

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ส้มโอ

ส้มโอชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Citrus grandis* Linn. หรือ *Citrus maxima* Merr. อยู่ในวงศ์ Rutaceae ชื่อทางสามัญที่เรียกหลายชื่อ ได้แก่ Pummelo, Pomelo, Shaddock และ Barbados เป็นต้น นอกจากนี้ส้มโอยังเป็นผลไม้ตระกูลส้มที่มีขนาดใหญ่ที่สุดรองลงมา ได้แก่ เกรฟฟรุต ส้มเลมอน และมะนาว ตามลำดับ แต่ทั้งนี้ผลไม้ตระกูลส้มที่กล่าวมารวมทั้งส้มโอมีลักษณะทางพฤกษศาสตร์ที่คล้ายกัน (สมคิด เทียมรัมย์, 2548)

ส้มโอเป็นไม้ยืนต้นขนาดปานกลาง ทรงต้นโปร่ง สูงประมาณ 15 เมตร ใบหนาและใหญ่ สีส้มเขียวเข้มมันเล็กน้อย ลักษณะดอกเป็นดอกสมบูรณ์เพศ มีขนาดใหญ่ ซึ่งดอกเป็นดอกเดี่ยวหรือดอกช่อ แต่ละช่อมีดอกประมาณ 20 ดอก เมื่อโตเป็นผล ผลส้มโอจะมีขนาดใหญ่ รูปทรงของผลมีหลายลักษณะ เช่น ทรงกลมแบน ทรงกลมมน และทรงกลมสูง เป็นต้น บางพันธุ์อาจมีลูกคล้ายผลฝรั่ง มีเส้นรอบวงผลประมาณ 30-57 เซนติเมตร

ส่วนประกอบแต่ละส่วนส้มโอ (Different tissue of Pomelo)

โครงสร้างสำคัญของส้มโอแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ เปลือกชั้นนอก (Flavedo) เปลือกชั้นใน (Albedo) และชั้นในสุดหรือเนื้อเยื่อของผล (Segment membranes) ซึ่งเป็นส่วนที่นิยมรับประทานและมีกลิ่นน้ำเป็นจำนวนมากหรือที่เรียกว่า juice sac ดังภาพที่ 2.1 คือ

1. เปลือกชั้นนอกสุด (Exocarp หรือ Flavedo)

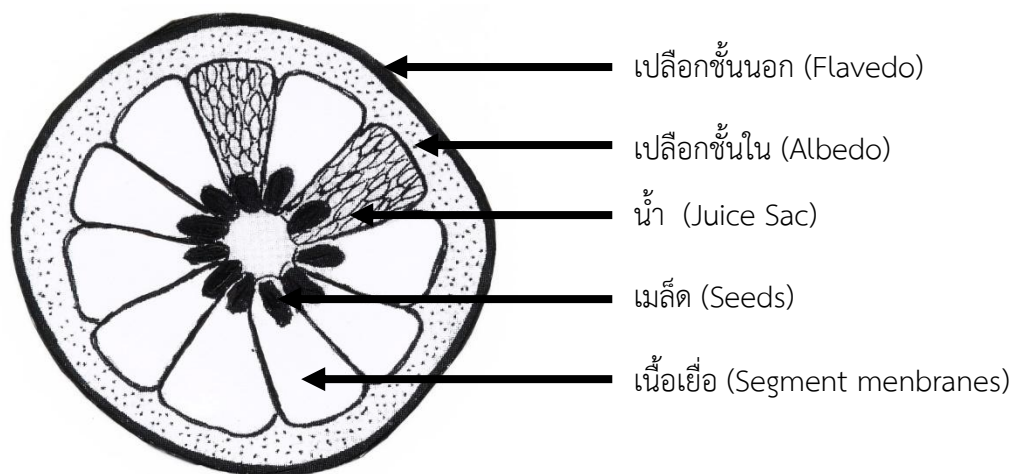
เปลือกชั้นนอกสุดมักจะบางกว่าเปลือกชั้นใน สีของเปลือกชั้นนอกมีสีเขียว เหนียว ประกอบด้วยเซลล์ที่มีขนาดเล็กๆ เป็นจำนวนมาก ได้แก่ แคโรทีนอยด์ และ น้ำมันหอมระเหย (Oil gland) อยู่เป็นจำนวนมาก และกระจายอยู่ทั่วไปตามผิวผล ต่อมน้ำมัน เมื่อผลมีขนาดใหญ่ขึ้นจะมีปริมาณต่อมน้ำมันเพิ่มขึ้น เมื่อผลส้มโอสุกจะเกิดการเปลี่ยนแปลงคือคลอโรพลาสต์มักเปลี่ยนเป็นโครโมพลาสต์ที่เรียกว่าโครมาโทฟอร์ โดยการสร้างสารแคโรทีนอยด์ทำให้สีที่เปลือกชั้นนอกที่มีสีเขียวเปลี่ยนเป็นสีส้มตามลักษณะสายพันธุ์ต่างๆ

2. เปลือกชั้นกลางหรือเปลือกชั้นใน (Mesocarp หรือ Albedo)

เปลือกชั้นในของส้มโอขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ บางพันธุ์มีสีขาวอมเหลือง บางพันธุ์มีสีชมพู เปลือกชั้นนี้มีทั้งเส้นใยเพคติน สารพวกเมือก วิตามินและเอนไซม์ ความหนาเปลือกชั้นในประมาณ 1-3 เซนติเมตร เมื่อจับหรือกดจะอ่อนนุ่มเหมือนฟองน้ำ ในขณะที่ ส้ม มะนาว เลมอน เปลือกชั้นนอกและชั้นในมีความบางที่ใกล้เคียงกัน

3. เปลือกชั้นในสุดหรือเนื้อเยื่อของผล (Endocarp หรือ Juice sac หรือ segment membranes)

เนื้อเยื่อของผลถูกเรียงเป็นกลีบของเนื้อส้มโอ มีแกนอยู่ตรงกลางผล หรือไม่มีก็ได้ สีของเนื้อขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ บางสายพันธุ์เนื้อมีสีเหลืองอ่อนสีขาว บางสายพันธุ์เนื้อมีสีชมพูจนถึงสีแดง ใน 1 ผลมีกลีบประมาณ 12-14 กลีบ กลีบแต่ละกลีบจะแยกออกจากกันได้ง่ายโดยไม่ยึดติดกันแน่น เนื้อที่รับประทานมีลักษณะเป็นถุงน้ำที่อัดแน่นเป็นระเบียบ เรียกว่า กุ้ง ภายในกุ้งจะมีน้ำบรรจุอยู่ มีรสหวานเล็กน้อย หรือหวานอมเปรี้ยว ขนาดของเมล็ดส้มโอจะมีขนาดใหญ่กว่าเมล็ดผลไม้ตระกูลส้มอื่นๆ ซึ่งในผลเดียวกันอาจมีเมล็ดหลายขนาด บางสายพันธุ์มีจำนวนเมล็ดมากหรือปานกลาง หรือบางสายพันธุ์ อาจไม่มีเมล็ดเลย สีของเมล็ดมีสีขาวอมเหลือง ผิวเมล็ดมีลักษณะเป็นร่องเล็กๆ โดยจำนวนเมล็ดมักอยู่รวมกันตรงกลางผล ภาพตัดขวางของผลส้มโอ ดังภาพที่ 2.1 (Ting & Rouseff, 1986; Kale & Adsule, 1995; Pichaiyongvongdee & Haruenkit, 2009a)



ภาพที่ 2.1 ส่วนประกอบและภาพตัดขวางของผลส้มโอ
ที่มา: Pichaiyongvongdee & Haruenkit (2009a)

สายพันธุ์ส้มโอ

ส้มโอที่ปลูกในประเทศไทยมีอยู่หลายพันธุ์และปลูกหลายจังหวัด จึงเรียกชื่อแตกต่างกันไป พันธุ์ที่นิยมปลูกเพื่อการค้า สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ โดยแบ่งตามสีของเปลือกชั้นในและสีเนื้อส้มโอ ได้แก่ กลุ่มที่ 1 เปลือกชั้นในและเนื้อเยื่อส้มโอมีสีขาวอมเหลือง และ กลุ่มที่ 2 เปลือกชั้นในและสีเนื้อเยื่อส้มโอมีสีชมพูอ่อน ดังตารางที่ 2.1 และ 2.2

ตาราง 2.1 ลักษณะของสีของเปลือกชั้นในและสีเนื้อเยื่อส้มโอในแต่ละสายพันธุ์

สี	พันธุ์ส้มโอ	จังหวัดที่เพาะปลูก
สีขาวอมเหลือง	พันธุ์ขาวพวง	นครปฐม สมุทรสาคร ราชบุรี และปราจีนบุรี
	พันธุ์ขาวน้ำผึ้ง	นครปฐม สมุทรสาคร
	พันธุ์ขาวใหญ่	นครปฐม สมุทรสาคร สมุทรสงคราม และ เชียงใหม่
	พันธุ์ขาวแป้น	นครปฐม และราชบุรี
	พันธุ์ขาวหอม	นครปฐม สมุทรสาคร และราชบุรี
	พันธุ์ขาวแตงกวา	ปัตตานี
สีชมพูอ่อน	พันธุ์ท่าข่อย	พิจิตร และพิษณุโลกและเขตภาคเหนือ
	พันธุ์หอมหาดใหญ่	อำเภอหาดใหญ่
	พันธุ์ปัตตาเวีย	ชุมพร สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช และสงขลา
	พันธุ์ทับทิม	นนทบุรี
	พันธุ์กรุ่น	อำเภอมนรมย์ จังหวัดชัยนาท
	พันธุ์ท่าข่อยบุญยงค์พิจิตร	พิจิตร และพิษณุโลก
	พันธุ์ขาวพ้อง	อำเภอสามพราณ,อำเภอนครไชยศรีจังหวัด นครปฐม สมุทรสาคร และ นนทบุรี

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร (2545)

พันธุ์ส้มโอที่นำมาวิจัยในครั้งนี้มี 3 พันธุ์ด้วยกันคือ เปลือกชั้นในพันธุ์ทองดี เปลือกชั้นในพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง และเปลือกชั้นในพันธุ์ขาวใหญ่เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่ปลูกเป็นการค้าในภาคกลางมากที่สุด แต่ละสายพันธุ์มีลักษณะของเปลือกชั้นใน ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ลักษณะเปลือกชั้นในพันธุ์ทองดี พันธุ์ขาน้ำผึ้ง และพันธุ์ขาวใหญ่

พันธุ์ส้มโอ	ลักษณะเปลือกชั้นใน	สีเปลือกชั้นในและเนื้อเยื่อ
ทองดี	เปลือกค่อนข้างบาง สีของเปลือกใน สีชมพูอ่อน	
พันธุ์ขาน้ำผึ้ง	เปลือกค่อนข้างหนา สีของเปลือกในและ ผนังกลีบมีสีขาว	
พันธุ์ขาวใหญ่	เปลือกหนาปานกลาง สีของเปลือกใน และผนังกลีบมีสีขาว เนื้อมีสีขาวอม เหลือง	

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร (2545)

สถานการณ์การปลูกและตลาดของส้มโอภายในและต่างประเทศ

ส้มโอมีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เนื่องจากมีผู้บริโภคนิยมรับประทานกันอย่างแพร่หลายทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ สามารถปลูกและเจริญเติบโตได้ทุกภูมิภาคของประเทศไทย โตเร็ว ดูแลรักษาง่าย ให้ผลได้ตลอดทั้งปี ดังนั้นจึงทำให้ส้มโอเป็นผลไม้ส่งออกที่สำคัญของประเทศไทย ทางสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรจึงได้ทำการเปรียบเทียบผลการผลิตและการค้าส้มโอในปี พ.ศ. 2550-2552 ดังตารางที่ 2.3 และ 2.4

ตารางที่ 2.3 ปริมาณการผลิตส้มโอทั้งประเทศปี พ.ศ. 2550-2552

รายการ	พ.ศ. 2550	พ.ศ. 2551	พ.ศ. 2552
1. จำนวนครัวเรือน	65,638	65,579	65,455
2. เนื้อที่ให้ผล(ไร่)	200,965	203,123	200,987
3. ผลผลิต (ตัน)	308,079	320,122	305,500
4. ผลผลิตต่อไร่ (กิโลกรัม)	1,533	1,576	1,578
5. ต้นทุนการผลิต (บาท/ตัน)	6,036	6,728	6,756
6. ราคาที่เกษตรกรขาย (บาท/ตัน)	8,370	10,060	12,090

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2553)

ตารางที่ 2.4 ปริมาณการค้าส้มโอทั้งประเทศปี พ.ศ. 2550-2552

รายการ	พ.ศ. 2550	พ.ศ. 2551	พ.ศ.2552
1. ส่วนแบ่งตลาดโลก (ร้อยละ)	0.89	1.05	1.08
2. ส่งขายในประเทศ (ตัน)	298,008	308,904	293,500
3. ส่งออกต่างประเทศ (ตัน)	10,071	11,218	12,000
4. มูลค่า (ล้านบาท)	119.95	109.23	100.00

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2553)

คุณสมบัติของเปลือกชั้นใน (Albedo)

1. ปริมาณน้ำหนักของเปลือกชั้นใน

ผลของส้มโอประกอบด้วย เปลือกชั้นนอก เปลือกชั้นใน เนื้อเยื่อ เมล็ด และน้ำ ในขณะที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่รับประทานเฉพาะส่วนที่เป็นเนื้อเยื่อและน้ำ ซึ่งบริเวณเปลือกชั้นในจะมีน้ำหนักประมาณร้อยละ 35-50 โดยน้ำหนักของผลทั้งหมด หากทางอุตสาหกรรมอาหารสามารถนำเปลือกส้มโอมาใช้ประโยชน์ในด้านอาหารจะมีประโยชน์มาก (Pichaiyongvongdee & Haruenkit, 2009a) ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 น้ำหนักของเปลือกชั้นใน (ร้อยละ) ของส้มโอต่างสายพันธุ์

พันธุ์	นน.เปลือกชั้นนอก	นน.เปลือกชั้นใน	เนื้อเยื่อ	เมล็ด	น้ำ
ขาวน้ำผึ้ง	8.27	26.47	25.18	1.37	38.71
ขาวแป้น	14.42	41.34	8.27	0.50	35.43
ขาวแตงกวา	10.34	34.54	21.09	0.76	33.28
ปัตตาવી	10.38	44.12	18.25	0.01	27.24
ทองดี	11.89	34.05	9.50	0.18	44.38
ท่าข่อย	10.25	53.53	7.74	0	28.48
ขาวใหญ่	8.18	37.07	21.81	0	32.95

ที่มา: Pichaiyongvongdee & Haruenkit (2009a)

2. ความหนาของชั้นเปลือกชั้นใน

ความหนาของชั้นเปลือกชั้นใน คือ เปลือกที่มีสีขาวอมเหลืองหรือสีชมพูที่อยู่ติดกับเปลือกชั้นนอกสีเขียวของผลส้มโอ (ดังภาพที่ 2.2) เป็นเนื้อเยื่อของเซลล์โลส มีลักษณะคล้ายฟองน้ำและเป็นส่วนที่มีปริมาณเส้นใยสูง ความหนาของเปลือกชั้นในกว้างประมาณ 1.45-2.28 เซนติเมตร Pichaiyongvongdee & Haruenkit (2009a) แต่ละพันธุ์มีความกว้างแตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.6



ภาพที่ 2.2 เปลือกชั้นในส้มโอ

ตารางที่ 2.6 ความหนาของเปลือกชั้นใน (เซ็นติเมตร) ของส้มโอต่างสายพันธุ์

พันธุ์ส้มโอ	ความหนาของชั้นเปลือกชั้นใน (เซ็นติเมตร)
ขาวแป้น	1.72
ขาวแตงกวา	1.89
ปัตตาવી	1.45
ทองดี	1.58
ท่าข่อย	1.67
ขาวน้ำผึ้ง	2.28
ขาวใหญ่	2.06

ที่มา: Pichaiyongvongdee & Haruenkit (2009a)

3. ความชื้น (Moisture)

เปลือกชั้นในส้มโอแต่ละสายพันธุ์ที่ปลูกในประเทศไทย เช่น ขาวน้ำผึ้ง ขาวแป้น ทองดี ขาวแตงกวา ท่าข่อย และ ขาวใหญ่ มีน้ำเป็นองค์ประกอบสูงประมาณร้อยละ 74-75 ดังนั้นการนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารจึงเป็นต้องผ่านกระบวนการทำให้แห้งให้เป็นผง ควรมีปริมาณน้ำคงเหลือประมาณร้อยละ 10 และ Water Activity (a_w) ต่ำกว่า 0.50 ซึ่งเป็นค่าจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ (Larrauri, 1999) และสามารถเก็บได้นาน

4. ไฟเบอร์ (Dietary fiber)

ใยอาหาร (Dietary fiber) หมายถึง ส่วนของพืช ที่ร่างกายมนุษย์ไม่สามารถย่อยโดยเอนไซม์หรือน้ำย่อยเนื่องจากร่างกายของมนุษย์ไม่มีเอนไซม์ชนิดนี้ ยกเว้นสัตว์เคี้ยวเอื้อง จึงทำให้ไม่มีการดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย แต่มีประโยชน์ในการทำงานของลำไส้และการขับถ่าย (ปาริชาติ สักกะทำนุ, 2544) เส้นใยอาหารประกอบด้วยสารประกอบเชิงซ้อนในกลุ่มคาร์โบไฮเดรตจำพวกสารพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) เช่น เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เพคติน (Pectin) สารเมือกหรือมิวซิเลจ (Mucilage) และกัม (Gum) เป็นต้น พบมากในผักและผลไม้ทุกชนิด

ปริมาณและชนิดของใยอาหารต่างกัน ตามชนิดของผักและผลไม้ ประเภทของใยอาหารแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

4.1 ใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำ (Insoluble dietary fiber)

ใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำจะไม่สามารถละลายน้ำได้แต่มีสารในผนังเซลล์ที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำไว้ได้ดี ทำให้เกิดการพองตัวในน้ำที่มีลักษณะคล้ายฟองน้ำ ซึ่งมีข้อดีคือเมื่อมีการรับประทานใยอาหารประเภทนี้เข้าไปทำให้เพิ่มปริมาณของใยอาหารในกระเพาะอาหารเป็นจำนวนมากจึงทำให้ผู้บริโภครู้สึกอิ่มเร็วขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มในการกระตุ้นลำไส้ให้เกิดการขับถ่ายดี ป้องกันโรคท้องผูก โรคกระเพาะในลำไส้ใหญ่ และลดการเกิดสารพิษที่เกิดจากการย่อยสลายแบคทีเรีย ที่เกิดจากการตกค้างของกากอาหารเป็นเวลานานๆ

4.2 ใยอาหารชนิดละลายน้ำได้ (Soluble dietary fiber)

ใยอาหารชนิดละลายน้ำได้ ได้แก่ กัม (Gum) เพคติน (Pectin) มิวซิเลจ (Mucilage) สามารถดูดซับสารละลายน้ำไว้ได้ดี จึงทำให้มีความหนืด ในขณะเดียวกันมีสารในการอุ้มน้ำไว้ สามารถขยายตัวหรือพองตัวได้ถึง 10-25 เท่าของน้ำหนักเส้นใย จึงทำให้มีลักษณะเป็นเมือกเหมือนเจลที่สามารถจับไขมันได้ดี ช่วยในการขับถ่ายและป้องกันการเกิดริดสีดวง (ดวงจันทร์ เฮงส์วีสต์, 2545; กนกวรรณ โชติเชย และนภาพรณ ศรีสุตใจ 2547)

ประทุม พุทธิวิช และพิมพาภรณ์ ไตรณรงค์สกุล (2540); จรรยา วัฒนทวีกุล (2545) ได้สรุปไว้ว่าผักและผลไม้แต่ละชนิดจะมีใยอาหารทั้ง 2 ชนิด (ใยอาหารชนิดละลายน้ำได้ และ ชนิดที่ไม่ละลายน้ำ) อยู่รวมกัน โดยที่อัตราส่วนทั้ง 2 ชนิด จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับใยอาหารชนิดใดมากกว่า ก็จะแสดงคุณสมบัติของใยอาหารชนิดนั้นชัดเจนมากกว่า เช่น หากมีปริมาณใยอาหารชนิดละลายน้ำได้มากกว่า ก็จะแสดงคุณสมบัติของการละลายน้ำมากกว่า

แหล่งของใยอาหาร

แหล่งของใยอาหารสามารถแบ่งออกเป็น 2 แหล่งคือ

แหล่งที่ 1 มาจากพืช ผัก ได้แก่ ถั่วเมล็ดแห้ง ธัญพืช ผักต่างๆ บัทรูป เมล็ดข้าว รำข้าว พืชตระกูลส้ม แอปเปิ้ล องุ่น พืชชนิดต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยใยอาหารชนิดละลายน้ำได้และใยอาหารชนิดละลายน้ำไม่ได้ ดังตารางที่ 2.7

แหล่งที่ 2 มาจากเปลือกสัตว์ ได้แก่ เปลือกกุ้ง เปลือกปู (ประภาศรี ภูเสถียร และคณะ, 2533; จรรยา วัฒนทวีกุล, 2545)

ตารางที่ 2.7 เปรียบเทียบปริมาณเส้นใย (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) เส้นใยอาหารจากเส้นใยอาหารจากพืชชนิดอื่นๆ และผลไม้ตระกูลส้ม

แหล่งที่มา	เส้นใย ไม่ละลายน้ำ	เส้นใย ละลายน้ำ	เส้นใย ทั้งหมด	อ้างอิง
เส้นใยอาหารจากเส้นใยอาหารจากพืชชนิดอื่นๆ				
พืช	26.10	9.70	35.8	Grigelmo-Miguel & Martin- Belloso. (1999b)
ลูกแพร์	22.00	14.10	36.10	
อ้อย	58.00	4.20	62.20	สิขรินทร์ ก้อนในเมือง และ ปราณี อ่านเปรื่อง (2546)
กากเมล็ดพืชหว่า	51.70	10.40	62.10	Sowbhagya et al.(2007)
แอปเปิ้ล	36.50	14.60	51.10	Sudha et al. (2007)
กล้วย	2.90	6.70	9.60	Raghavendra et al. (2006)
แครอท	23.75	34.40	58.15	
มะพร้าว	58.71	4.53	63.24	
เส้นใยอาหารจากผลไม้ตระกูลส้ม				
เกรฟรุ้ตพันธุ์ Ruby	56.00	4.57	62.60	Figuerola et al.(2005)
เกรฟรุ้ตพันธุ์ March	37.80	6.48	44.23	
มะนาวพันธุ์ Eureka	50.90	9.20	60.10	
เปลือกส้ม	27.40	21.84	49.24	Esphachs-Barroso et al. (2005)
กากส้มเขียวหวาน	56.27	17.06	73.33	ธนิกันต์ สันต์สวัสดิ์ (2549)
เปลือกส้มเขียวหวาน	52.22	23.87	76.09	นิธิมา อรรถวานิชและปราณี อ่านเปรื่อง (2546)
เปลือกส้ม	-	-	69.1	JoséA. Larrauri et al. (1996)
เปลือกมะนาว(peel)	-	-	61.1	
ส้ม (Citrus sinensis)	63.7	48.23	86.7	Tainara de et al. (2013).
กากส้มพันธุ์วาเลนเซีย	25.50	11.30	36.90	Grigelmo-Miguel & Martin- Belloso (1999a)
กากส้มพันธุ์เนเวล	22.80	12.60	35.40	
เปลือกชั้นในส้มโอพันธุ์ ขาวใหญ่	-	-	84.02	สุชาติา นกเถื่อน (2554)
เปลือกชั้นในส้มโอพันธุ์ ขาวใหญ่	44.57	35.45	80.02	บงกชรัตน์ เนาวกุล (2553)
เปลือกชั้นในส้มโอพันธุ์ขาว น้ำผึ้ง	49.25-51.02	43.86-45.03	94.28-94.88	วันเพ็ญ แสงทองพินิจ (2551)

Larrauri (1999) รายงานว่าใยอาหารจากผลไม้มีใยอาหารทั้ง 2 ประเภทรวมอยู่คือใยอาหารชนิดละลายน้ำได้และใยอาหารชนิดละลายน้ำไม่ได้ ความสามารถดูดซับน้ำและน้ำมัน ความสามารถในการถูกย่อยในลำไส้ดีกว่าใยอาหารจากธัญพืช และยังให้พลังงานต่ำกว่าใยอาหารธัญพืช ซึ่งสอดคล้องกับ Grigelmo-Miguel & Martin-Belloso (1999a) รายงานว่า ผักผลไม้ ได้แก่ แอปเปิ้ล ลูกแพร์ ลูกท้อ ส้ม ลูกพีช และหน่อไม้ฝรั่ง มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด 35-59 กรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง และมีอัตราส่วนใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำต่อใยอาหารที่ละลายน้ำมากกว่าธัญพืช (รำข้าวสาลี และรำข้าวโอ๊ต) เนื่องจากผักและผลไม้มีปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำประมาณ 10-14 กรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง สูงกว่าธัญพืชที่มีใยอาหารที่ละลายน้ำประมาณ 3.4 กรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง ใยอาหารที่ละลายน้ำควรมีประมาณ ร้อยละ 30-50 ของใยอาหารทั้งหมด Spiller (1993) กล่าวว่าอัตราส่วนใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำต่อใยอาหารละลายน้ำควรเท่ากับ 1 ต่อ 2.3

ดังนั้นเส้นใยอาหารของพืชตระกูลส้มเป็นผลไม้ที่น่าสนใจอีกชนิดโดยเฉพาะบริเวณเปลือก เนื่องจากมีทั้งใยอาหารชนิดละลายน้ำ และ ใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำมากกว่าบริเวณส่วนเนื้อที่รับประทาน (Fernandez-Gines et al., 2004) ซึ่ง วันเพ็ญ แสงทองพินิจ (2551) ได้วิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารในเปลือกส้มโอดิบมีปริมาณถึงร้อยละ 16.05-21.87 และในผงเปลือกส้มโอชั้นในมีใยอาหารทั้งหมดร้อยละ 85.90 ใยอาหารที่ละลายน้ำได้ (Soluble dietary fiber) ร้อยละ 40.5 (วันดี ไทยพานิช, 2552) อภิรักษ์ เพียรมงคล (2549) กล่าวว่า เส้นใยอาหารผงที่ผลิตจากเปลือกส้มโอมีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำสูงกว่าเส้นใยอาหารผงที่ผลิตจากกากส้มเขียวหวาน ส้มสายน้ำผึ้ง และส้มสีทอง ชนิดของเส้นใยอาหารที่เป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ ลิกนิน เซลลูโลส เพคติน และเฮมิเซลลูโลส เช่นเดียวกับงานวิจัยของนักวิจัยหลายพบว่า เส้นใยอาหารจากพืชตระกูลส้มมีข้อดีกว่าเส้นใยอาหารจากธัญพืช เนื่องจากมีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำและน้ำมัน และความสามารถในการถูกย่อยในลำไส้สูงกว่า และมีข้อดีคือมีปริมาณกรดไฟติก และแคลอรีต่ำ ดังนั้นเปลือกในส้มโอจึงเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพสูงในการนำมาผลิตเป็นเส้นใยอาหารผงเพื่อใช้เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์อาหารชนิดต่างๆ ได้ดี ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยอาหารผงจากแหล่งต่างๆ ดังตารางที่ 2.7

5. ความเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant)

สารต้านอนุมูลอิสระ เป็นสารต้านหรือยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน หยุดการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระ (Ubando-Rivera et al., 2005) โดยสารต้านอนุมูลอิสระจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระโดยแทนออกซิเจน หรืออาจจะให้อิเลคตรอนกับอนุมูลอิสระแทนโมเลกุลอื่นๆ ได้ Antioxidant free radical เกิดเป็นอนุมูลอิสระที่มีความเสถียรจึงทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันจึงเกิดได้น้อยลง (ไพลิน วุฒิพรากรม 2549; กฤติกา นรจิตร์, 2547) ถึงแม้ว่าร่างกายจะทำหน้าที่ในการกำจัดอนุมูลอิสระ แต่ในชีวิตปัจจุบันการบริโภคและการดำรงชีวิตเปลี่ยนแปลงไปตามเทคโนโลยีและวัฒนธรรม มีการสัมผัสกับสิ่งมีพิษในสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ทำให้ร่างกายต้องได้รับอนุมูลอิสระเข้าสู่ร่างกายมากขึ้น ส่งผลให้ระบบสารต้านอนุมูลอิสระในร่างกายไม่สามารถกำจัดอนุมูลอิสระส่วนเกินนี้ได้ ผลที่ตามมาคือการเกิดการทำลายของเซลล์เนื่องมาจากอนุมูลอิสระ จึงเกิดโรคต่างๆ เช่น โรคมะเร็ง โรคหัวใจ โรคเบาหวาน และโรคอัลไซเมอร์ (Zulueta et al., 2007) แหล่งที่มาของ

สารต้านอนุมูลอิสระหลักๆ ได้ 2 แหล่งคือ สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (Synthetic antioxidants) ได้แก่ Prool gallate, 2-butylated hydroxyanisole, 3-butylate hydroxyanisole Butylated hyhydroxytoluene และ tertiary butythydroquinone มักใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงในด้านการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน แต่มีข้อจำกัดเรื่องความปลอดภัยของผู้บริโภค แหล่งที่สอง คือมาจากธรรมชาติ (Natural antioxidants) ได้แก่ เบต้า-แคโรทีน ฟลาโวนอยด์ วิตามินต่างๆ พบมากในผักและผลไม้ เครื่องเทศ องุ่น และสมุนไพรมัน เป็นต้น (Caro et al., 2004. Zulueta et al., 2007; เจนจิรา จิรัมย์ และ ประสงค์ สีหามาน, 2554) สารต้านอนุมูลอิสระที่มาจากธรรมชาติจะมีความปลอดภัยในการบริโภคมากกว่าสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ ซึ่งผลไม้ตระกูลส้มเป็นผลไม้ที่ประกอบด้วยสารที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเช่นกัน โดยเฉพาะสารประกอบในกลุ่มฟลาโวนอยด์ แคโรทีนอยด์ และกรดแอสคอร์บิก โดยเฉพาะเปลือกของผลไม้ตระกูลส้ม ซึ่งมีสารต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าเนื้อเยื่อ (Fernández-López et al., 2004) ซึ่งในขณะเดียวกัน สุวรรณ พิชัยวงศ์วงศ์ (2556) ได้ทำการศึกษาถึงปริมาณของสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ในเนื้อเยื่อผลส้มโอ ได้แก่ เปลือกชั้นนอก เปลือกชั้นใน เนื้อเยื่อ และ เมล็ด พบว่า เมล็ดมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดเฉลี่ยมากที่สุด คือ 3992.21 $\mu\text{g/g}$, Dw รองลงมาคือ เปลือกชั้นใน 1896.15 $\mu\text{g/g}$, Dw เปลือกชั้นนอก 1808.76 $\mu\text{g/g}$, Dw และเนื้อเยื่อ 1321.56 $\mu\text{g/g}$, Dw นอกจากนี้ ยังพบว่า พันธุ์ที่มีเปลือกชั้นในและเนื้อเยื่อสีชมพูอ่อน (พันธุ์ท่าซอและส้มโอพันธุ์ทองดี) จะมีปริมาณโพลีฟีนอลมากกว่าพันธุ์ส้มโอที่มีเปลือกชั้นในและเนื้อเยื่อ ที่มีสีขาว (พันธุ์ปัตตาวี ขาวใหญ่ ขาวแตงกวา ขาวน้ำผึ้ง และขาวแป้น) เนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีรงควัตถุสีชมพูที่มีสารแคโรทีนอยด์เป็นส่วนประกอบอยู่เป็นจำนวนมาก

ChongDe et al. (2005) ได้ศึกษาความเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารลิโมนินและนอมิลิน โดยใช้ตรวจสอบด้วยวิธี β -carotene bleaching พบว่า ถึงแม้ในเปลือกชั้นในจะมีปริมาณผลรวมสารลิโมนินและนอมิลินมากแต่ความเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี β -carotene bleaching จะมีค่าน้อยกว่าส่วนอื่นๆ ของผล

งานวิจัยนี้ได้เล็งเห็นความสำคัญของเปลือกผลไม้ตระกูลส้มเนื่องจากเปลือกผลไม้ตระกูลส้มมีสารฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) ซึ่งสารฟลาโวนอยด์มีคุณสมบัติในการช่วยลดโรคหลอดเลือดหัวใจตีบและเป็นสารต่อต้านมะเร็งวิตามินซี (Vitamin C) เป็นสาร Antioxidant และกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) ช่วยดูดไอออนช่วยในกระบวนการทำงานของกรดอะมิโนและฮอร์โมนซึ่งจะสูญเสียเพียงเล็กน้อย

รุ่งทิพา วงศ์ไพศาลฤทธิ์ (2549) ได้ทำการศึกษากปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในสารสกัดจากเปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวาน พบว่าสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงกว่าสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวาน

Bocco et al. (1998) ศึกษาสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเปลือกและเมล็ดของพืชตระกูลส้มชนิดต่างๆ โดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ 2 ชนิดในการสกัด ได้แก่ Methanol และ Acetate พบว่าสารสกัดจากเมล็ดมีสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันดีกว่าสารสกัดจาก

เปลือก นอกจากนี้สายพันธุ์ของพืชตระกูลส้มที่ต่างกันจะให้สารสกัดจากเมล็ดและเปลือกที่มีสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันแตกต่างกันด้วย

Gorinstein et al. (2001) ศึกษาปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล และสารประกอบอื่นๆ ที่มีสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในสารสกัดที่ได้จากเปลือกและผลของพืชตระกูลส้มชนิดต่างๆ รวมทั้งความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบเหล่านั้น พบว่าในบริเวณเปลือกมีปริมาณของสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงกว่าส่วนของผล และสารสกัดจากเปลือกยังมีคุณสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าสารสกัดจากผลของพืชตระกูลส้มทุกชนิดในการทดลอง

กุลธิดา เทพรักษ์ (2552) ได้ทำการตรวจสอบสารต้านอนุมูลอิสระในส้มโอ 2 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ขาวแป้นและขาวใหญ่ โดยแต่ละสายพันธุ์แบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ เปลือกชั้นนอก เปลือกชั้นใน และเนื้อเยื่อ พบว่า เปลือกในของส้มโอมีเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระและคุณสมบัติด้านการรีดิวซ์เหล็กสูงกว่าเปลือกนอก และเนื้อ

ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าเปลือกส้มโอมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่เป็นแหล่งสารต้านอนุมูลอิสระซึ่งเหมาะสมต่อการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ด้านอาหารต่อไป งานวิจัยครั้งนี้จึงเลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง และขาวใหญ่ เป็นตัวแทนพันธุ์ที่มีเปลือกชั้นในเป็นสีขาวอมเหลือง และพันธุ์ทองดีเป็นตัวแทนพันธุ์ที่มีเปลือกชั้นในเป็นสีขาวอมชมพู

6. ความขม (Bitterness)

ความขม เป็นปัญหาสำคัญในการผลิตผลิตภัณฑ์จากผลไม้ตระกูลส้มซึ่งสารที่ทำให้เกิดรสขมในพืชตระกูลส้มพบมากในทุกส่วนของผล ตั้งแต่ เปลือก ผั้กกลีบ เนื้อ น้ำ และ เมล็ด เป็นต้น โดยทั่วไปสามารถแบ่งสารให้รสขมในพืชตระกูลส้ม เป็น 2 กลุ่ม คือ

6.1 ลิโมนอยด์ (Limonoids)

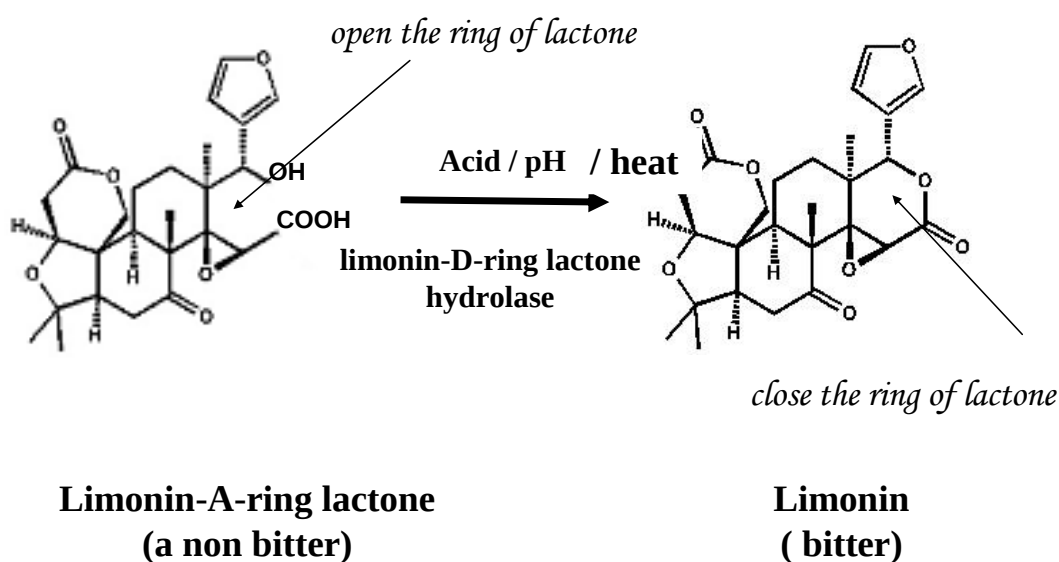
ลิโมนอยด์ เป็นกลุ่มอนุพันธ์ของไตรเทอร์พีน สารในกลุ่มนี้ได้แก่ ลิโมนิน (Limonin) ซึ่งเป็นสารที่มีความสำคัญที่สุดเนื่องจากเป็นสารที่ให้ความขมมาก แม้จะมีความเข้มข้นต่ำ 6 ppm มีสูตรทางเคมีคือ $C_{26}H_{30}O_8$ น้ำหนักโมเลกุล 470.52 กรัมต่อโมล โครงสร้างทางเคมี แสดงดังภาพที่ 2.2 สามารถละลายได้ในกรดอะซิติก คลอโรฟอร์ม ละลายได้ในน้ำเล็กน้อย แต่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นเมื่อน้ำตาลและเพคติน การเกิดลิโมนินเกิดจากลิโมนิเอท เอริง แลคโตน (Limonate A-ring lactone) ซึ่งเป็นสารที่ไม่มีรสขมเมื่อทำให้ผลไม้ตระกูลส้มเกิดการแตกหรือเกิดการสกัดน้ำออกจากผลทำให้เกิดเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification) โดยการเหนี่ยวนำด้วยเอนไซม์และถูกเร่งปฏิกิริยาด้วยกรด จากนั้นโครงสร้างลิโมนิเอท เอริง แลคโตน เปลี่ยนโครงสร้างเป็นลิโมนินซึ่งมีรสขมและขมมากขึ้นในระหว่างการพาสเจอร์ไรส์ (Pasteurize) หรือระเหยน้ำส้ม ผลมาจากความร้อนเป็นตัวช่วยเร่งปฏิกิริยานี้ให้เกิดเร็วขึ้น สุวรรณ พิชัยวงศ์วงศ์ และคณะ (2547) กล่าวว่า ปริมาณลิโมนินที่พบมากในผลมะนาวคือส่วนของเมล็ด และ น้อยที่สุดคือ น้ำ

Wilson & Crutchfield (1968) ได้รายงานถึงความสัมพันธ์ระหว่างระดับปริมาณสารลิโมนินกับระดับความขมในผลไม้ตระกูลส้มดังตารางที่ 2.8 ดังนี้

ตารางที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณลิโมนินกับระดับความขมในผลไม้ตระกูลส้ม

ระดับความขม	ปริมาณลิโมนิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
ไม่ขม	3-6
ขมน้อย	7-9
ขม	10-23
ขมมาก	24-30

ที่มา: Wilson & Crutchfield (1968)



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของลิโมนิน (Limonin)

ที่มา: Maier et al. (1977)

Chong De et al. (2005) ได้ทำการศึกษาปริมาณสารลิโมนินและนอมิลินในเนื้อเยื่อที่แตกต่างกันของผลไม้ตระกูลส้ม 4 พันธุ์ ได้แก่ *C. changshanensis*, *C. grandis*, *C. unshiu* และ *C. reticulate* พบว่า *C. changshanensis* และ *C. unshiu* ปริมาณผลรวมลิโมนินและนอมิลินบริเวณเปลือกชั้นในมากกว่า 2 สายพันธุ์ แสดงให้เห็นว่าปริมาณผลรวมลิโมนินและนอมิลินมากน้อยแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ และแต่ละสายพันธุ์ก็มีปริมาณผลรวมลิโมนินและนอมิลินในแต่ละส่วนของเนื้อเยื่อที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.9 และปริมาณลิโมนินบริเวณส่วนต่างๆ ของส้มโอพันธุ์ต่างๆ ที่ปลูกในประเทศไทยพบว่าปริมาณลิโมนินบริเวณเมล็ดมีมากที่สุด รองลงมา เปลือกชั้นใน เปลือกชั้นนอก เนื้อเยื่อ และน้ำ ตามลำดับดังตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.9 ผลรวมปริมาณลิโมนินและนอมิลิน (mg/g, DW) ในเนื้อเยื่อที่แตกต่างกัน

สายพันธุ์ผลไม้ตระกูลส้ม	Flavedo	Albedo	Segment membrane	Juice vesicle
<i>C. changshanensis</i>	0.83	1.21	1.29	0.197
<i>C. unshiu</i>	0.472	0.784	0.484	0.068
<i>C. reticulate</i>	1.35	0.369	0.890	0.164
<i>C. grandis</i>	0.0067	0.0037	1.01	0.168

ที่มา: Chong De et al. (2005)

ตารางที่ 2.10 ปริมาณลิโมนิน (ppm) บริเวณส่วนต่างๆ ของส้มโอพันธุ์ต่างๆ

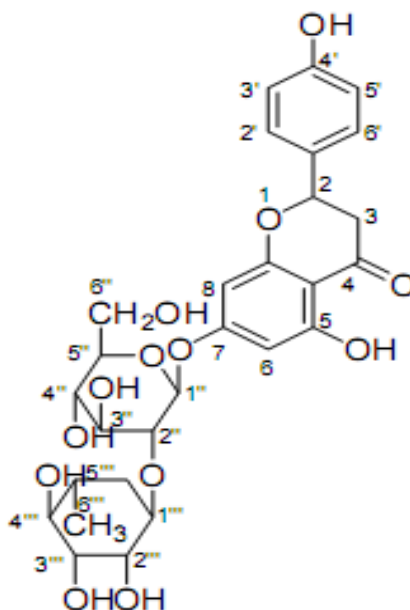
พันธุ์ส้มโอ	เปลือกชั้นนอก	เปลือกชั้นใน	เนื้อเยื่อ	เมล็ด	น้ำ
ขาน้ำผึ้ง	169.30	252.81	265.14	2615.30	22.69
ขาวใหญ่	215.06	135.20	87.64	2605.56	18.27
ขาวแตงกวา	150.52	259.31	267.34	1375.31	10.07
ขาวใหญ่	130.16	233.05	11.59	No-seed	21.43
ปัตตาવી	295.49	239.17	29.14	2443.46	20.02
ทองดี	217.72	313.58	122.69	2594.60	29.62
ท่าข่อย	159.88	352.72	85.81	No-seed	25.52

ที่มา: Pichaiyongvongdee & Haruenkit (2009a)

6.2 ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids)

เป็นสารประกอบกลุ่มพอลิฟีนอล ซึ่งประกอบด้วยวงอะโรมาติกตั้งแต่ 2 วงขึ้นไป โดยมีการจับกับคาร์บอนและ Aromatic hydroxyl ดังภาพที่ 2.3 โดยทั่วไปอยู่ในรูปของไกลโคไซด์ โดยฟลาโวนอยด์ที่สำคัญ คือ นารินจิน (Naringin) และเฮสเพอริดิน (Hesperidin) นารินจินมีสูตรทางเคมีคือ $C_{27}H_{32}O_{14}$ น้ำหนักโมเลกุล 580.54 กรัมต่อโมล นารินจินละลายได้ใน อะซิโตน แอลกอฮอล์ และกรดอะซิติก ละลายในน้ำเย็นได้เล็กน้อย แต่ละลายได้ดีในน้ำอุ่น (Horowitz & Gentili, 1977)

Pichaiyongvongdee & Haruenkit (2009a) ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณนารินจิน พบมากในเปลือกชั้นใน จากส้มโอที่ปลูกในประเทศไทยดังตารางที่ 2.11 แต่พบวาระดับการรับรสขมของนารินจิน ผู้บริโภคจะสามารถรับรสขมได้ก็ต่อเมื่อมีปริมาณนารินจินประมาณ 600 ppm (อรพิน ชัยประสพ, 2534)



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของนารินจิน (Naringin)
ที่มา: Horowitz & Gentili (1977)

เปลือกในของส้มโอมีสารที่ให้รสขมอีกชนิด คือ นารินจิน ซึ่งจะมากขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ พบว่าปริมาณนารินจินบริเวณเปลือกชั้นในมีมากที่สุด รองลงมา เปลือกชั้นนอก เนื้อเยื่อ เมล็ดและน้ำ ตามลำดับดังตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11 ปริมาณนารินจิน (ppm) บริเวณส่วนต่างๆ ของส้มโอพันธุ์ต่างๆ

พันธุ์ส้มโอ	เปลือกชั้นนอก	เปลือกชั้นใน	เนื้อเยื่อ	เมล็ด	น้ำ
ขาวน้ำผึ้ง	5739.44	19331.55	1799.48	297.48	323.00
ขาวใหญ่	5344.56	12133.49	2031.03	257.87	315.71
ขาวแตงกวา	7716.76	28508.01	436.50	388.88	242.63
ขาวใหญ่	5245.40	11683.58	3852.12	No-seed	364.68
ปัตตาવી	8964.24	11172.13	2067.92	426.66	386.45
ทองดี	4609.86	10065.06	3391.61	293.03	348.47
ท่าข่อย	2483.96	11543.97	2095.47	No-seed	381.24

ที่มา: Pichaiyongvongdee & Haruenkit (2009a)

ความขมที่เกิดจากสาร นารินจิน และลิโมนิน เป็นองค์ประกอบ ทำให้เส้นใยอาหารผงที่ผลิตได้มีรสขม ดังนั้นการผลิตเส้นใยอาหารผงจากเปลือกส้มโอจึงจำเป็นต้องกำจัดหรือลดสารให้รสขมเหล่านี้ให้เหลือน้อยที่สุดก่อนนำไปเสริมในผลิตภัณฑ์อาหาร

การลดความขมเปลือกส้มโอขึ้นในส่วนกากของผลไม้ตระกูลส้ม นิยมใช้สารเคมีที่แตกต่างกัน ดังนี้

1. โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) หรือเกลือแกง

ศุภวัฒน์ นามคำ (2554) ใช้อัตราส่วนเกลือ : เปลือกส้มโอ เท่ากับ 1:0.5 โดยน้ำหนัก หมักเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ต้องใช้น้ำถึง 10 ลิตร จำนวน 11 ครั้ง จึงจะหมดรสเค็มและรสขม

พบว่า การทดลองนี้มีการใช้เกลือจำนวนมากในการหมัก ดังนั้นจึงใช้น้ำประมาณ 110 ลิตร ในการล้างความเค็มและความขมออก ซึ่งอาจจะต้องยุ่งยากในการปรับสภาพน้ำทิ้ง

2. การปรับ pH

นิธิดา อรรถวานิช และ ปราณี อานเปื้อง (2546) ลดความขมเปลือกส้มเขียวหวานโดยผ่านการลวกไอน้ำนาน 2 นาที ทำแห้งแบบลมร้อนสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ให้มีความชื้นเหลือน้อยกว่าร้อยละ 10 บดให้มีขนาดเล็กกว่า 600 ไมครอน กวนในสารละลาย pH 7 เป็นเวลา 30 นาที สามารถลดความขมในผงเปลือกส้มเขียวหวานได้มากที่สุด

พบว่า การทดลองนี้ต้องทำให้วัตถุดิบมีขนาดอนุภาคเล็กก่อนลดความขม ซึ่งการบิบน้ำออกจะยากขึ้น

3. การปรับระดับ pH ร่วมกับการใช้เอทานอล

บงกชรัตน์ เนาวกุล (2553) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการลดความขมลิโมนินและนารินจินคือ pH 7 ด้วย 0.01 N NaOH อุณหภูมิการสกัด 60 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที จากนั้นบดเปียกน้ำที่ความเร็วสูง นาน 1 นาที นำไปต้มน้ำร้อนอุณหภูมิที่ 98 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นบีบน้ำออกและแช่ต่อด้วยเอทานอลร้อยละ 95 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำซ้ำ 2 ครั้ง อบแห้งที่ 65 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง

พบว่า การทดลองนี้ใช้เวลานานในการอบแห้งนานเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

4. แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃)

กนกวรรณ โชติเชย และ นภาพรณ ศรีสุดใจ (2547) นำเปลือกส้มโอมาแช่ในสารละลาย CaCO₃ ร้อยละ 3 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ล้างน้ำ ต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที (ทำ 2 ซ้ำ) พบว่าสามารถช่วยกำจัดความขมออกจากเปลือกส้มโอได้เนื่องจากความร้อนสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ ที่เหนี่ยวนำการเกิดลิโมนินซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดความขมในเปลือกส้มโอ (นิธิดา อรรถวานิช และ ปราณี อานเปื้อง, 2546)

พบว่า การทดลองนี้ใช้เวลานานในการลดความขมเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 2 ครั้ง เวลาเป็น 48 ชั่วโมง

5. การใช้เอทิลีน (C_2H_4)

Pichaiyongvondee & Haruenkit (2011) ได้ทำการวิจัยลดความขมในส้มโอโดยการบ่มผลส้มโอทั้งผลที่ยังไม่มีการปอกเปลือก ใช้เอทิลีนที่มีความเข้มข้นในระดับต่างๆ คือ 50, 100 และ 200 ppm แต่ละความเข้มข้นบ่มเป็นเวลา 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่า เอทิลีนที่มีความเข้มข้น 200 ppm บ่มผลส้มโอเป็นเวลา 48 ชั่วโมง สามารถลดความขมเปลือกชั้นในถึงร้อยละ 59.16 จากปริมาณลิโมนินเริ่มต้น 423.90 ppm เป็น 173.11 ppm

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า งานวิจัยครั้งนี้จะทำการลดความขมเปลือกชั้นในโดยใช้สารเคมีที่ปลอดภัยที่สุดและมีปริมาณน้อยที่สุด ราคาไม่แพง ใช้ระยะเวลาไม่นานจนเกินไป โดยการใช้สารละลาย NaCl, $CaCO_3$, การปรับค่า pH เป็นต่างคือ 7-9 ด้วยสารละลาย 0.1 นอร์มอล NaOH

การทำแห้งผลิตภัณฑ์เพื่อการแปรรูปเปลือกส้มโอผง

การทำแห้งผลิตภัณฑ์มีหลายวิธีได้แก่ การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งบรรยากาศชนิดนำความร้อน (Drum drying) การอบแห้งแบบถาดหรือห้องอบ (Tray or Carbinet drying) การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนแบบอุโมงค์ (Tunnel Drying) การอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized-Bed drying) การอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized-Bed drying) การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม (Pneumatic dryer) การอบแห้งแบบสายพาน (Conveyor drying) การอบแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบโฟมเมท (Form-Met drying) การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer) การทำแห้งแบบระเหิด (Freeze drying) (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2535) ในการทดลองครั้งนี้มีการแปรรูปเปลือกส้มโอผงโดยการทำแห้งด้วยกัน 2 วิธีคือ การทำแห้งแบบระเหิด (Freeze drying) และ การอบแห้งแบบถาดหรือห้องอบ (Tray or Carbinet drying) เพื่อต้องการเปรียบเทียบผลของการทำแห้งต่อคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และเชิงหน้าที่ของใยอาหารผงจากเปลือกส้มโอที่ได้เนื่องจากการทำแห้งทั้ง 2 แบบมีข้อดีและข้อเสียต่างกันดังนี้

การแปรรูปเปลือกส้มโอผง คือ การทำให้แห้งหรือการกำจัดน้ำ (Drying) โดย การใช้ความร้อนหรือความเย็นภายใต้สภาวะควบคุมเพื่อกำจัดน้ำส่วนใหญ่ที่อยู่ในอาหาร โดยการระเหยน้ำหรือการระเหิดของแข็งในการอบแห้ง วัตถุประสงค์ของการอบแห้ง คือ ต้องการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารโดยการลดปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ (Water activity, Aw) ซึ่งมีผลในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ และการทำงานของเอนไซม์ โดยทั่วไปอุณหภูมิในระหว่างกระบวนการอบแห้งจะไม่สูงพอที่จะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ การอบแห้งแบบใช้อุณหภูมิสูงจะมีข้อเสียบางประการ คือ ทำให้เกิดการสูญเสียคุณภาพทางโภชนาการบางประการของอาหาร มีข้อดีคือ ค่าใช้จ่ายถูก ซึ่งในผลิตภัณฑ์ส่วนมากจะไม่สามารถลดความชื้นจนมีค่าเท่ากับศูนย์ได้ แต่จะมีความชื้นจำนวนหนึ่งแฝงอยู่ (Hygroscopic materials) (กัญจน์พัชร อุปคิลป์, 2553) ส่วนการแห้งอีกวิธีหนึ่งคือเป็นการทำแห้งแบบใช้อุณหภูมิต่ำคือการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying or lyophilization) เป็นกระบวนการทำแห้งที่ใช้หลักการดึงเอาโมเลกุลของน้ำออกจากอาหาร โดยอาศัยการระเหิดของน้ำจากสภาพของแข็งกลายเป็นไอ อาหารที่ต้องการทำแห้งโดยวิธีนี้จะถูกทำให้อยู่ในสภาพเยือกแข็ง

การระเหิดของน้ำ เกิดขึ้นได้เนื่องจากความดันและอุณหภูมิในการทำแห้งที่อยู่ต่ำกว่าจุดวัฏภาคของ ก๊าซของเหลว และของแข็ง หรือจุด Triple point ของน้ำ หรือสลายในอาหาร (Fellows, 2000) ซึ่งการทำแห้งวิธีนี้ สามารถรักษา สี รส และกลิ่นของอาหารเหมือนเดิม คงคุณค่าทาง โภชนาการไว้ได้ เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ไม่ใช้ความร้อน แต่มีข้อเสียคือ ค่าใช้จ่ายสูง

ซึ่งทางในอุตสาหกรรมอาหารการนำเปลือกส้มโอมาผลิตเป็นโยเกิร์ตเป็นสิ่งที่น่าสนใจยิ่ง ดังนั้นการทำให้แห้งหรือการกำจัดน้ำ (Drying) หมายถึง การใช้ความร้อนภายใต้สภาวะควบคุมเพื่อ กำจัดน้ำส่วนใหญ่ที่อยู่ในอาหาร โดยการระเหิดน้ำหรือการระเหิดของแข็งในการอบแห้งแบบแช่เยือก แข็งและการอบแห้งแบบลมร้อน ซึ่งทั้ง 2 วิธีมีข้อดีและข้อเสียต่างกันคือการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง คงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าแบบอบแห้งแบบลมร้อน แต่อบแห้งแบบลมร้อนใช้ระยะเวลาใน การทำแห้งสั้นกว่าแบบแช่เยือกแข็ง แต่อย่างไรก็ตามเมื่อผลิตภัณฑ์ออกมาในรูปของผง ซึ่งมีข้อดี หลายประการคือ น้ำหนักเบา ขนส่งสะดวก สะดวกในการนำไปใช้ สามารถเก็บได้นาน

ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงต้องการเปรียบเทียบการทำแห้งทั้ง 2 วิธีคือการอบแห้งแบบแช่เยือก แข็ง (Freeze drying) และอบแห้งแบบถาดลมร้อน (Tray drying) ซึ่งการใช้ความร้อนจะใช้อุณหภูมิที่ ไม่สูง และระยะเวลาไม่นานจนเกินไป แต่จะให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีความชื้นเหลือน้อยกว่าร้อยละ 10 หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทั้งทางกายภาพ ทางเคมี และเชิงหน้าที่ของการทำแห้งทั้ง 2 วิธี

อายุการเก็บรักษา

การเก็บรักษาสถิตภัณฑ์ผงในที่นี้หมายถึงอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ในภาชนะบรรจุ ซึ่ง หมายถึง ช่วงระยะเวลาของการเก็บรักษาตั้งแต่ผลิตภัณฑ์ผลิตเสร็จ จนกระทั่งผลิตภัณฑ์นั้นอยู่ใน สภาพที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ หรือมีการเปลี่ยนแปลงทั้งทางเคมี ทางกายภาพ ทางคุณสมบัติเชิงหน้าที่ และทางจุลินทรีย์ อายุการเก็บรักษาจะมีข้อดีทำให้ทราบเวลาที่เก็บไว้นานเท่าใด ซึ่งมีความสำคัญ ในทางการค้าและทางกฎหมาย หากคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไม่ตรงกับที่แจ้งไว้ฉลากเมื่อระยะเวลาผ่าน ไป (อนุวัตร แจ้งชัด, 2533)

ปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาสามารถแบ่งได้เป็น 2 ปัจจัยหลัก ได้แก่ ปัจจัยภายใน (Intrinsic factors) ซึ่งเป็นปัจจัยที่แสดงถึงคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (Water activity , a_w) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าความเป็นกรดโดยรวม (Total acidity) ปริมาณ ออกซิเจนที่มีอยู่ แร่ธาตุต่างๆ และปัจจัยภายนอก (Extrinsic factors) เช่น การควบคุมอุณหภูมิใน ระหว่างการเก็บรักษา ลักษณะบรรจุภัณฑ์ และการจัดจำหน่าย ปริมาณความชื้นในระหว่างการผลิต การสัมผัสแสงต่างๆในระหว่างการเก็บรักษา เป็นต้น (คงวุฒิ นิรันตสุข, 2549)

นอกจากนี้ในการเลือกในการเก็บรักษาสถิตภัณฑ์ผงให้นานขึ้น ควรมีการศึกษาการใช้บรรจุ ภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารประเภทผง ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความไวต่อความชื้นมาก ควรเลือกบรรจุภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติดังนี้

1. ความสามารถป้องกันความชื้น ภาชนะบรรจุที่ดีจะต้องสามารถป้องกันไอน้ำ จากสถานะอากาศรอบๆ ไม่ให้ผ่านเข้าไปในภาชนะบรรจุ เพราะจะทำให้อาหารขึ้นเกาะกันเป็นก้อน

ซึ่งจะทำให้เกิดรา และทำให้ปฏิกิริยาเคมีภายในอาหารเกิดเร็วขึ้น เช่น การหมิ่นหมิ่น การเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล เป็นต้น

2. ความสามารถป้องกันอากาศ ภาชนะบรรจุที่ดีจะต้องสามารถป้องกันก๊าซออกซิเจน จากสภาวะอากาศรอบๆ ผ่านเข้าไปในภาชนะบรรจุ ภายในอาหารแห้งปฏิกิริยาเคมียังดำเนินไปช้าๆ ทำให้สี กลิ่น รส และเนื้อสัมผัสของอาหารเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้น ถ้าในภาชนะบรรจุมีก๊าซออกซิเจนอยู่ ปฏิกิริยาเคมีในอาหารแห้งจะเกิดได้เร็วขึ้นและอายุการเก็บรักษาของอาหารนั้นจะสั้นลง นอกจากนั้นอาหารบางชนิดมีส่วนประกอบของไขมันอยู่จะทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนเกิดการหมิ่นหมิ่นได้

3. ความทนทานต่อการกดหรือเสียดสี ภาชนะบรรจุที่ดีจะต้องทนทานต่อการกดหรือเสียดสีได้ดี ทั้งนี้เนื่องจากเนื้ออาหารแห้งมักแข็ง เปราะ แตกง่าย และมีส่วนแหลมคมสามารถทิ่มแทงภาชนะบรรจุได้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากผลไม้ตระกูลส้ม ทางอุตสาหกรรมน้ำผลไม้ มักใช้ น้ำ เป็นส่วนมาก ส่วนเนื้อเยื่อจึงกลายเป็นการรวมทั้งเปลือกชั้นนอกและชั้นใน ดังนั้นจึงมีนักวิจัยหลายๆท่าน เล็งเห็นถึงประโยชน์ของส่วนที่เหลือดังกล่าวนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารทั้งแบบเปียกและแห้ง ซึ่งบางงานวิจัยมีทั้งลดความขมและหรือไม่ลดความขมก่อนนำไปทำเป็นโยอาหาร ทั้งนี้ทั้งนั้นนักวิจัยได้มีการพัฒนางานวิจัยตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ดังนี้

Kay (1982) กล่าวว่าคุณสมบัติกายภาพและเคมีของ Dietary fiber มีผลดีต่อระบบทางเดินกระเพาะอาหาร คือจะไม่ถูกย่อยโดยเอนไซม์ในทางเดินอาหารของมนุษย์แต่จะถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ ซึ่งจะมีผลทำ ให้น้ำหนักอุจจาระเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 75 ซึ่งจะมีผลดีต่อคนไข้ที่อยู่ในสภาวะท้องผูก (Constipation)

Sosulski & Cadden (1982) พบว่าเส้นใยอาหารที่มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำสูง ได้แก่ เพคติน และมิวซิเลจส์มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงด้วย แต่เส้นใยอาหารที่มีองค์ประกอบที่เป็นสตาร์ชสูงจะมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ

Boroto et al. (1995) ศึกษาผลของขนาดอนุภาคต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารผงจากเปลือกส้มพันธุ์วาเลนเซีย มะนาวพันธุ์ Eureka เกรฟฟรุตพันธุ์ March และสับปะรดพันธุ์ Espanola Roja โดยแปรขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคเป็น 0.11-1.00 มิลลิเมตร พบว่า ความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารจากเปลือกพืชตระกูลส้มทุกชนิด เพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้น และมีนัยสำคัญกับขนาดอนุภาคที่เพิ่มขึ้น ขณะที่ความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารจากสับปะรดลดลง เป็นเชิงเส้นและมีนัยสำคัญกับขนาดอนุภาคที่เพิ่มขึ้น

Cho & Dreher (2001) ศึกษาการวัดความสามารถในการดูดซับน้ำไว้ในโครงสร้างของโยอาหารพบว่า โยอาหารทั้งชนิดที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำสามารถดูดซับน้ำได้เป็นปริมาณมาก โดยพบว่าโยอาหารมีองค์ประกอบเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ ซึ่งพอลิแซ็กคาไรด์เป็นโมเลกุลที่ชอบน้ำ เนื่องจาก

มีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระเป็นจำนวนมากจึงสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ ดังนั้นโยอาหารทั้งชนิดที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำจึงสามารถอุ้มน้ำได้

Francisco et al. (2007) ได้ทำการศึกษาถึงความแตกต่างของเส้นใยและองค์ประกอบทางเคมีเส้นใยของผลไม้ตระกูลส้ม (ส้ม มะนาว เกรฟฟรุต) จากแหล่งเพาะปลูกที่ต่างกัน โดยมีการผลิตเส้นใยทั้งจากทั้งผล เปลือก และเนื้อ ล้างทำความสะอาดเพื่อฆ่าเชื้อโรคด้วยการล้างน้ำร้อนที่อุณหภูมิสูงใน water bath คั้นแยกน้ำออกจากผล กากที่ได้นำมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 ± 5 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง บดให้ได้ขนาดอนุภาคผกนน้อยกว่า 0.2 มม. ได้โยอาหารผงจากผลไม้ตระกูลส้ม ซึ่งค่า เพคติน ลิกนิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ฟลาโวนอยด์ มากน้อยขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตมากกว่าชนิดของผลไม้ตระกูลส้ม

Tsai et al. (2007) ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกส้มโอ Red pummelo ที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่า มีปริมาณความชื้น เถ้า กากอาหาร โปรตีน และไขมัน ร้อยละ 15.6, 23, 4.7, 4.3, 0.28 และ 14.7 ตามลำดับ อีกทั้งยังมีแคลโรทีนอยด์ ฟลาโวนอยด์ แอนโทไซยานิน และวิตามินซี นอกจากนี้ในเปลือกส้มโอส่วนที่เป็นสีขาวจะประกอบด้วยเส้นใย เพคติน และสารพวกเมือก

Nassar et al. (2008) ศึกษาผลของการเติมเส้นใยอาหารจากพืชตระกูลส้ม คือ เปลือกส้ม และเนื้อส้ม (ร้อยละ 0.5, 15 และ 25) ในขนมปัง พบว่าสามารถเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารในขนมปังจากร้อยละ 2.73 เป็นร้อยละ 15.31 และช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำ โดยการเติมเส้นใยอาหารจากเปลือกส้มและเนื้อส้มในขนมปังร้อยละ 5 และ 15 มีลักษณะทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างจากขนมปังสูตรปกติ

อรุณี ตรีศิริโรจน์ (2541) ได้ทำการศึกษาการใช้เปลือกมะนาวเป็นสารทดแทนไขมันในน้ำสลัด ในปริมาณร้อยละ 1 ต่อมา เกศสุตา วงศ์มกลาไสย และ รสวันต์ อัสวพลังกุล (2544) ได้ทำการสกัดเส้นใยจากส่วนเปลือกสีขาวของส้มโอและนำมาพัฒนาในรูปแบบยาอัดเม็ดเสริมเส้นใยอาหารเพื่อเป็นการนำวัตถุดิบที่หมดประโยชน์แล้วมาทำให้เกิดประโยชน์ทั้งในด้านเศรษฐกิจและเกิดผลดีต่อสุขภาพ นิธิมา อรรถวานิช และปราณี อำนเปื้อง (2546) ได้นำโยอาหารจากเปลือกส้มไปใช้ผลิตภัณฑ์เค้กถ้วยเนื่องจากได้ทำการตรวจสอบโครงสร้างจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดพบว่ามีความเป็นรูพรุนมาก ดังนั้นการเสริมโยอาหารผงจากเปลือกส้มในเค้กถ้วยแทนแป้งร้อยละ 2-6 ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค

Tainara de et al. (2013) ได้ทำการผลิตโยอาหารผงจากเปลือกส้ม เนื้อส้ม และเมล็ด โดยมีการหั่นเป็นชิ้นให้มีขนาด 1 cm^2 ทำการล้างฆ่าเชื้อด้วยสารละลาย sodium hypochlorite ในอัตราส่วน 150 มิลลิกรัม/ลิตร แช่เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นทำแห้งแบบถาดลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ประมาณ 4 ชั่วโมง บดและร่อนผ่านตะแกรงที่มีความละเอียด 115 เมช ได้ผงที่มีขนาดละเอียด $125 \mu\text{m}$ เพื่อเป็นวัตถุดิบในการเป็นสารทดแทนไขมันในไอศกรีม

Bongkochrat et al. (2013) ได้ทำการผลิตเส้นใยอาหารจากเปลือกในส้มโอพันธุ์ขาวใหญ่ ผ่านการลดความชื้นโดยแช่ใน pH 7 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการสกัด 20 นาที ได้ค่าทำนายปริมาณนารินจินและลิโมนินที่คงเหลือในเปลือกในส้มโอเป็น 29.25 และ 0.22 mg/100g ตามลำดับ จากนั้นนำเปลือกส้มโอที่ผ่านการลดความชื้นแล้วผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1:3 โดยน้ำหนัก

ต่อปริมาตร บดเปียกที่ความเร็วสูงนาน 1 นาที จากนั้นต้มที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง บีบน้ำออก แฉในร้อยละ 95 เอทานอลในอัตราส่วน 1:3 โดยน้ำหนักต่อปริมาณ ทำซ้ำ 2 ครั้ง ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง กรองผ่านถุงไนลอน บีบสารละลายเอทานอลออก อบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง บดละเอียด ได้เปลือกส้มโอผงที่มีสีขาวมีค่าความสว่าง L เท่ากับ 97.29 ความสามารถในการอุ้มน้ำเท่ากับ 14.50 กรัมต่อกรัมตัวอย่างแห้ง ความสามารถในการอุ้มน้ำมันเท่ากับ 2.38 กรัมไขมันต่อกรัมตัวอย่างแห้ง ปริมาณเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำเท่ากับร้อยละ 44.57 ปริมาณเส้นใยละลายน้ำเท่ากับร้อยละ 35.45 และปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 80.02 ลักษณะโครงสร้างเป็นรูพรุนมาก มีขนาดไม่สม่ำเสมอ จึงทำให้เปลือกส้มโอผงมีความสามารถในการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมันสูง

นิธิมา อรรถวานิช และปราณี อานเป็รื่อง (2546) ได้ทำการศึกษาการแปรรูปและลักษณะเฉพาะของใยอาหารผงจากเปลือกส้มเขียวหวาน พบว่า สภาวะที่ดีที่สุดในการผลิตใยอาหารผงคือต้องนำเปลือกส้มไปผ่านการลวกด้วยไอน้ำ 2 นาที เพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ ที่มีผลต่อคุณภาพของใยอาหาร หลังจากนั้นนำไปทำแห้งด้วยสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่ไม่ทำให้สีเปลี่ยนแปลงมาก จากนั้นนำไปลดความชื้นในสารละลายที่มีความเป็นกรดต่าง เท่ากับ 7 ปรับระดับความเป็นกรด-ด่างด้วยสารละลาย 0.1 นอร์มอล NaOH เมื่อลดความชื้นในผงเปลือกเข้าขั้นสุดท้ายจะเข้าสู่กระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ใยอาหารผงที่ได้มีปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ ใยอาหารที่ละลายน้ำ และใยอาหารทั้งหมด เท่ากับ 23.87 52.22 และ 76.09 กรัมต่อ 100 กรัมแห้ง น้ำหนักแห้ง ความสามารถในการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมัน เท่ากับ 11.96 และ 1.67 กรัมต่อกรัมแห้ง และ ค่าความหนาแน่น 0.16 กรัมต่อมิลลิลิตร

สุวรรณา และคณะ (2547) ศึกษาผลของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อระดับความชื้นของนารินจินในน้ำมะนาว พบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือ นำผลมะนาวผ่านความร้อนในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.01 นอร์มอล ที่ระดับอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที โดยมีปริมาณนารินจินลดลงมากที่สุด คือเหลือประมาณ 102 มิลลิกรัมต่อลิตร

กนกวรรณ โชติเชย และนภาพรรณ ศรีสุใจ (2547) ได้ประยุกต์ใช้เปลือกส้มโอเสริมในผลิตภัณฑ์คุกกี้และเค้ก โดยมีการเตรียมเปลือกส้มโอผงจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง หั่นเป็นชิ้นเล็ก 1X1 ตารางนิ้ว แฉในสารละลายแคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 3 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ครอบกำหนดนำเปลือกส้มอมาล้างน้ำ บีบ นำไปต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที ทำซ้ำเช่นเดิมอีกครั้ง ขั้นตอนสุดท้ายทำให้แห้งที่ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง บด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช จะได้ใยอาหารผงจากเปลือกส้มโอที่มีใยอาหารทั้งหมดร้อยละ 64.14 ค่าสี L a*b* เท่ากับ 87.45, 0.15 และ 8.98 ตามลำดับ ความสามารถในการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมัน เท่ากับ 6.52 และ 2.55 กรัมต่อกรัมแห้ง น้ำหนักแห้ง และค่าความหนาแน่น 0.32 กรัมต่อมิลลิลิตร

ไพลิน วุฒิพลกร (2549) ผลิตใยอาหารผงจากกากมะนาวแป้น โดยคั้นน้ำมะนาว แยกเมล็ด ออก ลวกกากมะนาวในน้ำร้อนอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน 5 นาที แฉน้ำเย็นต่อที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน 5 นาที เข้าเครื่องปั่นหมุนเหวี่ยงเพื่อแยกน้ำส่วนเกินออก เป็นเวลา 5 นาที แฉกากมะนาวในสารละลายเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 95 เป็นเวลา 30 นาที เข้าเครื่องปั่นหมุนเหวี่ยงเพื่อแยกสารละลายเอทานอลส่วนเกินออกอีกครั้ง นำกากมะนาวไปหั่นเป็นชิ้น

เล็กๆ อบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส พบว่าสภาวะนี้ปริมาณลิโมนินลดลงร้อยละ 72.18 (717.56 ppm) ปริมาณโยอาหารที่ละลายน้ำ โยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และโยอาหารทั้งหมด เท่ากับ 32.21 40.74 และ 72.94 กรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ความสามารถในการบวมน้ำอยู่ในช่วง 10.12-11.86 กรัม/กรัม(น้ำหนักแห้ง) และความสามารถในการกักเก็บน้ำอยู่ในช่วง 9.72-11.74 กรัม/กรัม(น้ำหนักแห้ง)

Wattanasiritham et al. (2005) ได้วิเคราะห์ปริมาณลิโมนิน และนารินจินในเนื้อส้มโอพันธุ์ทองดี ขาวน้ำผึ้ง และขาวใหญ่ ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างกันโดยวิเคราะห์ที่อายุการเก็บ 7, 8 และ 9 เดือน พบว่า ปริมาณ ลิโมนินและนารินจินจะลดลงเมื่ออายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มมากขึ้นด้วย ดังนั้น จึงควรใช้เปลือกส้มโอที่แก่จัดในการผลิตเส้นโยอาหารผง

การันย์ ประทีปแก้ว และคณะ (2551) ได้ใช้เปลือกชั้นในของส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง หั่นเป็นลูกเต๋าขนาด 3x3x3 ลูกบาศก์เซนติเมตร แช่ในสารละลายแคลเซียมคาร์บอเนตเข้มข้นร้อยละ 5 นาน 1 ชั่วโมง กรองแยกน้ำ บีบ และปั่นเหวี่ยงแยกน้ำนาน 30 วินาที นึ่ง 5 นาที ปั่นเหวี่ยงแยกน้ำอีกครั้ง นาน 30 วินาที พบว่าความสามารถในการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมัน เท่ากับ 6.25 และ 5.50 กรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง

นพมาศ พูลเจริญศิลป์ (2551) พบว่า ผลิตภัณฑ์เปลือกส้มโอแช่อิ่มของกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรท่าข้าวโพด จังหวัดชัยนาท ได้ใช้ภูมิปัญญาในการทำเปลือกส้มโอแช่อิ่ม โดยการแช่เปลือกส้มโอตากแห้งในน้ำปูนผสมเกลือ จากนั้นจึงบีบน้ำปูนผสมเกลือออก แล้วล้างด้วยน้ำประมาณ 4-5 ครั้งจนกว่าจะหมดรสขม

วันเพ็ญ แสงทองพินิจ (2551) ได้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตโยอาหารจากเปลือกส้มโอ พบว่าการที่ไม่ต้มจะได้ปริมาณผลผลิตของโยสูงกว่าการนำเปลือกส้มโอไปต้มในน้ำเดือด ซึ่งมีค่าปริมาณกากใยของเปลือกส้มโอร้อยละ 20.88 ความชื้นร้อยละ 74.94 ค่าประสิทธิภาพสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน 1.53 ต่อมาปี พ.ศ. 2553 ได้ทำการศึกษาการเสริมโยจากเปลือกส้มโอในผลิตภัณฑ์หมุยโดยใช้เปลือกส้มโอส่วนที่เป็นสีขาวโดยทำการเปรียบเทียบเปลือกส้มโอดิบและเปลือกส้มโอต้มนาน 5 นาที ไม่ผ่านการทำให้แห้งใดๆ โดยนำเปลือกส้มโอเดิมลงในหมุยปริมาณร้อยละ 0, 2.5, 5, 7.5 และ 10 พบว่าหมุยมีปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น ปริมาณไขมันลดลง และในการเสริมโยจากเปลือกส้มโอดิบจะเกิดการหืนได้ช้ากว่าหมุยที่เสริมส้มโอที่ผ่านการต้ม

ศุภวัฒน์ นามคำ (2554) ได้ทำการผลิตเส้นโยผงจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวใหญ่เพื่อใช้เป็น ส่วนผสมในการทำซอ่ม่วง ขั้นตอนในการเตรียมเริ่มจากหั่นเปลือกสีขาวขนาดเล็ก 5 มิลลิเมตร หมักเกลือโดยใช้อัตราส่วนเปลือกส้มโอต่อเกลือ 1:0.5 โดยน้ำหนัก หมักนาน 12 ชั่วโมง ล้างออกจนหมดรสเค็ม แยกน้ำออกด้วยเครื่องเหวี่ยง 1,440 รอบ/นาที นาน 5 นาที อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 4.30 ชั่วโมง บด และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช

สุชาติ นกเถื่อน (2554) ผลิตโยอาหารจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวใหญ่โดยนำเปลือกที่หั่นเป็นชิ้นขนาดเล็ก 1x1x1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ต้มกับน้ำเดือดในอัตราส่วนเปลือกต่อน้ำ 1:5 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำซ้ำอีกครั้ง บีบน้ำออก นำเปลือกส้มโอ 1 ส่วน แช่ในสารละลายเอทานอลร้อยละ 95 3 ส่วน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง กรองนำมาทำแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง บด และร่อนผ่านตะแกรง เมื่อนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ พบว่า ค่าสี $L^*a^*b^*$

เท่ากับ 87.02, 0.31 และ 11.83 ตามลำดับ เส้นใยอาหารทั้งหมด ร้อยละ 87.02 ความสามารถในการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมัน เท่ากับ 12.47 และ 2.61 กรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง

กุหลาบ สิทธิสวนจิก และคณะ (2555) ผลิตใยอาหารจากการสับเขียวหวานโดยมีวิธีการเตรียมที่แตกต่างกันคือ วิธีแรกล้างด้วยน้ำที่อุณหภูมิปกติ วิธีที่ 2 ลวกด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสนาน 5 นาที และ วิธีที่ 3 แช่ในสารละลายเอทานอลร้อยละ 95 ทั้ง 3 วิธีนำมาทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส บด และร่อนผ่านตะแกรง เมื่อนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ พบว่า วิธีแรกจะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและความเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ในขณะที่ วิธีที่ 3 คุณสมบัติเชิงหน้าที่ด้านความสามารถในการอุ้มน้ำ อุ้มน้ำมัน และค่าความหนาแน่นมีค่าสูงกว่าวิธีอื่น

นอกจากนี้นักวิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวกับการเก็บรักษาอายุของผลิตภัณฑ์อาหารทั้งชนิดแห้งและชนิดผดงดังนี้

วันเพ็ญ มีสมญา (2546) ได้ทำการศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ใยอาหารจากถั่วเขียว ข้าวโพด ข้าวกล้อง รุ้มน้ำมะพร้าวสด และสูตรอาหารต่างๆที่มีการจำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไป จากนั้นนำมาบรรจุถุงปิดสนิท และนำมาเก็บที่อุณหภูมิต่างๆ คือ 4 18 และ 30 องศาเซลเซียส หลังจากเก็บในแต่ละวันพบว่าทุกอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสี กลิ่น ลักษณะปรากฏ รสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวม และสามารถยังสามารถเก็บได้นานถึง 6 เดือนโดยที่เชื้อจุลินทรีย์ยังไม่เกินมาตรฐาน

เศรษฐการ นุชนิยม (2554) ทำการศึกษาอายุการเก็บรักษาตำลึงผงโดยทำการเปรียบเทียบชนิดของถุงที่เก็บ ได้แก่ ถุงลามิเนทอลูมิเนียมฟอยด์และถุงโพลีเอทิลีน เป็นระยะ 3 เดือน พบว่าตำลึงผงที่เก็บถุงลามิเนทอลูมิเนียมฟอยด์มีปริมาณความชื้นร้อยละ 3.032 และ ค่า a_w 0.287 น้อยกว่าเมื่อเก็บตำลึงผงในถุงโพลีเอทิลีนคือมีปริมาณความชื้นร้อยละ 5.151 และ a_w 0.339 และยังพบว่าเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

ศุภมาศ กลิ่นขจร และคณะ (2550) เปรียบเทียบสภาวะการเก็บทุเรียนผงในถุงที่แตกต่าง 2 ประเภทคือถุงลามิเนทอลูมิเนียมฟอยด์ และถุงโพลีเอทิลีน พบว่าถุงลามิเนทอลูมิเนียมฟอยด์จะสามารถเก็บรักษาสภาพทุเรียนผงที่ดี โดยที่ทุเรียนผงไม่จับตัวกันเป็นก้อน และไม่มีกลิ่นหืน สามารถเก็บได้นาน 9 เดือน กว่าทุเรียนผงที่บรรจุในถุงโพลีเอทิลีนซึ่งสามารถเก็บได้เพียง 6 เดือนเท่านั้น

กัญจน์พัชร อุปศิศิลป์ (2553) ได้ทำศึกษาถึงอายุการเก็บรักษาใบเตยอบแห้งโดยทำการบรรจุในถุงพลาสติกแบบธรรมดาที่ไม่มีการไล่สุญญากาศออก เก็บไว้อุณหภูมิห้อง พบว่า ผลิตภัณฑ์สามารถเก็บได้ขั้นต่ำ 2 เดือน โดยที่คุณสมบัติทางด้านกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ ยังคงเป็นที่ยอมรับ

วลัย หุตะโกวิท และคณะ (2551) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีและจุลินทรีย์ของน้ำพริกแห้งและเครื่องต้มยำกึ่งสำเร็จรูประหว่างการเก็บรักษา โดยทำการบรรจุพริกแห้งไว้ในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดเคลือบด้วยสารที่ทำให้สามารถปิดผนึกได้ด้วยความร้อน มีความหนา 0.15 มิลลิเมตร บรรจุภายใต้สภาพที่เป็นสุญญากาศแล้วผนึกปิดให้สนิทจากนั้นนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 2 อุณหภูมิคือ ห้อง (30 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิตู้เย็น (8 องศาเซลเซียส) จากนั้นทำการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทุก 2 เดือน พบว่าสามารถเก็บรักษาพริกแห้ง และเครื่องต้ม

ย่ำสำเร็จรูปได้มากกว่า 8 เดือน โดยคุณภาพในด้านเคมี และจุลินทรีย์ คือ ความชื้น วอเตอร์แอกติวิตี (a_w) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์ รา ยังไม่เปลี่ยนแปลง

การันย์ ประทีปแก้วและคณะ (2550) ได้ทำการเก็บรักษาเส้นใยสดจากเตริยมจากเปลือกชั้นในของส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง โดยเก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส วิเคราะห์ผลทุกๆ สัปดาห์เป็นเวลา 28 วัน พบว่าคุณสมบัติเชิงหน้าที่ทางด้านการดูดซับน้ำและน้ำมัน ลักษณะสีค่าความสว่าง L ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และยังปลอดภัยจากเชื้อจุลินทรีย์

