

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกชั้นในส้มโอ

จากการเปลือกส้มโอทั้ง 3 สายพันธุ์ได้แก่ พันธุ์ทองดี พันธุ์ขาวน้ำผึ้ง และพันธุ์ขาวใหญ่ มาล้างน้ำให้สะอาด ผึ่งให้แห้ง ทำการแยกเปลือกชั้นนอกสีเขียวออก เหลือแต่เพียงเปลือกชั้นใน หลังจากนั้นนำมาตัดเป็นชิ้นให้มีขนาด 1X1x1 ลูกบาศก์เซนติเมตร เปลือกส้มโอแต่ละสายพันธุ์แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 เปลือกส้มโอชั้นในแบบสด (ไม่ผ่านการอบแห้ง)

ส่วนที่ 2 เปลือกส้มโอชั้นในแบบแห้ง นำเปลือกส้มโอชั้นในมาลดความชื้นด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส จนแห้งมีความชื้นเหลือน้อยกว่าร้อยละ 10 จะได้เปลือกส้มโอชั้นในแบบแห้ง จากนั้นบดด้วยเครื่องบดผ่านรูตะแกรงขนาด 100 เมช เก็บตัวอย่างแห้งใส่ถุงสุญญากาศปิดสนิทเก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

นำตัวอย่างทั้ง 2 ส่วน วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีดังนี้ ปริมาณโปรตีน ความชื้น ไขมัน เถ้า เยื่อใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรต สารประกอบฟีนอลทั้งหมด การตรวจวัดคุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากเปลือกชั้นในด้วยวิธี DPPH วิเคราะห์ปริมาณสารลิโมนิน และปริมาณสารนารินจิน เพื่อทำการคัดเลือกเปลือกชั้นในของส้มโอพันธุ์ที่เหมาะสมที่สุด 1 พันธุ์มาผลิตเป็นโยเกิร์ตผง ดังตารางที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 ดังนี้

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางเคมีของเปลือกชั้นในจากส้มโอพันธุ์ทองดี (สดและแห้ง)

องค์ประกอบทางเคมี	เปลือกชั้นในจากส้มโอพันธุ์ทองดี	
	เปลือกสด	เปลือกแห้ง
ความชื้น (ร้อยละ)	71.69±0.78	2.85±0.08
โปรตีน (ร้อยละ)	2.20±0.03	9.60±1.55
ไขมัน (ร้อยละ)	0.59±0.08	0.71±0.06
เส้นใยอาหาร (ร้อยละ)	6.13±0.77	74.05±0.09
เถ้า (ร้อยละ)	16.64±0.10	4.72±0.03
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	2.75	7.27
ลิโมนิน (ppm)	81.98±2.47	415.93±3.36
นารินจิน (ppm)	11604.89±10.41	25944.99±31.38
สารประกอบฟีนอลทั้งหมด (mg gallic acid/g dry basis)	6.22±0.10	13.1079±0.27
คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH Scavenging (μM)	45.35±0.03	95.35±0.25

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางเคมีของเปลือกชั้นในจากส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง (สดและแห้ง)

องค์ประกอบทางเคมี	เปลือกชั้นในจากส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง	
	เปลือกสด	เปลือกแห้ง
ความชื้น (ร้อยละ)	70.12±0.44	3.59±0.03
โปรตีน (ร้อยละ)	2.07±0.06	5.87±0.36
ไขมัน (ร้อยละ)	1.39±0.07	0.43±0.09
เส้นใยอาหาร (ร้อยละ)	7.30±0.92	77.25±1.56
เถ้า (ร้อยละ)	15.92±0.29	3.74±0.10
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	3.20	9.12
ลิโมนิน (ppm)	53.22±3.86	253.46±2.51
นารินจิน (ppm)	6306.35±11.70	17927±29.98
สารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (mg gallic acid/g dry basis)	3.07±0.04	9.07±0.38
คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH Scavenging (μM)	30.22±0.07	93.66±0.10

ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติทางเคมีของเปลือกชั้นในจากส้มโอพันธุ์ขาวใหญ่ (สดและแห้ง)

องค์ประกอบทางเคมี	เปลือกชั้นในจากส้มโอพันธุ์ขาวใหญ่	
	เปลือกสด	เปลือกแห้ง
ความชื้น (ร้อยละ)	71.65±0.63	3.80±0.02
โปรตีน (ร้อยละ)	2.06±0.12	5.41±0.27
ไขมัน (ร้อยละ)	1.52±0.02	0.46±0.01
เส้นใยอาหาร (ร้อยละ)	5.32±0.13	74.85±0.21
เถ้า (ร้อยละ)	15.76±0.06	3.52±0.05
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	3.69	11.96
ลิโมนิน (ppm)	60.88±1.35	279.45±4.56
นารินจิน (ppm)	9736.17±19.59	19085±18.56
สารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (mg gallic acid/g dry basis)	5.90±0.10	10.25±0.20
คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH Scavenging (μM)	36.24±0.06	94.67±0.50

ปริมาณความชื้น

ตารางที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 ผลจากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีต่างๆ ทั้งเปลือกส้มโอชั้นในทั้ง 3 สายพันธุ์ คือเปลือกส้มโอชั้นในพันธุ์ทองดี ขาวน้ำผึ้ง และขาวใหญ่ แต่ละสายพันธุ์ วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีเปรียบเทียบทั้งแบบเปลือกส้มโอสด และเปลือกส้มโอแบบแห้ง พบว่าเปลือกส้มโอแบบสดทั้ง 3 สายพันธุ์มีความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ 71.12-71.69 ค่าปริมาณความชื้นสูงมากซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้เปลือกส้มโอเน่าเสียเร็วขึ้นเนื่องจากความชื้นเป็นที่ต้องการการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สูง ในขณะที่เปลือกส้มโอแบบแห้งทั้ง 3 สายพันธุ์ พบว่ามีปริมาณความชื้นลดลงเหลือร้อยละ 2.85-3.80 ความชื้นในระดับนี้สามารถเก็บได้นานยิ่งขึ้น Larrauri (1999) กล่าวว่า ปริมาณความชื้นที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ควรมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 10

ปริมาณโปรตีน ไขมัน และเถ้า

ปริมาณโปรตีน ไขมัน และเถ้าของเปลือกชั้นในแบบสดมีปริมาณร้อยละ 2.06-2.20, 0.46-0.59 และ 15.76-16.64 ตามลำดับ เมื่อนำไปทำแห้งพบว่าปริมาณโปรตีน ไขมัน และเถ้า มีปริมาณร้อยละ 5.41-9.60, 0.43-0.71 และ 3.52-4.72 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโปรตีน ไขมัน และเถ้ากับผลไม้ตระกูลส้มชนิดอื่นๆ ทั้งต่างประเทศและในประเทศพบว่าเปลือกส้มโอที่นำมาศึกษานี้มีข้อดีคือ มีปริมาณโปรตีน ไขมัน และเถ้า น้อยกว่าผลไม้ตระกูลส้มชนิดอื่นๆ ยกเว้นเปลือกส้มโอพันธุ์ทองดีที่มีโปรตีนสูง

ถึงอย่างไรก็ตาม นิธิมา อรรถวานิช และปราณี อ่านเปรื่อง (2003) กล่าวว่า หากต้องการผลิตให้ได้ใยอาหารผงในปริมาณที่สูงขึ้นอีก จำเป็นต้องกำจัด โปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรตเหล่านี้ออกไปเพื่อให้ได้ใยอาหารเพิ่มมากขึ้น จากผลการทดลองนี้เปลือกส้มโอทั้ง 3 สายพันธุ์มีปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต มีปริมาณที่ไม่สูงมากนัก

ปริมาณเส้นใยอาหาร

ในการผลิตใยอาหารผงสิ่งที่ต้องการมากที่สุดคือใยอาหารทั้งหมด พบว่า หากนำเปลือกส้มโอแบบสดมาใช้ในผลิตภัณฑ์โดยตรงโดยไม่ผ่านการลดความชื้นก่อน ปริมาณใยอาหารทั้งหมดจะมีปริมาณร้อยละ 5.32-7.30 แต่เมื่อนำมาผ่านกระบวนการกำจัดน้ำออกปริมาณใยอาหารเพิ่มมากขึ้นคือมีปริมาณใยอาหารทั้งหมดร้อยละ 74.05-77.25 ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าผลไม้ชนิดอื่นๆ ได้แก่ พืชลูกแพร์ อ้อย กากเมล็ดยี่ห่วย แอปเปิ้ล กล้วย แครอท มะพร้าว และผลไม้ตระกูลส้มชนิดอื่นๆ ได้แก่ เกรฟฟรุ๊ตพันธุ์ Ruby เกรฟฟรุ๊ตพันธุ์ March มะนาวพันธุ์ Eureka เปลือกส้ม กากส้มเขียวหวาน ดังตารางที่ 2.7

สารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ

คุณสมบัติอีกประการหนึ่งที่สำคัญคือ เปลือกส้มโอมีสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด 9.07-13.10 mg gallic acid/g dry basis และสารต้านอนุมูลอิสระ (DPPH Scavenging) 93.66-95.35 μM ซึ่งสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ทำหน้าที่ต่อต้านหรือยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหยุดปฏิกิริยาถูกโซ่ของอนุมูลอิสระ (Ubando-Rivera et al., 2005) คุณสมบัติของสารต้านอนุมูลอิสระมีสมบัติในการต้านการเกิดโรคมะเร็ง ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และไวรัส บรรเทาอาการอักเสบของเนื้อเยื่อ (Anti Inflammatory) รวมทั้งมีผลต่อความแข็งแรงของหลอดเลือด (Capillary Fragility) และการยับยั้งการแข็งตัวของเกร็ดเลือด (Platelet Aggregation) (Montanari et al., 1997)

ปริมาณลิโมนินและนารินจิน

แม้ว่าเปลือกส้มโอจะมีสารที่มีประโยชน์ทั้งใยอาหารและสารต้านอนุมูลอิสระแต่ยังมีสารที่ทำให้เกิดรสขมคือ ลิโมนิน และนารินจิน ซึ่งจะเป็นปัญหาที่สำคัญในการผลิตใยอาหารผงจากเปลือกส้มโอ ซึ่งสารให้ความขมในส่วนของเปลือกชั้นในมีปริมาณลิโมนิน 133.58-352.72 ppm (DW) นารินจิน 10065.06-2850.01 ppm (DW) จึงต้องหาวิธีในการลดปริมาณความขมก่อนผ่านกระบวนการทำแห้งต่อไป จากข้อจำกัดด้านความขมนี้ หากมีปริมาณลิโมนิน 6 ppm และนารินจิน 600 ppm ในน้ำส้ม จะให้รสขมที่ผู้บริโภครู้สึกได้ (Rouseff et al., 1988; Guadagni et al., 1973) ซึ่งมีผลต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการลดสารให้ความขมจึงมีความจำเป็นก่อนที่จะนำไปเป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ

ดังนั้นในขั้นตอนนี้จึงสรุปการคัดเลือกเปลือกส้มโอขาวน้ำฝิ่งจากส้มโอทั้ง 3 สายพันธุ์ ไปลดความขมในขั้นการต่อไปเนื่องจาก เปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำฝิ่งมีความหนามากกว่าพันธุ์ขาวใหญ่และทองดี คือ 2.28, 2.06 และ 1.58 เซนติเมตรตามลำดับ (Pichaiyongvongdee & Haruenkit (2006a) มีปริมาณใยอาหารสูงร้อยละ 77.25 และมีปริมาณลิโมนินและนารินจินน้อยกว่าเปลือกส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์ขาวใหญ่

นอกจากนี้ ในการเลือกเปลือกส้มโอขาวน้ำฝิ่ง คือ สีของใยอาหารผงจะเป็นข้อจำกัดในการใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ เพื่อไม่ให้ผลิตภัณฑ์นั้นเกิดการเปื่อยเน่าสีจากผลิตภัณฑ์นั้นๆ และอาจจะมีการยอมรับของผู้บริโภคของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นใยอาหารผงที่ดีที่ควรนำมาใส่ผลิตภัณฑ์ควรเป็นสีที่อ่อน หรือสีขาวนวล ในขณะที่เปลือกส้มโอพันธุ์ทองดีมีสีชมพูอ่อนถึงแม้ว่าจะมีความเป็นสารต้านอนุมูลสูงแต่ก็มีปริมาณความขมลิโมนินและปริมาณนารินจินสูง ดังนั้นการทดลองในขั้นตอนนี้ทำการเลือกเปลือกส้มโอขาวน้ำฝิ่งจากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นมาลดความขมด้วยสารเคมีต่างๆ

ผลการลดความขมจากเปลือกชั้นในส้มโอ

นำเปลือกชั้นในส้มโอขาวน้ำผึ้ง หั่นให้มีขนาด 1X1X1 ลูกบาศก์เซนติเมตรแช่ในสารละลายชนิดต่างๆ ดังนี้ สารละลาย NaCl ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1, 3 และ 5 (เปลือกชั้นในของส้มโอ : สารละลาย NaCl = 1:10 w/v) สารละลาย CaCO_3 ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1, 3 และ 5 (เปลือกชั้นในของส้มโอ : สารละลาย CaCO_3 = 1:10 w/v) และ pH ที่ระดับ 7 8 และ 9 (เปลือกชั้นในของส้มโอ : สารละลาย pH = 1:10 w/v) โดยใช้น้ำกลั่นเป็นวิธีการควบคุม (Control) (เปลือกชั้นในของส้มโอ : น้ำกลั่น = 1:10 w/v) ทำการแช่เปลือกชั้นในของส้มโอในสารละลายต่างๆ ดังที่กล่าวมา เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง นำเปลือกชั้นในของส้มโอมาล้างให้สะอาด กรองแยกน้ำ บีบให้หมด นำปั่นเหวี่ยงแยกออก นึ่งเป็นเวลานาน 10 นาที จากนั้นนำปั่นเหวี่ยงแยกน้ำออกนาน 30 นาที แล้วทำการวิเคราะห์ปริมาณความขมเปรียบเทียบความขมจากลิโมนิน และนารินจินกับทางประสาทสัมผัสเพื่อเลือกวิธีการที่สามารถลดความขมของเปลือกชั้นในของส้มโอได้มากที่สุด

ปริมาณลิโมนิน

ผลของสารเคมีที่ใช้ในการลดความขมต่อปริมาณลิโมนินเปลือกชั้นในส้มโอขาวน้ำผึ้งดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลของกระบวนการลดความขมด้วยสารเคมีต่อปริมาณลิโมนิน (ppm, Dw) ของเปลือกชั้นในส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

กระบวนการลดความขมด้วยสารเคมี	ลิโมนิน (ppm, DW)	ปริมาณการลดลงลิโมนิน (%)
Control (ไม่ผ่านการลดความขม)	253.46±2.51	-
H ₂ O	233.87±3.48 ^a	7.74
1% NaCl	227.27±3.12 ^a	10.33
3% NaCl	212.53±3.81 ^b	16.14
5% NaCl	201.77±4.55 ^c	20.39
1% CaCO_3	199.24±1.75 ^c	21.39
3% CaCO_3	197.53±3.57 ^c	22.06
5% CaCO_3	180.93±1.37 ^d	28.62
pH 7	204.08±4.08 ^c	17.51
pH 8	196.76±5.43 ^c	22.37
pH 9	182.06±2.73 ^d	28.17

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษร a-d ที่ต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.4 พบว่าเปลือกส้มโอมีปริมาณลิโมนินเริ่มต้นก่อนที่ทำการลดความด้วยสารเคมีชนิดต่างๆ คือมีปริมาณสูงถึง 253.46 ppm, DW เมื่อนำมาลดความโดยใช้น้ำเป็นตัวควบคุม ผลการทดลอง สามารถลดความขมได้เช่นกันแต่ลดได้น้อยกว่าวิธีอื่นๆ คือลดได้เพียงร้อยละ 7.74 คือลดจากเริ่มต้น 253.46 เหลือเพียง 233.87 ppm, DW ซึ่งค่าปริมาณลิโมนินที่ลดลงไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) จากการใช้ NaCl ร้อยละ 1 แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับการใช้สารอื่นๆ เนื่องจาก ลิโมนินเป็นสารกลุ่ม ลิโมนอยด์ที่อยู่ในกลุ่มอนุพันธ์ของไตรเทอร์พีน สูตรทางเคมีคือ $C_{26}H_{30}O_8$ น้ำหนักโมเลกุล จะละลายได้ดีในกรดอะซิโตน และคลอโรฟอร์ม ละลายน้ำได้เล็กน้อย Maier et al. (1977)

สารละลาย $CaCO_3$ สามารถลดความขมลิโมนินได้มากที่สุดเนื่องจากสารแคลเซียมคาร์บอเนตมีคุณสมบัติ ไม่ละลายในน้ำ แต่สามารถทำปฏิกิริยากับน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ได้ กลายเป็นแคลเซียมไบคาร์บอเนต $Ca(HCO_3)_2$ ซึ่งแคลเซียมไบคาร์บอเนตจะละลายในน้ำได้เล็กน้อย นอกจากนี้สารแคลเซียมคาร์บอเนตมีคุณสมบัติเป็นด่าง และช่วยเพิ่มความกรอบของเนื้อผลไม้ได้ ซึ่งใช้ในการปรับสภาพน้ำให้เป็นด่างได้ดี เมื่อนำเปลือกส้มโอไปใช้ในน้ำที่มีสารละลาย $CaCO_3$ จะช่วยในการยับยั้งตัวเร่งกิจกรรมของเอนไซม์ Limonin D-ring lactone hydrolase จากสารตั้งต้น ลิโมนโนเอท เอริงแลคโตน (Limononote A-ring Lactone, ไม่ขม) เป็นลิโมนิน (Limonin, ขม) ได้ เนื่องจาก เอนไซม์ Limonin D-ring lactone hydrolase จะทำงานได้ดีเมื่อ pH ต่ำกว่า 6.5 (Maier et al., 1977) จากผลการทดลองพบว่าการใช้ $CaCO_3$ สามารถลดความขมได้ถึงร้อยละ 21.39-28.62 หากมีปริมาณความเข้มข้นของ $CaCO_3$ มาก การเกิดลิโมนินยิ่งน้อยลงคือ เมื่อใช้ $CaCO_3$ ร้อยละ 1 ปริมาณลิโมนินลดลงจาก 253.46 ppm, DW เหลือ 199.24 ppm, DW รองลงมา $CaCO_3$ ร้อยละ 1 และ $CaCO_3$ ร้อยละ 5 มีปริมาณลิโมนิน 197.53 และ 180.93 ppm, DW ตามลำดับ

สารละลาย pH 7-9 สามารถลดความขมลิโมนินได้รองลงมาจาก $CaCO_3$ คือสามารถลดได้ถึงร้อยละ 17.51-28.17 เนื่องจากภายใต้สภาวะที่เป็นกรดต่ำกว่า 6.5 จะเป็นตัวเร่งกิจกรรมของเอนไซม์ Limonin D-ring lactone hydrolase จากสารตั้งต้น ลิโมนโนเอท เอริงแลคโตน (Limononote A-ring Lactone, ไม่ขม) เป็นลิโมนิน (Limonin, ขม) เกิดจากการปิดโครงสร้างวงแหวนของ Limononote A-ring Lactone ได้ การปรับ pH ให้สูงกว่า 6.5 จะช่วยยับยั้งหรือลดการกระตุ้นของเอนไซม์ Limonin D-ring lactone hydrolase ได้ (Maier et al. 1977) จึงทำให้เกิดลิโมนินได้น้อยลง ซึ่งจากผลการทดลองที่ใช้การปรับ pH ผลปรากฏว่า ยิ่งปรับ pH เข้าใกล้ต่างมาก คือ pH 7 pH 8 และ pH 9 การเกิดลิโมนินน้อยลง ทำให้ปริมาณลิโมนินที่เกิดขึ้นมีเพียง 182.06 (ppm, DW) ซึ่งน้อยกว่า pH 8 และ pH 7 คือมีปริมาณลิโมนิน 196.76 และ 209.08 (ppm, DW) ตามลำดับ ซึ่งการใช้ pH 8 และ pH 7 เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

สารละลาย NaCl สามารถลดความขมของสารลิโมนินได้น้อยที่สุด คือสามารถลดได้ร้อยละ 10.33-20.39 สารละลาย NaCl จะต่างจาก สารละลาย $CaCO_3$ และการปรับ pH 7 8 และ 9 ซึ่งสารทั้ง 2 ชนิดหลังคุณสมบัติเป็นด่าง คือสามารถลดได้ถึงร้อยละ 10.33-20.39 ในขณะที่ NaCl เป็นสารละลายเกลือ

ปริมาณนารินจิน

ผลของสารเคมีที่ใช้ในการลดความขมต่อปริมาณนารินจินเปลือกชั้นในส้มโอขาวน้ำผึ้งดังตารางที่ 4.5

จากตารางที่ 4.5 พบว่าเปลือกส้มโอมีนารินจินเริ่มต้นก่อนที่ทำการลดความขมด้วยสารเคมีชนิดต่างๆ คือมีปริมาณสูงถึง 17942.95 ppm, DW เมื่อนำมาลดความขมโดยใช้น้ำเป็นตัวควบคุมผลการทดลองพบว่าสามารถลดความขมได้เช่นกันแต่ลดได้น้อยกว่าวิธีอื่นๆ ได้เกินร้อยละ 50 คือลดได้ถึงร้อยละ 78.04 ลดจากเริ่มต้น 17942.95 ppm, DW เหลือเพียง 3938.57 ppm, DW สาเหตุที่น้ำสามารถลดปริมาณนารินจินได้มากกว่าลิโมนินเนื่องจากนารินจินเป็นฟลาโวนอยด์ที่เป็นสารประกอบกลุ่มโพลีฟีนอล ประกอบด้วยวงอะโรมาติกตั้งแต่ 2 วงขึ้นไปโดยมีการจับกับคาร์บอนและ Aromatic hydroxyl อยู่ในรูปของไกลโคไซด์ มีสูตรทางเคมีคือ $C_{27}H_{32}O_{14}$ นารินจินละลายได้ดีใน อะซิโตน แอลกอฮอล์ และกรดอะซิติก และละลายได้ในน้ำ แต่ละลายได้ดีในน้ำอุ่น (Horowitz & Gentili, 1977) และละลายได้ในน้ำธรรมดาแต่ไม่ดีเท่าที่น้ำอุ่น

ตารางที่ 4.5 ผลของกระบวนการลดความขมด้วยสารเคมีต่อปริมาณนารินจิน (ppm, Dw) ของเปลือกชั้นในส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

กระบวนการลดความขมด้วยสารเคมี	นารินจิน (ppm, DW)	ปริมาณการลดลงนารินจิน (%)
Control (ไม่ผ่านการลดความขม)	17942.95±8.58	-
H ₂ O	3938.57±13.13 ^a	78.04
1% NaCl	2788.54±2.48 ^b	84.45
3% NaCl	2288.38±4.25 ^c	87.24
5% NaCl	2018.91±5.39 ^d	88.75
1% CaCO ₃	1868.72±2.36 ^e	89.58
3% CaCO ₃	1806.53±1.65 ^f	89.93
5% CaCO ₃	1550.92±4.88 ^g	91.35
pH 7	1264.69±4.60 ^h	92.95
pH 8	1147.27±5.84 ⁱ	93.60
pH 9	1141.15±1.83 ⁱ	93.64

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษร a-i ที่ต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ปริมาณนารินจินที่ลดลงมากที่สุดคือการใช้สารละลายที่ pH 7-9 (ลดลงร้อยละ 92.92-93.64) รองลงมาคือ ใช้สารละลาย CaCO₃ (ลดลงร้อยละ 81.58-91.35) และสารละลาย NaCl (ลดลงร้อยละ 84.45-88.75) ตามลำดับ การใช้สารละลายที่ pH 7-9 เข้าใกล้ค่ามากที่สุด ทำให้ลด

ปริมาณนารินจินได้มาก คือการใช้สารละลาย pH 9 สามารถลดปริมาณนารินจินได้มากที่สุด รองลง pH 8 และ pH 7 คือมีปริมาณนารินจินเท่ากับ 1264.69, 1147.27 และ 1141.15 ppm, DW ตามลำดับ ส่วนการใช้ CaCO_3 ยิ่งมีความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นปริมาณนารินจินจะลดลงคือการใช้สารละลาย CaCO_3 ร้อยละ 5 สามารถลดปริมาณนารินจินได้มากที่สุด รองลง CaCO_3 ร้อยละ 3 และ CaCO_3 ร้อยละ 1 คือปริมาณนารินจินเท่ากับ 1868.72, 1806.53 และ 1550.92 ppm, DW ตามลำดับ ในขณะที่สารละลาย NaCl ร้อยละ 5 จะลดปริมาณนารินจินได้มากที่สุดคือมีปริมาณนารินจิน 2018.90 ppm, DW รองลงมา NaCl ร้อยละ 3 และ NaCl ร้อยละ 1 คือมีปริมาณนารินจิน 2288.38 และ 2788.54 ppm, DW ตามลำดับ

การใช้ CaCO_3 ร้อยละ 1-5 และการปรับ pH 7-9 ของสารละลายมีผลต่อการลดปริมาณนารินจินมากกว่าการใช้สารละลาย NaCl ร้อยละ 1-5 เนื่องจากสารละลาย CaCO_3 และการปรับ pH 7-9 มีคุณสมบัติเป็นด่าง ซึ่งนารินจินเป็นสารฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) มีคุณสมบัติที่ละลายได้ดีในสารละลายที่เป็นกลาง และจะละลายได้อย่างสมบูรณ์ในสารละลายด่าง ดังนั้นการปรับ pH 7-9 ด้วย 0.1 นอร์มอล NaOH หรือการใช้สารละลาย CaCO_3 ร้อยละ 1-5 จะทำให้เกิดการไฮโดรไลซ์นารินจินที่อยู่ในเปลือกส้มโอเปลี่ยนโครงสร้างเป็นสารให้ความหวาน (Sweet dihydrochalcone) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Yoon et al. (1997) กล่าวว่า สารฟลาโวนอยด์จะไม่ละลายในตัวทำละลายที่มี pH ต่ำกว่า 6.5 และจะละลายอย่างสมบูรณ์ในสารละลายที่มีสถานะเป็นด่าง ดังนั้นการปรับสารละลายให้มีคุณสมบัติเป็นด่าง และร่วมกับการใช้ระยะเวลาในการลดความขม 24 ชั่วโมง ทำให้เกิดการไฮโดรไลซ์ได้อย่างสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ทำให้ปริมาณนารินจินมีปริมาณน้อยลง

การทดสอบทางประสาทสัมผัส

เปลือกชั้นในส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งที่ผ่านการลดความขมด้วยสภาวะต่างๆ นำมาทดสอบทางประสาทสัมผัสทางด้าน กลิ่น เนื้อสัมผัสและการรับรสขม ด้วยวิธี Scoring test (scale 1-10) คะแนน 0 หมายถึง ความขมน้อย กลิ่น และเนื้อสัมผัสยอมรับน้อย ในขณะที่ คะแนน 10 หมายถึง ความขมมาก กลิ่น และเนื้อสัมผัสยอมรับมาก เป็นการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวิเคราะห์ปริมาณความขมลิโมนินและนารินจิน เพื่อทำการคัดเลือกวิธีที่ดีที่สุด ที่สามารถลดความขมน้อยที่สุด และมีลักษณะทางด้านกลิ่น เนื้อสัมผัส และความขม ได้รับการยอมรับมากที่สุด ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลของกระบวนการลดความขมด้วยสารเคมีต่อการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเปลือกชั้นในส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

กระบวนการลดความขมด้วยสารเคมี	กลิน (ธรรมชาติ)	เนื้อสัมผัส (ธรรมชาติ)	ความขม
Control (ไม่ผ่านการลดความขม)	8.53±0.21	8.65±0.16	8.32±0.25
H ₂ O	1.61±0.33 ^d	8.48±0.75 ^a	2.16±0.45 ^b
1% NaCl	2.05±0.69 ^d	1.2±0.67 ^d	2.21±0.46 ^{ab}
3% NaCl	1.75±0.91 ^d	1.03±0.48 ^d	2.20±0.34 ^{ab}
5% NaCl	2.53±0.98 ^{cd}	1.97±0.31 ^c	2.50±0.26 ^a
1% CaCO ₃	4.06±0.87 ^{ab}	6.57±1.22 ^b	2.30±0.20 ^{ab}
3% CaCO ₃	4.76±0.83 ^a	6.94±0.76 ^b	2.30±0.24 ^{ab}
5% CaCO ₃	4.43±2.48 ^a	6.54±1.32 ^b	2.29±0.37 ^{ab}
pH 7	4.84±1.30 ^a	6.25±0.76 ^b	1.77±0.22 ^c
pH 8	3.84±0.40 ^{ab}	6.63±0.51 ^b	1.81±0.29 ^c
pH 9	3.4±0.64 ^b	6.5±0.80 ^b	1.85±0.24 ^c

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษร a-d ที่ต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อนำเปลือกชั้นส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งผ่านการลดความขมด้วยสารเคมีต่างๆ ทั้งสารละลาย NaCl, CaCO₃ และ pH ซึ่งสารดังกล่าวมีคุณสมบัติในการลดความขมแต่เนื่องจากสารแต่ละชนิดมีผลต่อการทดสอบทางประสาทสัมผัสทางด้าน กลิ่น เนื้อสัมผัสและการรับรสขม ดังตารางที่ 4.6 พบว่า

ด้านกลิ่น

การใช้สารละลาย NaCl, CaCO₃ และ pH มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในด้านการยอมรับกลิ่น กลิ่นที่ใกล้เคียงธรรมชาติมากที่สุดและได้รับการยอมรับมากที่สุดที่ คือเปลือกส้มโอที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลาย CaCO₃ และสารละลาย pH 7-9 ส่วนเปลือกส้มโอที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลาย NaCl ได้รับการยอมรับน้อยที่สุดเนื่องจากกลิ่นที่เกิดขึ้นมีกลิ่นเปรี้ยวเล็กน้อย

ด้านเนื้อสัมผัส

การใช้สารละลาย NaCl, CaCO₃ และ pH มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในด้านการยอมรับเนื้อสัมผัส เนื้อสัมผัสที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดที่ คือเปลือกส้มโอที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลาย CaCO₃ และสารละลาย pH 7-9 มีคะแนนการยอมรับด้านเนื้อสัมผัสอยู่ในช่วง 6.25-6.94 ในขณะที่การลดความขมโดยใช้ NaCl ร้อยละ 1, 3 และ 5 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.2, 1.03 และ 1.97

ตามลำดับ เนื่องจาก NaCl มีคุณสมบัติในการดูดน้ำทำให้เนื้อสัมผัสที่ได้มีลักษณะและไม่เป็นก้อน ส่วน CaCO_3 นั้นทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสมีความแข็ง ทำให้ใกล้เคียงกับธรรมชาติมาก

ด้านรสขม

การปรับสารถละลาย pH 7-9 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในด้านการยอมรับรสขมกับการใช้สารถละลาย NaCl, CaCO_3 คือ ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสส่วนใหญ่ยอมรับรสขมให้คะแนนความขมน้อยที่สุดคือเปลือกส้มโอที่ผ่านการแช่ด้วยสารถละลาย pH 7-9 คือได้คะแนน 1.77-1.85 คะแนนความขมที่ผ่านการแช่ด้วย CaCO_3 สารถละลาย NaCl และการใช้น้ำ มีคะแนนการความขมที่อยู่ในช่วง 2.16-2.50 ซึ่งมีคะแนนความขมน้อยกว่าเปลือกส้มโอที่ไม่ผ่านกระบวนการลดความขม คือมีคะแนนความขม 8.32

ดังนั้นในขั้นตอนการลดความขมจึงสรุปได้ว่า สารถละลายที่เหมาะสมในการลดความขมมากที่สุด คือการปรับสารถละลาย pH ด้วย 0.1 นอร์มอล NaOH เนื่องจาก มีปริมาณลิโมนินและนารินจินน้อยที่สุด และ ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคทั้งด้านกลิ่น และเนื้อสัมผัสใกล้เคียงมากกว่าและรสขมน้อยที่สุด นอกจากนี้ การใช้สารถละลาย CaCO_3 สารถละลาย NaCl จะต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย และอาจมีสารตกค้างได้

การทดลองขั้นต่อไปเลือก การใช้ pH 7 เนื่องจาก คุณสมบัติทางด้านเคมี และ ทางด้านประสาทสัมผัส มีค่าใกล้เคียงกัน pH 8 และ 9 จึงไม่มีความจำเป็นที่ต้องใช้ต่างเป็นจำนวนมากในการปรับน้ำ และเป็นการลดการตกค้างจากสารเคมี

ผลการทำแห้งผงเปลือกชั้นในส้มโอ

นำเปลือกชั้นในของส้มโอที่ผ่านการลดความขมที่มีปริมาณความขมน้อยที่สุด คือการลดความขมด้วยสารถละลาย pH 7 มาทำแห้ง 2 วิธี

วิธีที่ 1 นำเปลือกส้มโอมาทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งโดยใช้เครื่อง Freeze dryer ที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส จนแห้งความชื้นเหลือร้อยละ 10

วิธีที่ 2 นำเปลือกส้มโอมาทำแห้งแบบตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ คือ 50 องศาเซลเซียสนาน 5.30 ชั่วโมง, 60 องศาเซลเซียสนาน 4.30 ชั่วโมง และ 70 องศาเซลเซียสนาน 2.00 ชั่วโมง (ความชื้นเหลือน้อยกว่าร้อยละ 10) จากนั้นบดด้วยเครื่องบด และร่อนผ่านรตะแกรงขนาด 100 เมช

คุณสมบัติทางกายภาพของเส้นใยอาหารผง

จากการนำเปลือกชั้นในของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง ที่ผ่านการลดความขมสารถละลาย pH 7 หลังจากนั้นมาทำแห้งด้วยกับ 2 วิธี คือ แบบแช่เยือกแข็งและแบบตู้อบลมร้อน จากนั้นนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ หาปริมาณร้อยละของผลผลิตที่ได้จากการผลิตใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอดังตารางที่ 4.7 และ ค่าสีของใยอาหารผงจากเปลือกชั้นในส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง ดังตารางที่ 4.8

ปริมาณร้อยละผลผลิต

ตารางที่ 4.7 ปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้จากการผลิตเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอ

วิธีการทำแห้ง	ปริมาณผลผลิต (ร้อยละ)
แช่เยือกแข็ง -40 °ซ นาน 14 ชม.	17.31
ตู้อบลมร้อน 50 °ซ นาน 5.30 ชม.	15.28
ตู้อบลมร้อน 60 °ซ นาน 4.30 ชม.	14.29
ตู้อบลมร้อน 70 °ซ นาน 2.00 ชม.	14.19

การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งของเปลือกส้มโอชั้นในจะได้ปริมาณร้อยละของผลผลิตมากที่สุด คือ 17.31 รองลงมาคือทำแห้งโดยตู้อบลมร้อนแบบถาด ที่อุณหภูมิ 70, 60 และ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งปริมาณร้อยละของผลผลิตที่ได้จากการอบแห้งทั้ง 2 วิธี อยู่ระหว่างค่าเฉลี่ยร้อยละ 14.19-17.31 ดังตารางที่ 4.7 การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งได้ปริมาณผลผลิตมากกว่าการทำแห้งโดยตู้อบลมร้อนแบบถาด ซึ่งในทางอุตสาหกรรมสามารถเลือกใช้ได้ทั้ง 2 วิธี แต่ต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่าย และระยะเวลาในการทำแห้ง

ค่าสี

ตารางที่ 4.8 ผลของการทำแห้งที่มีต่อค่าสีของใยอาหารผงจากเปลือกชั้นในส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

วิธีการทำแห้ง	ค่าสี		
	L	a*	b*
เปลือกชั้นในส้มโอสด	85.18±0.81 ^a	1.43±0.27 ^a	3.56±0.28 ^b
แช่เยือกแข็ง -40 °ซ นาน 14 ชม.	80.13±1.11 ^b	0.25±0.21 ^b	3.08±0.45 ^b
ตู้อบลมร้อน 50 °ซ นาน 5.30 ชม.	75.93±1.12 ^d	1.2±0.67 ^a	5.11±0.47 ^a
ตู้อบลมร้อน 60 °ซ นาน 4.30 ชม.	78.12±0.26 ^c	1.37±0.15 ^a	5.38±0.40 ^a
ตู้อบลมร้อน 70 °ซ นาน 2.00 ชม.	78.08±0.56 ^c	1.31±0.20 ^a	5.36±0.36 ^a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษร a-c ที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ค่าสี L หมายถึงค่าความสว่าง ถ้าค่าสี L เข้าใกล้ศูนย์ หมายถึงเปลือกส้มโอแห้งมีความสว่างน้อยจนเป็นสีดำ ส่วนค่าสี L เข้าใกล้ 100 หมายถึง เปลือกส้มโอแห้งมีความสว่างมากจนเป็นสีขาว

ค่าสี a* ซึ่งเป็นค่าของสีแดงและเขียว ถ้าค่าสี a* เป็นบวก หมายถึง เปลือกส้มโอเป็นสีแดง ถ้าค่าสี a* เป็นลบ หมายถึง เปลือกส้มโอเป็นสีเขียว

ค่าสี b* ซึ่งเป็นค่าของสีเหลืองและน้ำเงิน ถ้าค่าสี b* เป็นบวก หมายถึง เปลือกส้มโอเป็นสีเหลือง ถ้าค่าสี b* เป็นลบ หมายถึง เปลือกส้มโอเป็นสีน้ำเงิน จากตาราง 4.8 พบว่าเปลือกชั้นในส้ม

โอสต มีค่า L ซึ่งเป็นค่าความสว่าง เท่ากับ 85.18 ซึ่งแสดงว่ามีความสว่างมากค่า a^* เท่ากับ 1.43 และ b^* เท่ากับ 3.56 แต่เมื่อนำเปลือกส้มโอสตผ่านกระบวนการลดความขม และผ่านกระบวนการทำแห้ง พบว่าค่า L a^* และ b^* ลดลง เนื่องมาจากเปลือกส้มโอสตผ่านการแช่ด้วยสารละลาย pH 7 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และผ่านการล้างน้ำ บีบ ซึ่งขั้นตอนนี้ทำให้รังควัตถุสามารถละลายไปกับน้ำได้ แต่เมื่อนำเปลือกที่ผ่านการลดความขมมาทำแห้งด้วย 2 วิธี คือแช่เยือกแข็งและตู้อบลมร้อน พบว่า การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งใช้ระบบความเย็นในการทำแห้งจึงทำให้สีความสว่าง L เท่ากับ 80.13 ค่า a^* เท่ากับ 0.25 และ b^* เท่ากับ 3.08 มีค่าใกล้เคียงกับเปลือกส้มโอสต ในขณะที่การทำแห้งแบบอบลมร้อน ความร้อนที่ใช้จะทำให้เส้นใยอาหารผงมีสีคล้ำขึ้น เมื่อพิจารณาจากค่าความสว่าง L ลดลง ค่า b^* มากขึ้น พบว่าการใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 4.30 ชม. และ 70 องศาเซลเซียส นาน 2 ชม. ให้ค่าสี L ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p>0.05$ โดยมีค่าสี L เท่ากับ 78.12 และ 78.08 ให้ค่าสี L สูงกว่า การใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 5.30 ชม. คือค่า สี L เท่ากับ 75.93 ส่วนค่าสี a^* และ ค่าสี b^* ของการทำแห้งแบบใช้ถาดลมร้อนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p>0.05$ ค่าสี a^* และ b^* มีค่ามากกว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เนื่องจากความร้อนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทำให้ โยอาหารผงเกิดสีคล้ำได้ ทำให้ ค่าสี a^* ซึ่งแสดงถึงสีแดงมีค่าเพิ่มขึ้น และ b^* แสดงถึงสีเหลืองเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน โดยการอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 5.30 ชม. มีค่า a^* เท่ากับ 1.2 ค่าสี b^* เท่ากับ 5.11 อบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 4.30 ชม. มีค่า a^* 1.37 เท่ากับ ค่าสี b^* เท่ากับ 5.38 และ อบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 2 ชม. มีค่า a^* เท่ากับ 1.31 ค่าสี b เท่ากับ 5.36

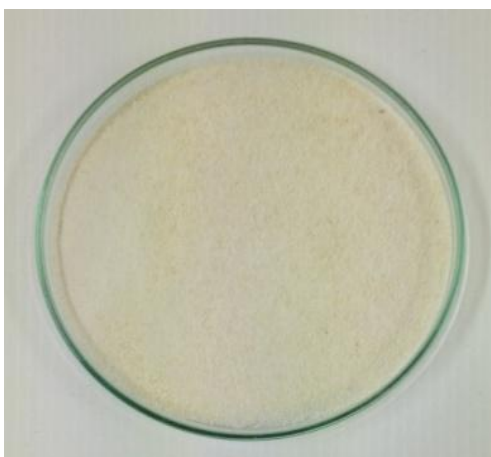
จากการศึกษาค่าสีในการอบแห้งครั้งนี้ ทั้ง 2 วิธีได้ผลิตภัณฑ์เส้นใยอาหารผงจากเปลือกส้มโอสตที่ขาวนวลมีค่าอยู่ระหว่าง 75.93-80.13 ดังนั้นคุณสมบัติที่ดีของใยอาหารผงควรเป็นผงละเอียดที่มีสีขาว ไม่มีสีและมีค่าสี L สูง ซึ่งจะเหมาะสมสำหรับนำไปใช้เสริมในอาหารเนื่องจากผลิตภัณฑ์บางอย่างไม่ต้องการให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ ดังภาพที่ 4.1, 4.2, 4.3 และ 4.4



ภาพที่ 4.1 โยอาหารผงจากเปลือกส้มโอสตในส้มโอสตที่แช่เยือกแข็ง-40 องศาเซลเซียส นาน 14 ชม.



ภาพที่ 4.2 โยอาหารผงจากเปลือกชั้นในส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง
ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสนาน 5.30 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.3 โยอาหารผงจากเปลือกชั้นในส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง
ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสนาน 4.30 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.4 ใยอาหารผงจากเปลือกชั้นในส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง
ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสนาน 2 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.5 เซลลูโลสทางการค้า (Carboxy methyl cellulose: CMC)

คุณสมบัติทางเคมีของเส้นใยอาหารผง

ค่าวอเตอร์แอกติวิตี ความชื้น

ตารางที่ 4.9 ผลของการทำแห้งที่มีต่อค่าวอเตอร์แอกติวิตี ความชื้น และค่าความเป็นกรด-ด่างของใยอาหารผงจากเปลือกชั้นในส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

วิธีการทำแห้ง	องค์ประกอบทางเคมี		
	ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)	ความชื้น (%)	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)
เปลือกชั้นในส้มโอสด	0.963 ± 0.01^a	85.61 ± 0.07^a	4.01 ± 0.00^e
แช่เยือกแข็ง -40°C นาน 14 ชม.	0.460 ± 0.01^c	6.12 ± 0.08^c	4.75 ± 0.01^a
ตู้อบลมร้อน 50°C นาน 5.30 ชม.	0.654 ± 0.02^b	9.28 ± 0.48^b	4.62 ± 0.02^b
ตู้อบลมร้อน 60°C นาน 4.30 ชม.	0.397 ± 0.01^d	5.68 ± 0.40^c	4.57 ± 0.03^c
ตู้อบลมร้อน 70°C นาน 2.00 ชม.	0.377 ± 0.02^e	5.38 ± 0.27^c	4.43 ± 0.01^d

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษร a-e ที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (Water activity, a_w) และปริมาณความชื้นเป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณน้ำอิสระที่หลงเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อคุณภาพและการเน่าเสียของผลิตภัณฑ์อาหาร เพราะค่าวอเตอร์แอกติวิตี และปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์อาหารจะทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาทางเคมีหรือมีการเจริญของจุลินทรีย์เกิดขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุให้ผลิตภัณฑ์อาหารเน่าเสีย จากตารางที่ 4.9 จะเห็นว่าเปลือกส้มโอสดพันธุ์ขาวน้ำผึ้งสด มีปริมาณความชื้นร้อยละ 85.61 และมีค่าวอเตอร์แอกติวิตี เท่ากับ 0.963 ซึ่งอยู่ในช่วงที่จุลินทรีย์ยีสต์และรา สามารถเจริญได้ดี ส่วนใยอาหารผงจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งที่ผ่านการลดความชื้นมีค่าวอเตอร์แอกติวิตีเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.377-0.460 ซึ่งอยู่ในช่วงที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ วิธีการทำแห้งทั้ง 4 วิธี มีปริมาณความชื้น อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ของเส้นใยอาหารผงที่ต้องมีปริมาณความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 10 (Larrauri, 1999)

การที่มีค่าวอเตอร์แอกติวิตีต่ำจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารได้นานขึ้น โดยจุลินทรีย์ทุกชนิดจะหยุดการเจริญเมื่อผลิตภัณฑ์อาหารมีค่าวอเตอร์แอกติวิตีเท่ากับหรือต่ำกว่า 0.6 (Muller & Heindl, 2006) ยกเว้น การอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 5.30 ชม. ซึ่งมีค่าวอเตอร์แอกติวิตีสูงกว่า 0.6 เล็กน้อย และมีค่าความชื้นสูงถึงร้อยละ 9.28 ดังนั้นหากต้องการให้ค่าวอเตอร์แอกติวิตีและค่าความชื้นลดลงอีกจะต้องเพิ่มระยะเวลาในการทำแห้งนานขึ้นอีกซึ่งอาจจะมีผลต่อค่าสีได้

ค่าความเป็นกรด-ด่าง

ใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งมี ค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 4.43-4.75 แสดงว่า เส้นใยอาหารผงที่ได้ มีค่าค่อนข้างมาทางกรด ดังนั้นการนำเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร จึงอาจส่งผลกระทบต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์ที่เสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอลงไป อย่างไรก็ตามค่าความเป็นกรด-ด่าง ของเส้นใยอาหารผงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ปริมาณลิโมนิน

ตารางที่ 4.10 ผลของการทำแห้งที่มีต่อปริมาณลิโมนิน (ppm, Dw) ของใยอาหารผงจากเปลือกชั้นในส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

กระบวนการทำแห้ง	ลิโมนิน (ppm)	ปริมาณการลดลงลิโมนิน (%)
เปลือกชั้นในส้มโอสด	253.46±2.51	-
แช่เยือกแข็ง -40 °ซ นาน 14 ชม.	182.70±3.43 ^c	22.41
ตู้อบลมร้อน 50 °ซ นาน 5.30 ชม.	230.76± 2.69 ^a	2.00
ตู้อบลมร้อน 60 °ซ นาน 4.30 ชม.	213.81± 3.28 ^b	9.19
ตู้อบลมร้อน 70 °ซ นาน 2.00 ชม.	208.25± 2.81 ^b	11.55

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษร a-c ที่ต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.9 เมื่อนำเปลือกชั้นในมาทำการลดความชื้นด้วย pH 7 ทำให้แห้งด้วยความเย็นเปรียบเทียบการทำแห้งด้วยความร้อน พบว่า เปลือกชั้นในส้มโอที่ไม่ผ่านการลดความชื้นมีปริมาณลิโมนินเริ่มต้น 253.46 ppm ซึ่งมีค่าสูงมาก ในขณะที่เปลือกชั้นในส้มโอที่ผ่านการลดความชื้นด้วยแช่เยือกแข็งมีปริมาณลิโมนินลดลงเหลือ 182.70 ppm ลดลงคิดเป็นร้อยละ 22.41 ซึ่งลดลงมากกว่าการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ทั้ง 3 อุณหภูมิ เนื่องจากการใช้ความร้อนในการทำแห้งเป็นการกระตุ้นให้เกิดลิโมนินได้ ถึงแม้ว่า การใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แต่เนื่องจากใช้เวลานานกว่าการใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และ 70 องศาเซลเซียส คือ มีปริมาณลิโมนิน 230.76, 213.81 และ 208.25 ppm ตามลำดับ ซึ่งลดลงคิดเป็นร้อยละ 2.00, 9.19 และ 11.55 ตามลำดับในขณะที่การใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และ 70 องศาเซลเซียส ปริมาณลิโมนินไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น ($p > 0.05$) สุภารัตน์ เรืองมณีไพฑูรย์ (2521) กล่าวว่า การให้ความร้อนในการพาสเจอร์ไร้น้ำมะนาวที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 นาที ปริมาณลิโมนินจะเพิ่มขึ้นจาก 4.55-6.00 ppm เป็น 13-15 ppm หรือเพิ่มขึ้นเป็น 2.16-3.26 เท่า ต่อมา อัจฉรา ปิติปัญญากุล (2532) ใช้ความร้อนในการพาสเจอร์ไรส์ลดลงเป็น 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที ปริมาณลิโมนินเพิ่มขึ้นเป็น 2.88 เท่า ในขณะที่ สุวรรณ พิชัยวงศ์วงศ์ (2544) ทำการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงการเกิดลิโมนินระหว่างอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และ 30 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่อ

นำน้ำมะนาวที่คั้นแล้วตั้งทิ้งไว้ทั้ง 2 อุณหภูมิ เมื่อผ่านไป 6 ชั่วโมง ปริมาณลิโมนินมาเกิดการเปลี่ยนแปลง แต่เมื่อนำมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เมื่อผ่านไป 3 ชั่วโมงปริมาณลิโมนินจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นและจะเพิ่มปริมาณเมื่อระยะเวลาเปลี่ยนไป

ปริมาณนารินจิน

ตารางที่ 4.11 ผลของการทำแห้งที่มีต่อปริมาณนารินจิน (ppm, Dw) ของโยอาหารผงจากเปลือกชั้นในส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

กระบวนการทำแห้ง	นารินจิน (ppm)	ปริมาณการลดลงนารินจิน (%)
เปลือกชั้นในส้มโอสด	17942.35±29.98	-
แช่เยือกแข็ง -40 °ซ นาน 14 ชม.	1434.26±3.39 ^a	92.01
ตู้อบลมร้อน 50 °ซ นาน 5.30 ชม.	1319.89±3.33 ^c	92.64
ตู้อบลมร้อน 60 °ซ นาน 4.30 ชม.	1355.09±2.63 ^b	92.44
ตู้อบลมร้อน 70 °ซ นาน 2.00 ชม.	1120.92±5.16 ^d	93.75

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษร a-d ที่ต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 4.11 เมื่อนำเปลือกชั้นในมาทำการลดความชื้นด้วย pH 7 ทำให้แห้งด้วยความเย็นเปรียบเทียบการทำแห้งด้วยความร้อน พบว่าเปลือกชั้นในส้มโอที่ไม่ผ่านการลดความชื้นมีปริมาณนารินจินเริ่มต้น 1794.35 ppm ซึ่งมีค่าสูงมาก ในขณะที่เปลือกชั้นในส้มโอที่ผ่านการลดความชื้นด้วยแช่เยือกแข็งมีปริมาณนารินจินลดลงเหลือ 1434.26 ppm ลดลงคิดเป็นร้อยละ 92.01 ซึ่งลดลงใกล้เคียงการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ทั้ง 3 อุณหภูมิ คือมีปริมาณนารินจิน 1319.89, 1355.09 และ 1120.92 ppm ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 92.64, 92.44 และ 93.75 ตามลำดับ ซึ่งปริมาณนารินจินสามารถลดลงได้มากกว่าร้อยละ 90 เนื่องจากเปลือกส้มโอได้ผ่านการลดความชื้นจาก pH 7 สารฟลาโวนอยด์จะไม่ละลายในตัวทำละลายที่มี pH ต่ำกว่า 6.5 และจะละลายอย่างสมบูรณ์ในสารละลายที่มีสถานะเป็นด่าง ดังนั้นการปรับสารละลายให้มีคุณสมบัติเป็นด่าง และร่วมกับการใช้ระยะเวลาในการลดความชื้น 24 ชั่วโมง ทำให้เกิดการไฮโดรไลซ์ได้อย่างสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ทำให้ปริมาณนารินจินมีปริมาณน้อยลง Yoon et al. (1997) และคุณสมบัติของนารินจินละลายได้ในน้ำ แต่ละลายได้ดีในน้ำอุ่น (Horowitz & Gentili, 1977)

เมื่อนำเปลือกส้มโอมาทำแห้งปริมาณนารินจินไม่เพิ่มขึ้นเนื่องจากความร้อนไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงนารินจิน ปี 2544 สุวรรณ พิชัยวงศ์ศักดิ์ ทำการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงการเกิดนารินจินระหว่างอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และ 30 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่อนำน้ำมะนาวที่คั้นแล้วตั้งทิ้งไว้ทั้ง 2 อุณหภูมิ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ปริมาณนารินจินไม่เปลี่ยนแปลง

ปริมาณโยอาหาร

ตารางที่ 4.12 ผลของการทำแห้งที่มีต่อปริมาณโยอาหารของโยอาหารผงจากเปลือกชั้นในส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

วิธีการทำแห้ง	ปริมาณโยอาหาร (%)
เปลือกชั้นในส้มโอสด	77.25± 1.56
แช่เยือกแข็ง -40 °ซ นาน 14 ชม.	88.50± 0.45
ตู้อบลมร้อน 50 °ซ นาน 5.30 ชม.	83.51± 0.49
ตู้อบลมร้อน 60 °ซ นาน 4.30 ชม.	80.99± 0.09
ตู้อบลมร้อน 70 °ซ นาน 2.00 ชม.	81.59± 0.21

การผลิตโยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งและพันธุ์ทองดีที่ผ่านการลดความชื้นพบว่า วิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ได้ปริมาณร้อยละโยอาหารมากที่สุด คือ 82.50 และ 82.98 รองลงมาคือ การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับเปลือกส้มโอเริ่มต้นที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการลดความชื้น จะมีปริมาณเส้นใยร้อยละ 77.25 (น้ำหนักแห้ง) แต่เมื่อนำเปลือกส้มโอมาลดความชื้นในขั้นตอนนี้จะมีการช่วยกำจัดองค์ประกอบต่างๆเพื่อให้ได้ปริมาณโยอาหารมากขึ้น ซึ่งที่ถูกกำจัดไปได้แก่ ไขมัน คาร์โบไฮเดรต สารรงควัตถุ และสารอื่นๆ จึงทำให้เมื่อโยอาหารผงที่ได้มีปริมาณโยอาหารมากขึ้นมากกว่าร้อยละ 80 คือ ทั้ง 4 วิธีมีโยอาหารอยู่ร้อยละ 80.99-88.50 ดังตารางที่ 4.12

เมื่อนำปริมาณร้อยละโยอาหารไปเปรียบเทียบกับวัตถุดิบชนิดอื่น (ดังตารางที่ 2.8) พบว่าโยอาหารผงที่ผลิตได้ มีปริมาณร้อยละโยอาหารมากกว่า กากองุ่น เปลือกส้มญี่ปุ่น เนื้อมะนาว และเนื้อส้มเขียวหวาน ซึ่งมีปริมาณโยอาหารทั้งหมดร้อยละ 52.25, 53.16, 51.71 และ 51.67 ตามลำดับ แต่มีปริมาณโยอาหารใกล้เคียงกับ เปลือกมะนาว และ เปลือกส้มเขียวหวาน คือมีปริมาณโยอาหารร้อยละ 77.35 และ 78.66 ตามลำดับ (Marin et al., 2005) ดังนั้นเปลือกชั้นในส้มโอ จึงจัดเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพสูง เหมาะที่จะนำมาผลิตเป็นโยอาหารผง เพื่อใช้สำหรับเสริมในผลิตภัณฑ์อาหาร

คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นโยอาหารผงเปลือกชั้นในส้มโอ

การผลิตโยอาหารจากเปลือกส้มโอชั้นในนั้น เนื่องจากโยอาหารมีประโยชน์ต่อร่างกาย และยังสามารถนำมาเติมในผลิตภัณฑ์อาหารประเภทต่างๆ เพื่อเพิ่มคุณค่าทางอาหาร แต่เมื่อนำมาเติมควรคำนึงถึงคุณสมบัติเชิงหน้าที่ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่เติมลงไปคุณสมบัติที่ต้องพิจารณาได้แก่ ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity, WHC) คือปริมาณน้ำที่ถูกตรึงไว้ในอาหารโดยไม่มีแรงกระทำภายนอก ซึ่งปริมาณน้ำที่ถูกดูดซับไว้ตามรูพรุนของเส้นใยเปลือกส้มโอผงด้วยแรงผ่านช่องแคบ สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างน้ำที่ถูกตรึงไว้ต่อน้ำหนักแห้งของตัวอย่างเริ่มต้น คุณสมบัติเชิงหน้าที่อีกประการหนึ่งคือความสามารถในการอุ้มน้ำมัน

หรือดูดซับน้ำมัน (oil holding capacity, OHC) สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างน้ำมันที่ถูกตรึงไว้ต่อน้ำหนักแห้งของตัวอย่างเริ่มต้น

ตารางที่ 4.13 ผลของการทำแห้งที่มีต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ อุ้มน้ำมัน และการพองตัวของโยอาหารผงจากเปลือกชั้นในส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

วิธีการทำแห้ง	ความสามารถในการอุ้มน้ำ (กรัม น้ำต่อน้ำหนักแห้ง)	ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (กรัม น้ำต่อน้ำหนักแห้ง)	ความสามารถในการพองตัว (มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง)
แช่เยือกแข็ง -40 °C นาน 14 ชม.	17.48± 1.77 ^a	7.46± 0.92 ^a	24.83± 0.71 ^a
ตู้อบลมร้อน 50 °C นาน 5.30 ชม.	16.16± 0.64 ^a	3.91± 0.41 ^b	22.05± 0.92 ^a
ตู้อบลมร้อน 60 °C นาน 4.30 ชม.	14.13± 0.02 ^a	3.91± 0.17 ^b	21.26± 2.62 ^a
ตู้อบลมร้อน 70 °C นาน 2.00 ชม.	13.66± 2.86 ^a	4.22± 0.65 ^b	17.86± 1.26 ^a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษร a-b ที่ต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ความสามารถในการอุ้มน้ำ

คุณสมบัติเชิงหน้าที่ในด้านความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นโยอาหารผงจากเปลือกชั้นในส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง ที่ผ่านการลดความชื้นแล้วมาทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ 4 วิธี หมายถึงปริมาณน้ำมันที่คงเหลืออยู่ในเส้นโยหลังจากการผ่านซึมซับ บ่ม ด้วยน้ำมัน และไปปั่นเหวี่ยง พบว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งโดยใช้ความเย็นและแบบการใช้ตู้อบลมร้อนโดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิที่แตกต่างกันมีผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำที่แตกต่างกัน และมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือการใช้ความอุณหภูมิต่ำที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำสูงที่สุด คือ 17.48 กรัม น้ำต่อกรัมตัวอย่างแห้ง รองลงมาการทำแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส คือ 16.16 14.13 และ 13.66 กรัม น้ำต่อกรัมตัวอย่างแห้ง ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ทางสถิติการใช้ความร้อนในการอบแห้งทั้ง 4 อุณหภูมิค่าความสามารถในการอุ้มน้ำไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$)

ความร้อนที่ใช้ในกระบวนการทำแห้งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของโยอาหารเปลือกส้มโอ จึงส่งผลต่อความสามารถอุ้มน้ำ โดยการอบแห้งแบบภาตลมร้อนจะมีการใช้อุณหภูมิสูงตั้งแต่ 50-70 องศาเซลเซียส และมีการใช้ระยะเวลานานในการอบเพื่อให้เปลือกส้มโอแห้งจนมีความชื้นลดเหลือน้อยกว่าร้อยละ 10 ดังนั้นอาจมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและกายภาพของโยอาหารได้ Larrauri (1999) กล่าวว่าหากมีการใช้อุณหภูมิสูงถึง 110 องศาเซลเซียส อาจทำให้ผนังเซลล์พืชแตกและเกิดการสูญเสียองค์ประกอบของเซลล์ได้ ซึ่งมีผลต่อความคงตัวของพอลิแซ็กคาไรด์ ได้แก่ เพคติน ส่งผลให้ความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำลงได้ แต่เนื่องจากในการทดลองครั้งนี้อุณหภูมิที่ใช้ต่ำกว่า 110 องศาเซลเซียส การใช้อุณหภูมิต่ำจะสัมพันธ์กับเวลาที่ใช้ หากใช้

อุณหภูมิต่ำจะใช้เวลานานกว่าการใช้อุณหภูมิสูง ดังนั้นค่าความสามารถในการอุ้มน้ำจึงแตกต่างกันเล็กน้อย

ความสามารถในการอุ้มน้ำ

คุณสมบัติเชิงหน้าที่ในด้านความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารผงจากเปลือกชั้นในส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง ที่ผ่านการลดความขมแล้วมาทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ 4 วิธี หมายถึง ปริมาณน้ำมันที่คงเหลืออยู่ในเส้นใยหลังจากการผ่านซิมซบ บ่ม ด้วยน้ำมัน และไปปั่นเหวี่ยง พบว่าความสามารถในการอุ้มน้ำ เส้นใยอาหารผงที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีค่าการอุ้มน้ำมันสูงที่สุดเช่นกันคือ 7.46 รองลงมารองลงมาคือการทำแห้งที่อุณหภูมิ 70, 60 และ 50 องศาเซลเซียส คือ 4.22, 3.91 และ 3.91 ตามลำดับ เมื่อนำมาวิเคราะห์ทางสถิติการใช้ความร้อนในการอบแห้งทั้ง 3 อุณหภูมิค่าความสามารถในการอุ้มน้ำไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่การอบแห้งแบบใช้ความร้อนมีความสามารถในการอุ้มน้ำมันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) กับการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เนื่องมาจากการอบแห้งแบบลมร้อนทำให้โครงสร้างของเส้นใยเกิดการเสียหายได้มากกว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง จึงทำให้ดูดน้ำมัน กลับได้น้อยกว่า ดังนั้นการทำแห้งหากมีต้นทุนสูงสามารถเลือกวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งได้ หรือหากมีต้นทุนจำกัดสามารถเลือกการทำแห้งแบบอบลมร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส นาน 2 ชม. เนื่องจากค่าความสามารถในการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น ($p>0.05$)

ดังนั้นเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอจึงมีความเหมาะสมสำหรับนำไปใช้เป็นส่วนผสมเพื่อเพิ่มความคงตัว (Stabilization) ในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันสูง (Elleuch et al., 2011) และผลิตภัณฑ์อาหารที่เป็นอิมัลชัน (นพรัตน์ ราชจินดา และ สุทธิณีย์ อรินพไพบูรณ์, 2551; ปิยะรัชชกุลเมธีและคณะ 2553; Garcia et al., 2002; Fernandez-Ginés et al., 2004)

นอกจากนี้ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมันของเส้นใยอาหารจะขึ้นอยู่กับการทำแห้งยังขึ้นอยู่กับแหล่งของเส้นใยอาหาร กระบวนการผลิตเส้นใยอาหาร ขนาดอนุภาค และอัตราส่วนระหว่างเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำและที่ละลายน้ำ โดยเฉพาะปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (พัชรภรณ์ วชิรศิริ, 2550; Grigelmo-Miguel & Martin-Belloso, 1990a; Figuerola et al., 2005)

นอกจากนี้ การบดเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอให้มีขนาด 100 เมช ทำให้เส้นใยอาหารผงมีขนาดอนุภาคเล็กลง จึงส่งผลให้ความสามารถในการอุ้มน้ำและความสามารถในการอุ้มน้ำมันของเส้นใยอาหารเพิ่มขึ้นได้เช่นกันซึ่งสอดคล้องกับ พัทธภรณ์ วชิรศิริ, 2550; Larrauri, 1999; Raghavendra et al., 2006)

ความสามารถในการพองตัว

คุณสมบัติเชิงหน้าที่ในด้านความสามารถในการพองตัวของเส้นใยอาหารผงจากเปลือกชั้นในส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง ที่ผ่านการลดความขมแล้วมาทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ 4 วิธี หมายถึงปริมาณเส้นใยอาหารผงที่พองตัวต่อปริมาณเปลือกส้มโอเริ่มต้น ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและผ่านการ

อบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่า มีความสามารถในการพองตัวไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) คือมีค่าพองตัว ความสามารถในการพองตัวของโยอาหารผงที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีค่าการพองตัวสูงที่สุดเช่นกันคือ 24.83 รองลงมา รองลงมาคือการทำแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส คือ 22.05, 21.26 และ 17.86 ตามลำดับ

การตรวจสอบคุณสมบัติของโยอาหารผง

คัดเลือกโยอาหารผงที่ผ่านการทำแห้งที่มีคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และเชิงหน้าที่ 2 วิธี คือ การทำแห้งด้วยวิธีแช่เยือกแข็ง (เนื่องจากคุณสมบัติทุกด้านดีที่สุด) และทำแห้งด้วยความร้อนแบบอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง (เป็นตัวแทนการทำแห้งแบบใช้ความร้อนที่มี คุณสมบัติเหมาะสม) มาเปรียบเทียบปริมาณร้อยละของผลผลิต คุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี คุณสมบัติเชิงหน้าที่ และ ตรวจสอบลักษณะอนุภาค เพื่อเป็นทางเลือกในการผลิตโยอาหารผงจากเปลือกชั้นในส้มโอในด้านเวลา และต้นทุนการผลิต ดังตารางที่ 4.14 ดังนี้

ตารางที่ 4.14 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีระหว่างโยอาหารผงแบบแช่เยือกแข็ง และตู้อบลมร้อน 70 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง

คุณสมบัติ	แช่เยือกแข็ง-40 °ซ นาน 14 ชม.	ตู้อบลมร้อน 70 °ซ นาน 2 ชม.
คุณสมบัติทางกายภาพ		
ปริมาณผลผลิต (ร้อยละ)	17.31	14.19
ค่าสี		
L	80.13±1.11	78.08±0.56
a*	0.25±0.21	1.31±0.20
b*	3.08±0.45	5.36±0.36
คุณสมบัติทางเคมี		
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	4.75±0.01	4.43±0.01
ปริมาณน้ำอิสระ(a _w)	0.46 ± 0.01	0.37 ± 0.02
ความชื้น (%)	6.12± 0.08	5.38 ± 0.27
โปรตีน (%)	5.71±0.19	5.03±0.03
ไขมัน (%)	0.43±0.02	0.45±0.01
เถ้า (%)	3.36±0.03	3.33±0.04
คาร์โบไฮเดรต (%)	7.30	4.22
ปริมาณโยอาหาร (%) Crude fiber	88.50± 0.45	81.59± 0.21

ตารางที่ 4.14 (ต่อ)

คุณสมบัติ	แช่เยือกแข็ง-40 ° ซ นาน 14 ชม.	ตู้อบลมร้อน 70 ° ซ นาน 2 ชม.
ปริมาณใยอาหาร (%) Total dietary fiber	76.14	83.16
Insoluble dietary fiber (%)	38.18	44.82
Soluble dietary fiber (%)	37.96	38.34
Limonin (ppm)	182.70±3.43	208.25± 2.81
Narignin (ppm)	1434.26±3.39	1120.92±5.16
สารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (mg gallic acid/g dry)	0.23±0.01	0.46±0.02
DPPH scavenging (เปรียบกับ Trolox) (μM)	83.37±0.36	87.56±0.56

ในการผลิตใยอาหารผงซึ่งสภาวะที่สามารถลดความชื้นของใยอาหารได้ดีที่สุด คือ การแช่ด้วยสารละลาย pH 7 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และการอบแห้งสามารถทำได้ทั้ง 2 วิธีคือทำแห้งแบบเยือกแข็งและแบบอบลมร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง จากตารางที่ 4.14 เมื่อทำการประมวลผลจากข้างต้น จึงได้ทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และทางเชิงหน้าที่ ซึ่งข้อมูลต่างๆ ใช้เป็นแนวทางในการเลือกวิธีในการทำแห้งที่เหมาะสมกับต้นทุนและระยะเวลาพบว่า

1. มีค่าความสว่าง L เท่ากับ 78.08-80.13 สูง ค่า a* ความเป็นสีแดงน้อย คือค่า a* เท่ากับ 0.25-1.31 และค่า b* สีเหลืองน้อยเท่ากับ 3.08-5.36 ซึ่งหากต้องการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเส้นใยอาหารเปลือกส้มโอเป็นเส้นใยอาหารที่มีสีขาวและจะไม่บดเบียนสีของผลิตภัณฑ์อาหารที่เติมลงไป

2. มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 4.43-4.75 ซึ่งเป็นค่าอยู่ในแนวโน้มความเป็นกรดเล็กน้อย ซึ่งอาจจะมีผลต่อผลิตภัณฑ์ แต่มีข้อดีในการเก็บรักษาได้นานขึ้น

3. มีความชื้น และ ค่า a_w ต่ำ คือมีค่าความชื้นร้อยละ 5.38-6.12 และ a_w 0.37-0.47 ความชื้นของใยอาหารผงเปลือกส้มโอมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 10 Larrauri (1999) และ a_w ต่ำกว่า 0.65 (Muller & Heindl, 2006) ซึ่งเป็นค่าความชื้นที่ปลอดภัยจากจุลินทรีย์

4. มีปริมาณไขมันต่ำร้อยละ 0.43-0.45 เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการจำกัดปริมาณไขมัน

5. มีปริมาณใยอาหารทั้งในรูป Crude fiber และ Total dietary fiber สูง คือ ร้อยละ 81-88.50 และ 76.14-83.16 ตามลำดับ เหมาะสำหรับในการผสมในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเพิ่มใยอาหารแม้ใส่ปริมาณน้อย

6. มีปริมาณเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำสูงคือร้อยละ 38.18-44.82 เหมาะสำหรับในการนำไปใช้ร่วมกับผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นของเหลว เช่น เครื่องดื่มผลไม้ต่างๆ น้ำสลัด ไอศกรีม เยลลี่

7. มีความเป็นสารต้านอนุมูลสูงคือมีสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด 0.23-0.46 mg gallic acid/g dry และค่า DPPH 83.37-87.56 μM

ตารางที่ 4.15 เปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงหน้าที่ระหว่างโยอาหารผงแบบแช่เยือกแข็งและตู้อบลมร้อน 70 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง กับเซลล์โลสทางการค้า

คุณสมบัติ	แช่เยือกแข็ง-40 ° ซ 14 ชม.	ตู้อบลมร้อน 70 ° ซ 2 ชม.	เซลล์โลสทาง การค้า
ความสามารถในการอุ้มน้ำ (กรัมน้ำต่อน้ำหนักแห้ง)	17.48± 1.77	13.66±0.86	9.19±0.41
ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (กรัมไขมันต่อน้ำหนักแห้ง)	7.46± 0.92	4.22± 0.65	7.23±0.32
ความสามารถในการกักเก็บน้ำ (กรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง)	20.39±0.43	17.55± 0.23	10.23±0.34
ความสามารถในการพองตัว (มิลลิกรัมกรัมต่อน้ำหนักแห้ง)	21.83± 0.71	17.86± 1.26	13.01±0.22
ความหนาแน่นจำเพาะ (กรัม/มิลลิลิตร)	0.35	0.36	0.55

โยอาหารจากเปลือกชั้นในส้มโอส่วนใหญ่มีคุณสมบัติในด้านความสามารถในการอุ้มน้ำ การกักเก็บน้ำ การพองตัว ดีกว่าเซลล์โลสทางการค้า คือ มีความสามารถในการอุ้มน้ำ 13.66-17.48 (กรัมน้ำต่อน้ำหนักแห้ง) มีความสามารถในการกักเก็บน้ำและการพองตัว 17.55-20.39 (มิลลิกรัมกรัมต่อน้ำหนักแห้ง) และ 17.86-21.83 กรัม/มิลลิลิตร) ตามลำดับ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์อาหารที่ต้องการความชุ่มชื้นและช่วยในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสให้กับผลิตภัณฑ์ เช่น ผลิตภัณฑ์วุ้น เยลลี่ แยม ไอศกรีม ทองม้วน เป็นต้น

ในขณะที่คุณสมบัติในด้านความสามารถในการอุ้มน้ำและความหนาแน่นจำเพาะ ของโยอาหารจากเปลือกชั้นในส้มโอจะมีค่าน้อยเซลล์โลสทางการค้า แต่อย่างไรก็ตามโยอาหารผงจากเปลือกส้มโอเหมาะสำหรับการนำไปใช้ร่วมกับผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นอิมัลชันและผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเพิ่มความคงตัวในผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันสูง เช่น ผลิตภัณฑ์นม ขนมอบ เบอเกอร์รี่ ไส้กรอก ลูกชิ้น เป็นต้น

ลักษณะคุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่สามารถอธิบายโดยใช้ทำการส่องกล้องด้วยเทคนิค SEM เพื่อตรวจลักษณะอนุภาคและพื้นผิวได้ดังภาพที่ 4.1, 4.2 และ 4.3

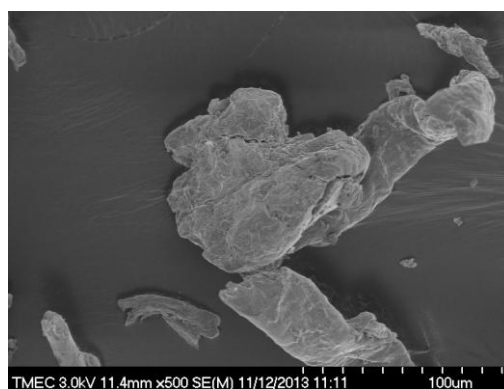
ลักษณะโครงสร้างระดับจุลภาค

เมื่อทำการส่องกล้องด้วยเทคนิค SEM เพื่อตรวจลักษณะอนุภาคและพื้นผิว พบว่าโครงสร้างของเซลล์ูโลสทางการค้า มีการเรียงตัวที่เรียบร้อยเนื่องจากเป็นใยอาหารที่มีแต่เซลล์ูโลสอย่างเดียว ในขณะที่ใยอาหารจากเปลือกชั้นของส้มโอขาวน้ำผึ้งไม่ได้ทำการสกัดเหลือแต่เซลล์ูโลส ยังคงมีสารอื่นๆ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน ใยอาหารที่ละลายน้ำ ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และอื่นๆ ดังนั้นโครงสร้างจึงไม่เป็นระเบียบเท่ากับเซลล์ูโลส

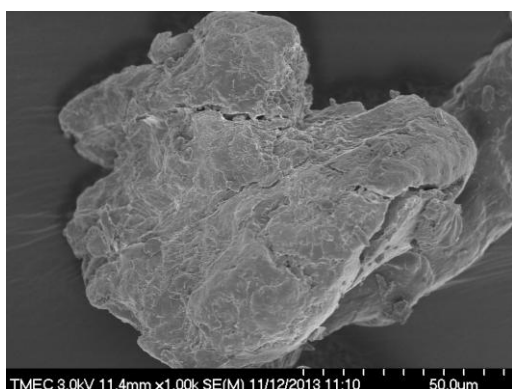
ในขณะที่โครงสร้างใยอาหารจากเปลือกส้มโอผงที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง ทำให้โครงสร้างแตกมากกว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ดังภาพที่ 4.6, 4.7 และ 4.8



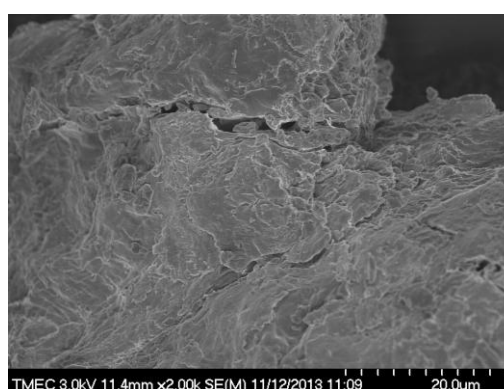
(a)



(b)



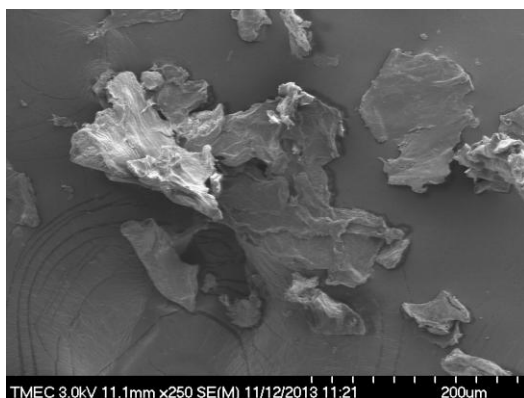
(c)



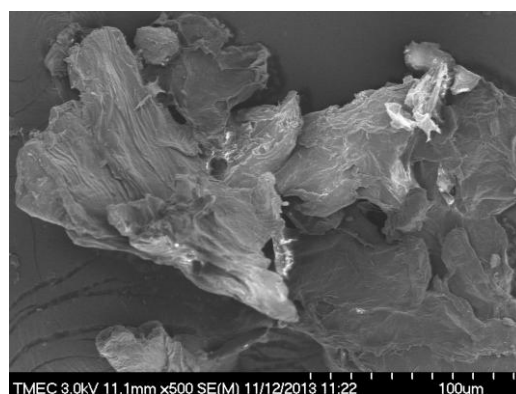
(d)

ภาพที่ 4.6 โครงสร้างของเซลล์ูโลสทางการค้า ตรวจสอบด้วยเทคนิค SEM

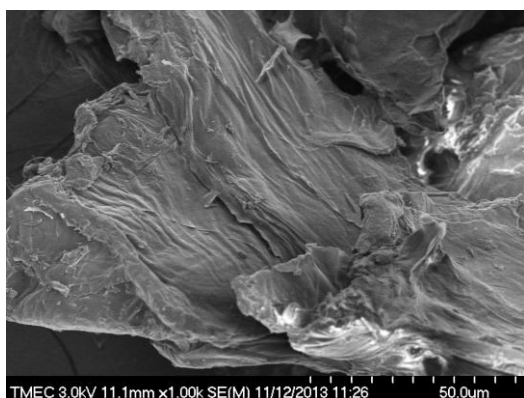
- (a) กำลังขยาย 250 เท่า
- (b) กำลังขยาย 500 เท่า
- (c) กำลังขยาย 1,000 เท่า
- (d) กำลังขยาย 2,000 เท่า



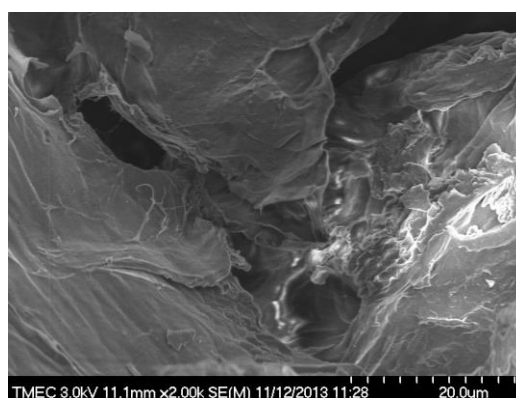
(a)



(b)



(c)



(d)

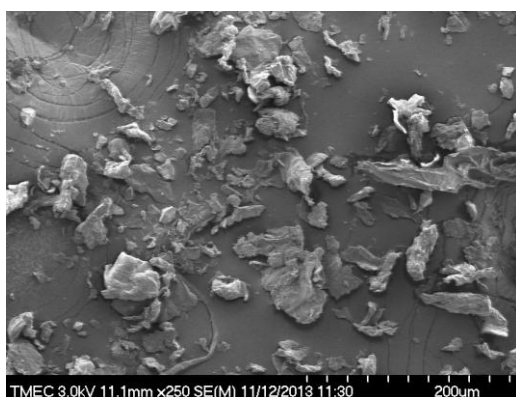
ภาพที่ 4.7 โครงสร้างของใยอาหารจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งผ่านการลดความชื้นด้วยสารละลาย pH 7 และทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ตรวจสอบด้วยเทคนิค SEM

(a) กำลังขยาย 250 เท่า

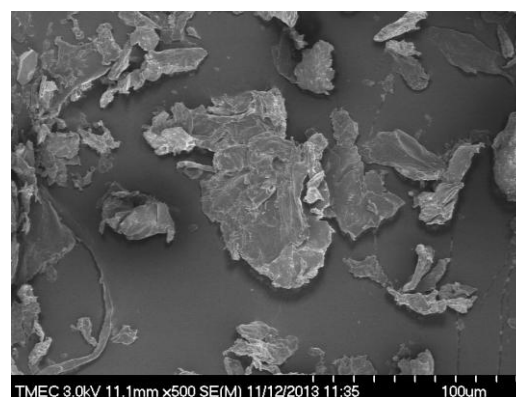
(b) กำลังขยาย 500 เท่า

(c) กำลังขยาย 1,000 เท่า

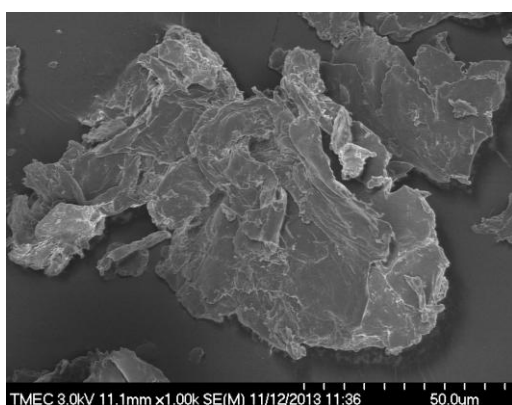
(d) กำลังขยาย 2,000 เท่า



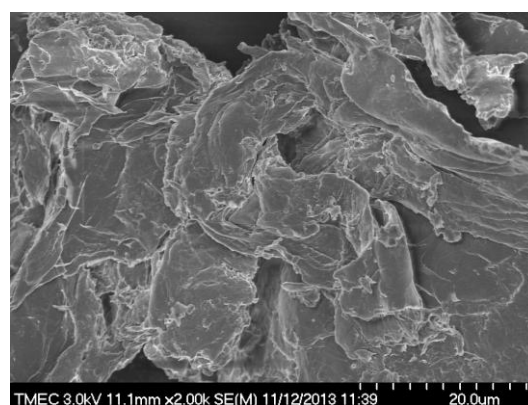
(a)



(b)



(c)



(d)

ภาพที่ 4.8 โครงสร้างของใยอาหารจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งผ่านการลดความชื้นด้วยสารละลาย pH 7 และทำแห้งด้วยลมร้อน 70 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง

ตรวจสอบด้วยเทคนิค SEM

(a) กำลังขยาย 250 เท่า

(b) กำลังขยาย 500 เท่า

(c) กำลังขยาย 1,000 เท่า

(d) กำลังขยาย 2,000 เท่า

ผลของอายุการเก็บรักษาของโยอาหารผง

นำส้มโอผงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบอบลมร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง มาบรรจุในถุงลามิเนตอลูมิเนียมฟอยล์ บรรจุปิดสนิทด้วยเครื่อง vacuum pack ที่ระดับ Vacuum 75% Welding 7.0S และ Soft air 10.00S เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4-5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 เดือน ผลการวิเคราะห์ถึงการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านทางกายภาพ เคมี คุณสมบัติเชิงหน้าที่ และ จุลินทรีย์ ดังตาราง 4.15

ตารางที่ 4.15 ผลของอายุการเก็บรักษาของโยอาหารผงเป็นเวลา 3 เดือน

คุณสมบัติ		เริ่มต้น (0 วัน)	3 เดือน
คุณสมบัติทางกายภาพ			
ค่าสี	L	78.08±0.56	75.55±0.22
	a*	1.31±0.20	1.35±0.14
	b*	5.36±0.36	5.33±0.07
คุณสมบัติทางเคมี			
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)		4.43±0.01	4.40±0.02
ปริมาณน้ำอิสระ(a _w)		0.37±0.02	0.41±0.01
ความชื้น (%)		5.38±0.27	5.50±0.02
สารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (mg gallic acid/g dry)		0.46±0.02	0.41±0.08
DPPH scavenging (เปรียบกับ Trolox) (μM)		87.56±0.56	85.42±0.23
คุณสมบัติเชิงหน้าที่			
ความสามารถในการอุ้มน้ำ (กรัมน้ำต่อน้ำหนักแห้ง)		13.66±0.86	13.59±0.31
ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (กรัมน้ำมันต่อน้ำหนักแห้ง)		4.22±0.65	4.12±0.18
จุลินทรีย์			
จุลินทรีย์ทั้งหมด		2.0×10 ³	2.2×10 ³
ยีสต์และรา		ไม่พบ	ไม่พบ

จากการศึกษาอายุการเก็บรักษาโยอาหารผงเป็นระยะเวลา 3 เดือน ที่อุณหภูมิ 4-5 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถเก็บได้อย่างน้อย 3 เดือน โดยที่คุณภาพทางกายภาพด้านสี คุณภาพทางด้านเคมี (ความเป็นกรด-ด่าง, ปริมาณน้ำอิสระ, ความชื้น และความเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ) และ คุณสมบัติเชิงหน้าที่ (ความสามารถในการอุ้มน้ำ และ ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน) เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา พบว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ชุมชน (มพช.๑๔๐๒/๒๕๕๐) โดยกำหนดให้ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ต้องไม่เกิน 0.6 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 1×10⁴ โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ส่วนยีสต์และรา ต้องไม่พบในตัวอย่าง 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร

