}$CFU/g