บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 สภาวะที่เหมาะสมในการลดความขมจากเปลือกในส้มโอ

เนื่องจากเปลือกในส้มโอมีสารให้รสขม คือ นารินจิน และลิโมนิน เป็นองค์ประกอบ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องกำจัดหรือลดสารให้รสขมเหล่านี้ให้เหลือน้อยที่สุดก่อน ถึงจะนำเปลือกในส้มโอมาผลิตเส้นใยอาหารผง การลดความขมทำโดยสกัดด้วยน้ำร่วมกับการใช้อุณหภูมิและเวลา และการปรับพีเอช ซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย ทั้งยังมีต้นทุนในการดำเนินการต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น

Response surface methodology (RSM) เป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตในระดับอุตสาหกรรม โดยมีหลักการคือ การสร้างสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม จากนั้นจึงหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตจากสมการที่สร้างขึ้น (Cho *et al*., 2005) ข้อดีของ RSM คือ ลดจำนวนสิ่งทดลองที่ต้องการศึกษาผลของปัจจัยต่างๆ และอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย ทำให้ใช้ระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการลดลง (Kim *et al*., 2004) ดังนั้นจึงนำมาประยุกต์ใช้ในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการลดความขมจากเปลือกในส้มโอ โดยวางแผนการทดลองแบบ Central Composite ศึกษาผลของปัจจัยอิสระ 3 ปัจจัย คือ พีเอชของสารละลาย อุณหภูมิ และระยะเวลาการสกัดต่อปริมาณนารินจิน (naringin) และลิโมนิน (limonin) ที่คงเหลือในเปลือกในส้มโอ ซึ่งตัวแปรรหัสและตัวแปรจริงที่ใช้ในการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2 และค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระ *P*-value และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.1 ตัวแปรรหัสและตัวแปรจริงที่ใช้ในการทดลอง

ตัวแปรอิสระ (Independent variables)	สัญลักษณ์ (Symbol)	ตัวแปรรหัส (Coded variable) และ ตัวแปรจริง (Actual variable)				
		-2	-1	0	1	2
พีเอช	X_1	6	7	8	9	10
อุณหภูมิการสกัด (องศาเซลเซียส)	X_2	30	40	50	60	70
ระยะเวลาการสกัด (นาที)	X_3	10	20	30	40	50

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.2 ปริมาณนารินจินและลิโมนินที่คงเหลือในเปลือกในส้มโอ (mg/100g)

การทดลอง	ระดับตัวแปรอิสระ[1]			ปริมาณนารินจินที่คงเหลือ (mg/100g)		ปริมาณลิโมนินที่คงเหลือ (mg/100g)	
	พีเอช	อุณหภูมิ (^{o}C)	เวลา (นาที)	ค่าจากการทดลอง	ค่าจากการทำนาย	ค่าจากการทดลอง	ค่าจากการทำนาย
1	-1 (7)	-1 (40)	-1 (20)	47.35	48.31	0.5	0.61
2	1 (9)	-1 (40)	-1 (20)	38.44	50.39	0.8	0.84
3	-1 (7)	1 (60)	-1 (20)	23.06	29.23	0.19	0.22
4	1 (9)	1 (60)	-1 (20)	40.41	31.31	0.25	0.27
5	-1 (7)	-1 (40)	1 (40)	12.91	24.55	0.22	0.27
6	1 (9)	-1 (40)	1 (40)	29.6	26.63	0.27	0.31
7	-1 (7)	1 (60)	1 (40)	11.96	5.47	0.61	0.63
8	1 (9)	1 (60)	1 (40)	3.16	7.55	0.56	0.50
9	-2 (6)	0 (50)	0 (30)	29.93	25.84	0.27	0.19
10	2 (10)	0 (50)	0 (30)	30.1	30	0.27	0.28
11	0 (8)	-2 (30)	0 (30)	61.4	52.56	0.89	0.80
12	0 (8)	2 (70)	0 (30)	9.91	14.4	0.58	0.60
13	0 (8)	0 (50)	-2 (10)	61.15	58.2	0.59	0.51
14	0 (8)	0 (50)	2 (50)	11.95	10.68	0.4	0.40
15	0 (8)	0 (50)	0 (30)	17.06	15.88	0.4	0.44
16	0 (8)	0 (50)	0 (30)	18.94	15.88	0.47	0.44
17	0 (8)	0 (50)	0 (30)	15.83	15.88	0.53	0.44

หมายเหตุ: [1]ตัวเลขนอกวงเล็บเป็นตัวแปรรหัส (coded variable) ตัวเลขในวงเล็บเป็นตัวแปรจริง (actual variable)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.3 สัมประสิทธิ์ และการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบจำลองค่าตอบสนองของปริมาณนารินจินและลิโมนินที่คงเหลือในเปลือกในส้มโอ (mg/100g)

แหล่งของความแปรปรวน	ค่าสัมประสิทธิ์		*P*-value	
	ปริมาณนารินจิน	ปริมาณลิโมนิน	ปริมาณนารินจิน	ปริมาณลิโมนิน
แบบจำลอง			< 0.0005	<0.0014
β_0	15.88	0.45		
X_1	1.04	0.023	0.6042	0.3119
X_2	-9.54	-0.05	0.0006	0.0433
X_3	-11.88	-0.029	< 0.0001	0.2052
X_1^2	3.01	-0.054	0.0316	0.0150
X_2^2	4.42	0.063	0.0254	0.0071
X_3^2	4.64		0.0320	
$X_1 X_2$		-0.043		0.1874
$X_1 X_3$		-0.045		0.1654
$X_2 X_3$		0.19		<0.0002
Residual Lack of fit			0.0320	0.3906
Adjusted R^2			0.8026	0.8317

หมายเหตุ: β_0 หมายถึง ค่าคงที่

4.1.1 ปริมาณนารินจินที่คงเหลือในเปลือกในส้มโอ

สมการค่าตอบสนองของปริมาณนารินจินที่คงเหลือในเปลือกในส้มโอ คือ

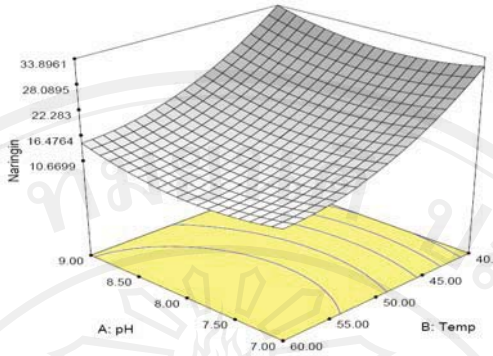
$$Y_1 = + 15.88 + 1.04X_1 - 9.54X_2 - 11.88X_3 + 3.01X_1^2 + 4.42X_2^2 + 4.64X_3^2 \text{ (สมการที่ 1)}$$

โดยทุกเทอมมีผลต่อค่าตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ยกเว้น X_1 แต่เทอมนี้ทำให้สมการมีค่า adjusted R^2 สูง จึงยังรวมเอาไว้ในสมการ จากการวิเคราะห์ ค่า Residual พบว่า มี lack-of-fit แสดงว่าสมการพหุนามกำลังสอง (quadratic polynomial) อาจไม่เหมาะสมสำหรับการอธิบายปริมาณนารินจินที่คงเหลือในเปลือกในส้มโอ ตามสภาวะการสกัดทั้ง 3 ปัจจัย

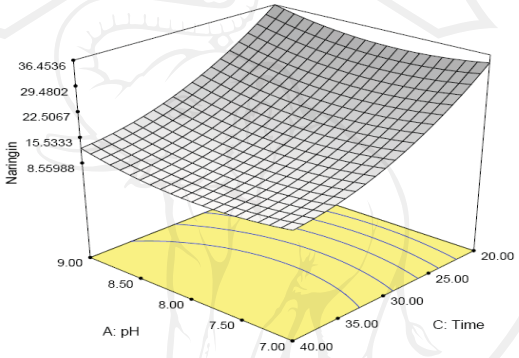
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าตอบสนองและตัวแปรอิสระ พบว่า ปริมาณนารินจินที่คงเหลือในเปลือกในส้มโอ มีความสัมพันธ์กับพีเอชของสารละลาย อุณหภูมิ และระยะเวลาการสกัดในรูปแบบ Quadratic ดังสมการที่ 1 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับร้อยละ 80.26 จากการสมการ จะเห็นได้ว่า ระยะเวลาการสกัดมีผลต่อการลดลงของปริมาณนารินจินในเปลือกในส้มโอมากที่สุด รองลงมาคือ อุณหภูมิการสกัด ส่วนพีเอชของสารละลายมีผลต่อการสกัดนารินจินน้อยที่สุด อย่างไรก็ตามการปรับพีเอชของสารละลายถือว่ามีความสำคัญต่อการสกัดนารินจิน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Yoon *et al.* (1997) ที่พบว่า ฟลาโวนอยด์ (flavoniods) จะไม่ละลายในตัวทำละลายที่มีพีเอชต่ำ แต่จะละลายอย่างสมบูรณ์ในสารละลายด่าง ดังนั้นการปรับพีเอชด้วยสารละลายด่างร่วมกับการเพิ่มอุณหภูมิ จะทำให้เกิดการไฮโดรไลซ์นารินจินซึ่งเป็นสารให้รสขมที่อยู่ในเปลือกในส้มโอเปลี่ยนโครงสร้างเป็นสารให้รสหวาน (sweet dihydrochalcone) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้การละลายของนารินจินในตัวทำละลายเพิ่มขึ้น เนื่องจากนารินจินละลายได้ดีในน้ำอุ่น (ธนิกานต์, 2549) ส่งผลให้ปริมาณนารินจินที่คงเหลือในเปลือกในส้มโอลดลง (รูปที่ 4.1 ก) และเมื่อใช้ระยะเวลาการสกัดเพิ่มขึ้น จะทำให้เกิดการไฮโดรไลซ์อย่างสมบูรณ์ยิ่งขึ้น (สุวรรณา และคณะ, 2547) ทำให้ปริมาณนารินจินที่คงเหลือในเปลือกในส้มโอลดลง (รูปที่ 4.1 ข) เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาการสกัด พบว่า การใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลาในการสกัดนานจะทำให้ปริมาณนารินจินที่คงเหลือในเปลือกในส้มโอมีปริมาณต่ำที่สุด (รูปที่ 4.1 ค) ซึ่งสอดคล้องกับการงานวิจัยของ Kim *et al.* (2004) ซึ่งศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดนาริรูติน (narirutin) ในระหว่างขั้นตอนการล้างของการผลิตเพคตินจากเปลือกพืชตระกูลส้ม พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและระยะเวลา จะทำให้สกัดนาริรูตินออกจากเปลือกส้มได้เพิ่มขึ้น โดยสภาวะที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิ 62 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และไม่เติมกรดไฮโดรคลอริก สามารถสกัดนาริรูตินได้ร้อยละ 0.6 โดยสูญเสียเพคตินเพียงร้อยละ 1.5

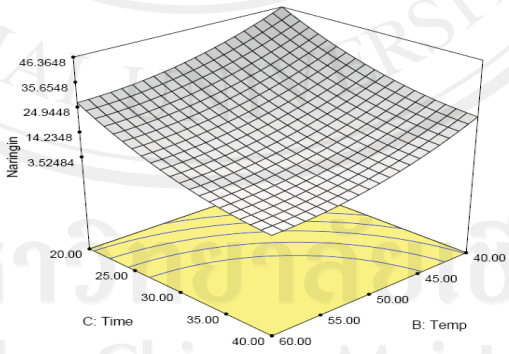
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.1 พื้นที่ตอบสนองของปริมาณนารินจินที่คงเหลือในเปลือกในส้มโอ (mg/100g) (ก) พีเอชและอุณหภูมิการสกัด (ข) พีเอชและระยะเวลาการสกัด (ค) อุณหภูมิและระยะเวลาการสกัด โดยปัจจัยที่สามในแต่ละกราฟกำหนดให้คงที่ที่จุดกึ่งกลางของช่วงที่ทดสอบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.2 ปริมาณลิโมนินที่คงเหลือในเปลือกในส้มโอ คือ

สมการค่าตอบสนองของปริมาณลิโมนินที่คงเหลือในเปลือกในส้มโอ คือ

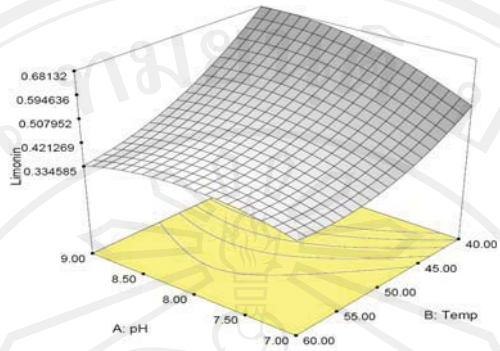
$$Y_2 = + 0.45 + 0.023X_1 - 0.050X_2 - 0.029X_3 - 0.054\ X_1^2 + 0.063\ X_2^2 - 0.043X_1\ X_2 - 0.045\ X_1\ X_3 + 0.19\ X_2X_3$$ (สมการที่ 2)

โดยทุกเทอมมีผลต่อค่าตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ยกเว้น X_1, X_3, $X_1\ X_2$ และ $X_1\ X_3$ แต่เทอมเหล่านี้ทำให้สมการมีค่า adjusted R^2 สูง จึงยังรวมเอาไว้ในสมการ จากการวิเคราะห์ค่า Residual พบว่า ไม่มี lack-of-fit แสดงว่า สมการพหุนามกำลังสอง (quadratic polynomial) เหมาะสมสำหรับการอธิบายปริมาณลิโมนินที่คงเหลือในเปลือกในส้มโอ ตามสภาวะการสกัดทั้ง 3 ปัจจัย

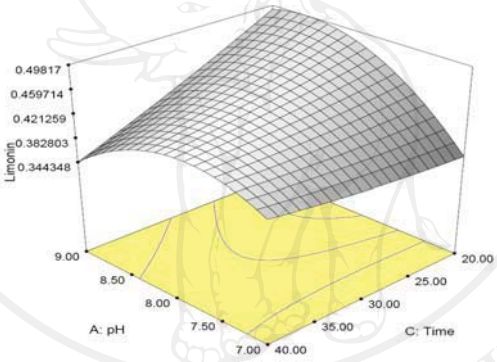
เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าตอบสนองและตัวแปรอิสระ พบว่า ปริมาณลิโมนินที่คงเหลือในเปลือกในส้มโอมีความสัมพันธ์กับพีเอชของสารละลาย อุณหภูมิการสกัด และระยะเวลาการสกัดในรูปแบบ Quadratic ดังสมการที่ 2 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับร้อยละ 83.17 จากการสมการ จะเห็นได้ว่า พีเอชของสารละลาย อุณหภูมิการสกัด และระยะเวลาการสกัด มีผลต่อปริมาณลิโมนินที่คงเหลือในเปลือกในส้มโอ โดยอุณหภูมิการสกัดมีผลต่อการลดลงของปริมาณลิโมนินในเปลือกในส้มโอมากที่สุด รองลงมาคือ ระยะเวลาการสกัด และพีเอชของสารละลาย เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการสกัด ทำให้ปริมาณลิโมนินที่คงเหลือในเปลือกในส้มโอลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับพีเอชที่มีผลต่อการลดลงของปริมาณลิโมนินที่คงเหลือน้อย (รูปที่ 4.2 ก) เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชของสารละลายและระยะเวลาการสกัด พบว่า การเพิ่มพีเอชของสารละลายและระยะเวลาการสกัด ทำให้ปริมาณลิโมนินที่คงเหลือในเปลือกในส้มโอลดลง (รูปที่ 4.2 ข) ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาการสกัด พบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิการสกัดสูง สามารถลดระยะเวลาการสกัดให้สั้นลง ขณะเดียวกันเมื่อใช้อุณหภูมิการสกัดต่ำต้องใช้ระยะเวลาในการสกัดนานขึ้น เพื่อให้มีปริมาณลิโมนินที่คงเหลือในเปลือกในส้มโอน้อยที่สุด อย่างไรก็ตามอุณหภูมิและระยะเวลาการสกัดที่ใช้จะต้องเหมาะสมด้วย เพราะถ้าไม่เหมาะสมอาจ ทำให้ปริมาณสารให้รสขมเพิ่มขึ้นได้ (สุวรรณา และคณะ, 2547) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลอง ที่พบว่า ถ้าใช้อุณหภูมิการสกัดสูงและระยะเวลาในการสกัดนาน ความร้อนที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ลิโมโนเอท เอริง แลคโตน (Limonoate A-ring lactone) ซึ่งเป็นสารที่ไม่มีรสขมเปลี่ยน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

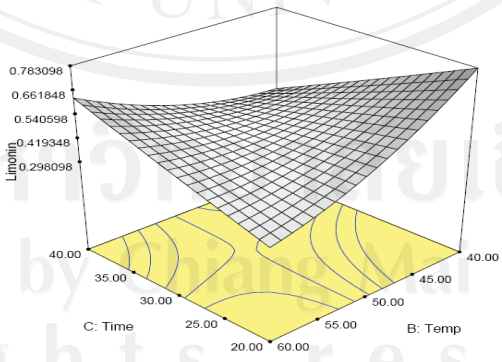
โครงสร้างเป็นลิโมนินซึ่งเป็นสารให้รสขม (อัจฉรา, 2532) ทำให้ปริมาณลิโมนินที่คงเหลือในเปลือกในส้มโอเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.2 ค)



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.2 พื้นที่ตอบสนองของปริมาณลิโมนินที่คงเหลือในเปลือกในส้มโอ (mg/100g)
(ก) พีเอชและอุณหภูมิการสกัด (ข) พีเอชและระยะเวลาการสกัด (ค) อุณหภูมิและระยะเวลาการสกัด โดยปัจจัยที่สามในแต่ละกราฟกำหนดให้คงที่ที่จุดกึ่งกลางของช่วงที่ทดสอบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.3 สภาวะที่เหมาะสมในการลดปริมาณนารินจินและลิโมนินจากเปลือกในส้มโอ

เกณฑ์ในการคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการลดปริมาณนารินจินและลิโมนินจากเปลือกในส้มโอ คือ สภาวะที่สามารถลดปริมาณนารินจินและลิโมนินในเปลือกในส้มโอได้มากที่สุด จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 จะเห็นได้ว่า อุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัดนารินจินและลิโมนินออกจากเปลือกในส้มโอให้ผลในทิศทางตรงกันข้าม โดยการเพิ่มอุณหภูมิและระยะเวลาจะทำให้สกัดนารินจินได้เพิ่มขึ้น แต่จะทำให้ลิโมนินที่สกัดได้มีปริมาณลดลง ดังนั้นจึงต้องหาสภาวะที่เหมาะสมในการลดปริมาณสารให้รสขมทั้งสอง โดยพิจารณาจากปริมาณนารินจินและลิโมนินที่คงเหลือในเปลือกในส้มโอ พบว่า เมื่อตั้งช่วงค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุดของนารินจินที่ 3.16-61.40 และลิโมนินที่ 0.19-0.89 mg/100g ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าจริงที่ได้จากการทดลอง จะได้แบบจำลองที่มีสภาวะที่เหมาะสม คือ พีเอชของสารละลาย 9 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และระยะเวลา 40 นาที หากตั้งช่วงค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุดของนารินจินที่ 3.16-70.00 และลิโมนินที่ 0.19-0.30 mg/100 g ตามลำดับ ซึ่งค่าสูงสุดที่กำหนดเป็นปริมาณนารินจินและลิโมนินระดับต่ำสุดที่ผู้ทดสอบสามารถรับรสขมได้ (อรพิน, 2534; Wilson and Crutchfield, 1968) จะได้แบบจำลองที่มีสภาวะที่เหมาะสม คือ พีเอชของสารละลาย 7 อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และระยะเวลา 20 นาที จากนั้นนำเปลือกในส้มโอที่ผ่านการลดความขมด้วยสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทำนายทั้งสองสภาวะมาทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านการรับรสขมและการยอมรับรวม พบว่า เปลือกในส้มโอที่ผ่านการลดความขมทั้งสองสภาวะมีคะแนนการรับรสขม และการยอมรับรวม ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยด้านการรับรสขมเท่ากับ 3.49 และ 3.87 ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยด้านการยอมรับรวมเท่ากับ 6.03 และ 5.95 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.4) ดังนั้นเมื่อพิจารณาในด้านปริมาณด่างที่ใช้ในการปรับพีเอชของสารละลาย และระยะเวลาในการลดความขม พบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการลดความขมจากเปลือกในส้มโอ คือ พีเอชของสารละลาย 7 อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และระยะเวลา 20 นาที ซึ่งทำนายปริมาณนารินจินและลิโมนินที่คงเหลือในเปลือกในส้มโอเป็น 29.25 และ 0.22 mg/100 g ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของเปลือกในส้มโอที่ผ่านการลดความขม

สภาวะในการลดความขม	การรับรสขม ^{ns}	การยอมรับรวม ^{ns}
พีเอช 9, อุณหภูมิ 50^{o}C, เวลา 40 นาที	3.49 ± 1.83	6.03 ± 2.45
พีเอช 7, อุณหภูมิ 60^{o}C, เวลา 20 นาที	3.87 ± 1.97	5.95 ± 2.15

หมายเหตุ : ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2 ผลของความเร็วและระยะเวลาในการบดเปียกที่มีต่อสมบัติของเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอ

เปลือกในส้มโอที่ผ่านการลดความขม หลังจากนำมาผลิตเป็นเส้นใยอาหารผง พบว่าเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอมีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว มีกลิ่นส้มเล็กน้อย และไม่มีรสขม ดังนั้นจึงสามารถนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารได้หลายชนิด โดยไม่กระทบต่อสี กลิ่น และรสชาติของผลิตภัณฑ์อาหารนั้นๆ ผลการศึกษาสมบัติของเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอมีดังนี้

4.2.1 สมบัติทางกายภาพของเส้นใยอาหารผง

ก) ค่าสี L^*

ค่าสี L^* เป็นค่าความสว่าง ถ้าค่าสี L^* เข้าใกล้ศูนย์ หมายถึง ตัวอย่างสว่างน้อยลงจนเป็นสีคล้ำ ส่วนค่าสี L^* เข้าใกล้ 100 หมายถึง ตัวอย่างสว่างมากจนเป็นสีขาว หรือสีจาง (สุคนธ์ชื่นและวรรณวิบูลย์, 2543) จากตารางที่ 4.5 พบว่า ความเร็วและระยะเวลามีอิทธิพลร่วมต่อความสว่างของค่าสี L^* ของเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอ โดยการเพิ่มความเร็วและระยะเวลาในการบดเปียก จะทำให้ค่าสี L^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แสดงว่า เส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอมีความสว่างมากขึ้น แต่ที่ความเร็วระดับสูง นาน 5 นาที เส้นใยอาหารผงที่ได้มีค่าสี L^* ต่ำกว่าที่ระยะเวลาในการบดเปียกนาน 1 และ 3 นาที เนื่องจากการใช้ความเร็วสูงเป็นเวลานาน ทำให้เส้นใยอาหารผงมีอนุภาคขนาดเล็ก และมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น เมื่อนำไปอบแห้ง ความร้อนที่ใช้จะทำให้เส้นใยอาหารผงมีสีคล้ำได้ทั่วถึงมากยิ่งขึ้น เมื่อพิจารณาผลของความเร็วในการบดเปียก พบว่า ความเร็วระดับสูงให้ค่าสี L^* สูงสุด คือ 97.28 ขณะที่การใช้ความเร็วระดับกลางและระดับต่ำมีผลต่อค่าสี L^* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 97.08 และ 97.03 ตามลำดับ ส่วนระยะเวลาในการบดเปียก พบว่า ไม่มีผลต่อค่าสี L^* ($p>0.05$) จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่า ผลิตภัณฑ์เส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอมีค่าสี L^* เฉลี่ยอยู่ระหว่าง 96.94-97.50 ซึ่งมีค่าสูงกว่าเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งที่มีค่าเท่ากับ 96.41 (อภิรักษ์, 2549) และเส้นใยอาหารทางการค้าที่มีค่าสี L^* อยู่ในช่วง 85.40-88.50 (Rosell *et al*., 2009) โดยเฉพาะเส้นใยอาหารผงที่ผ่านการบดเปียกด้วยความเร็วระดับสูง นาน 3 นาที ที่มีค่าสี L^* สูงสุด คือ 97.50 ดังนั้นเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอ จึงเป็นเส้นใยอาหารผงที่มีคุณภาพดี เนื่องจากมีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว และมีค่าสี L^* สูง ซึ่งหนึ่งในสมบัติของเส้นใยอาหารที่ดี คือ เส้นใยอาหารต้องไม่มีสี (Pomeranz, 1991)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ดังนั้นเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอที่ได้จึงเหมาะสำหรับนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากไม่รบกวนสีของผลิตภัณฑ์อาหารที่เติมเส้นใยอาหารลงไป

ข) ค่าสี a^*

ค่าสี a^* เป็นค่าแสดงถึงสีแดงและสีเขียว ถ้าค่าสี a^* เป็นบวก หมายถึง ตัวอย่างเป็นสีแดง ส่วนค่าสี a^*เป็นลบ หมายถึง ตัวอย่างเป็นสีเขียว (สุคนธ์ชื่น และวรรณวิบูลย์, 2543) จากตารางที่ 4.5 พบว่า ความเร็วและระยะเวลามีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าสี a^* ของเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอ โดยเส้นใยอาหารผงที่ศึกษามีค่าสี a^* อยู่ในช่วง -0.28 ถึง -0.07 ที่ความเร็วระดับเดียวกัน การเพิ่มระยะเวลาทำให้ค่าสี a^* มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการเพิ่มระยะเวลาในการบดเปียกจะทำให้เส้นใยอาหารผงมีขนาดอนุภาคเล็กลง ส่งผลให้การกำจัดรงควัตถุมีประสิทธิภาพดีขึ้น อย่างไรก็ตามเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอที่ได้มีค่าสี a^* เป็นลบเล็กน้อย แสดงถึงเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอยังคงมีสีเขียวปนอยู่บ้าง ซึ่งอาจเกิดจากขั้นตอนการกำจัดรงควัตถุออกจากวัตถุดิบทำได้ไม่สมบูรณ์พอ โดยเฉพาะคลอโรฟิลด์ซึ่งเป็นรงควัตถุที่พบในเปลือกในส้มโอ (นิธิมา, 2546)

ค) ค่าสี b^*

ค่าสี b^* เป็นค่าแสดงถึงสีเหลืองและสีน้ำเงิน ถ้าค่าสี b^* เป็นบวก หมายถึง ตัวอย่างเป็นสีเหลือง ส่วนค่าสี b^* เป็นลบ หมายถึง ตัวอย่างเป็นสีน้ำเงิน (สุคนธ์ชื่น และวรรณวิบูลย์, 2543) จากตารางที่ 4.5 พบว่า ความเร็วและระยะเวลามีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าสี b^* ของเส้นใยอาหารผง จากเปลือกในส้มโอ โดยเส้นใยอาหารผงที่ศึกษามีค่าสี b^* อยู่ในช่วง 1.90-2.70 ที่ความเร็วระดับเดียวกัน การเพิ่มระยะเวลาทำให้ค่าสี b^* มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการเพิ่มระยะเวลาในการบดเปียกจะทำให้เส้นใยอาหารผงมีขนาดอนุภาคเล็กลง ส่งผลให้ขั้นตอนการกำจัดรงควัตถุโดยการแช่เปลือกในส้มโอในสารละลายเอทานอลมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอที่ได้มีค่าสี b^* เป็นบวกเล็กน้อย แสดงถึง เส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอยังคงมีสีเหลืองปนอยู่บ้าง ซึ่งอาจเกิดจากขั้นตอนการกำจัดรงควัตถุออกจากวัตถุดิบทำได้ไม่สมบูรณ์พอ โดยเฉพาะแคโรทีนอยด์ซึ่งเป็นรงควัตถุที่พบในเปลือกในส้มโอ (นิธิมา, 2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.5 ผลของความเร็วและระยะเวลาในการบดเปียกที่มีต่อค่าสีของเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอ

สิ่งทดลอง	ค่าสี		
	L^*	a^*	b^*
ความเร็วและระยะเวลา			
ระดับต่ำ นาน 1 นาที	$97.02^{ab} \pm 0.17$	$-0.24^{ab} \pm 0.08$	$2.48^{de} \pm 0.41$
ระดับต่ำ นาน 3 นาที	$97.03^{ab} \pm 0.19$	$-0.09^{cd} \pm 0.05$	$2.21^{bc} \pm 0.27$
ระดับต่ำ นาน 5 นาที	$97.03^{ab} \pm 0.44$	$-0.07^{d} \pm 0.03$	$2.09^{ab} \pm 0.18$
ระดับกลาง นาน 1 นาที	$96.94^{a} \pm 0.30$	$-0.28^{a} \pm 0.07$	$2.70^{e} \pm 0.26$
ระดับกลาง นาน 3 นาที	$97.07^{ab} \pm 0.18$	$-0.09^{cd} \pm 0.17$	$2.36^{cd} \pm 0.32$
ระดับกลาง นาน 5 นาที	$97.23^{b} \pm 0.26$	$-0.10^{cd} \pm 0.07$	$2.02^{ab} \pm 0.20$
ระดับสูง นาน 1 นาที	$97.29^{bc} \pm 0.19$	$-0.17^{bc} \pm 0.08$	$1.96^{ab} \pm 0.25$
ระดับสูง นาน 3 นาที	$97.50^{c} \pm 0.31$	$-0.17^{bc} \pm 0.10$	$1.94^{ab} \pm 0.15$
ระดับสูง นาน 5 นาที	$97.04^{ab} \pm 0.17$	$-0.12^{cd} \pm 0.08$	$1.90^{a} \pm 0.23$
ความเร็ว			
ระดับต่ำ	$97.03^{a} \pm 0.28$	$-0.13^{ns} \pm 0.09$	$2.26^{b} \pm 0.33$
ระดับกลาง	$97.08^{a} \pm 0.27$	$-0.16^{ns} \pm 0.14$	$2.36^{b} \pm 0.38$
ระดับสูง	$97.28^{b} \pm 0.29$	$-0.15^{ns} \pm 0.09$	$1.93^{a} \pm 0.21$
ระยะเวลา			
1 นาที	$97.08^{ns} \pm 0.27$	$-0.23^{a} \pm 0.12$	$2.38^{b} \pm 0.41$
3 นาที	$97.20^{ns} \pm 0.31$	$-0.12^{b} \pm 0.09$	$2.17^{a} \pm 0.33$
5 นาที	$97.10^{ns} \pm 0.32$	$-0.10^{b} \pm 0.06$	$2.00^{a} \pm 0.22$

หมายเหตุ : - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลที่แตกต่างกันในแต่แนวตั้ง แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ง) ค่าปริมาณผลผลิตที่ได้

ผลของความเร็วรอบและระยะเวลาในการบดเปียกที่มีต่อปริมาณเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอที่ผลิตได้ แสดงดังตารางที่ 4.6 พบว่า ความเร็วและระยะเวลาในการบดเปียก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไม่มีผลต่อปริมาณผลผลิตที่ได้ ($p>0.05$) โดยปริมาณผลผลิตที่ได้มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่างร้อยละ 10.62-11.09 ซึ่งค่าที่ได้มากกว่าปริมาณผลผลิตที่ได้จากกากส้มเขียวหวาน กากส้มสายน้ำผึ้ง กากส้มสีทอง และเปลือกในส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 7.53, 7.73, 8.51 และ 9.99 ตามลำดับ (อภิรักษ์, 2549) ทั้งนี้อาจเนื่องจากสายพันธุ์ของส้มโอที่ใช้เป็นคนละสายพันธุ์กัน จึงส่งผลต่อปริมาณผลผลิตเส้นใยอาหารผงที่ผลิตได้

ตารางที่ 4.6 ผลของความเร็วและระยะเวลาในการบดเปียกที่มีต่อปริมาณเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอที่ผลิตได้

สิ่งทดลอง	ปริมาณผลผลิตที่ได้ ^{ns} (ร้อยละ)
ความเร็วและระยะเวลา	
ระดับต่ำ นาน 1 นาที	10.71 ± 0.37
ระดับต่ำ นาน 3 นาที	10.66 ± 0.91
ระดับต่ำ นาน 5 นาที	10.62 ± 0.93
ระดับกลาง นาน 1 นาที	11.09 ± 0.84
ระดับกลาง นาน 3 นาที	10.97 ± 0.78
ระดับกลาง นาน 5 นาที	11.08 ± 0.28
ระดับสูง นาน 1 นาที	11.04 ± 0.63
ระดับสูง นาน 3 นาที	10.84 ± 0.76
ระดับสูง นาน 5 นาที	10.92 ± 0.38
ความเร็ว	
ระดับต่ำ	10.66 ± 0.68
ระดับกลาง	11.05 ± 0.59
ระดับสูง	10.93 ± 0.54
ระยะเวลา	
1 นาที	10.95 ± 0.59
3 นาที	10.82 ± 0.72
5 นาที	10.88 ± 0.56

หมายเหตุ : - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จ) ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ

ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity, WHC) หมายถึง ปริมาณน้ำที่คงเหลืออยู่ภายในเส้นใยอาหารภายใต้อุณหภูมิ ระยะเวลาในการแช่ และเวลาและความเร็วในการปั่นเหวี่ยงที่กำหนด (Elleuch *et al*., 2011) จากตารางที่ 4.7 พบว่า ความเร็วและระยะเวลาในการ บดเปียกมีอิทธิพลร่วมต่อความสามารถในการอุ้มน้ำไปในทิศทางเดียวกัน โดยการเพิ่มความเร็วและระยะเวลาจะทำให้ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอ มีแนวโน้มลดลง ที่ความเร็วระดับกลาง นาน 1 นาที ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมีค่าสูงสุด คือ 15.69 กรัมน้ำต่อกรัมตัวอย่างแห้ง ($p \leq 0.05$) รองลงมา คือ ความเร็วระดับกลาง นาน 3 นาที และความเร็วระดับต่ำ นาน 3 และ1 นาที ซึ่งมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 15.28, 15.19 และ 15.09 กรัมน้ำต่อกรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ ส่วนความเร็วระดับสูง นาน 5 นาที ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมีค่าต่ำสุด คือ 13.65 กรัมน้ำต่อกรัมตัวอย่างแห้ง ($p \leq 0.05$) เนื่องจากความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารขึ้นอยู่กับ แหล่งของเส้นใยอาหาร กระบวนการผลิตเส้นใยอาหาร ขนาดอนุภาค และอัตราส่วนระหว่างเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำและที่ละลายน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (พัชราภรณ์, 2550; Grigelmo-Miguel and Martin-Belloso, 1999a; Figuerola *et al*., 2005) เส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอที่ผ่านการบดเปียกด้วยความเร็วสูงเป็นเวลานาน ทำให้มีอนุภาคมีขนาดเล็ก จึงสูญเสียองค์ประกอบของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำในขั้นตอนการล้างได้มากกว่า ส่งผลให้เส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอมีความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง นอกจากนี้ในขั้นตอนการบดอาจส่งผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารผง โดยทำให้มีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาค (Elleuch *et al*., 2011) ซึ่งการบดจะทำให้เส้นใยอาหารผงมีขนาดอนุภาคเล็กลง มีพื้นที่ผิวและปริมาณรูพรุนเพิ่มขึ้น ทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้น แต่ถ้าขนาดอนุภาคเล็กเกินไป อาจเกิดความเสียหายกับโครงสร้างที่เป็น matrix ทำให้เกิดการยุบตัวของรูพรุน ส่งผลให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Cadden (1987) ที่พบว่า การลดขนาดอนุภาคมีผลต่อโครงสร้างทางกายภาพของเส้นใยอาหารแต่ละชนิดแตกต่างกัน โดยการลดขนาดอนุภาคของรำข้าวสาลี ทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง แต่การลดขนาดอนุภาคของ ข้าวโอ๊ต และmicrocrystalline cellulose ซึ่งไม่มีโครงสร้างเป็น matrix ทำให้มีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น จึงมีความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับ Raghavendra *et al*., (2006) ซึ่งพบว่าการลดขนาดอนุภาคของเส้นใยอาหารจากมะพร้าวจาก 1,127 ไมโครเมตร เป็น 550 ไมโครเมตร จะทำให้สมบัติในการจับกับน้ำเพิ่มขึ้น แต่ถ้าลดขนาดอนุภาคให้เล็กลงกว่านี้ จะทำให้สมบัติในการจับกับน้ำลดลง จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่า เส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอมีค่าความสามารถ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในการอุ้มน้ำสูงกว่าเส้นใยอาหารจากแหล่งต่างๆ เช่น เปลือกมะม่วง พีช แอปเปิล แกนสับปะรด เปลือกส้มเขียวหวาน ข้าวโอ๊ต ถั่วเหลือง มะพร้าว กากส้มเขียวหวาน แครอท และข้าวโพด เป็นต้น (ตารางที่ 4.8) ดังนั้นเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอ จึงมีความเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารที่เป็นอิมัลชั่น (emulsion) เพื่อลดการแยกตัวของน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ (Elleuch *et al*., 2011) และช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสให้กับผลิตภัณฑ์อาหาร โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์อาหารที่ต้องการความชุ่มชื้น เช่น ผลิตภัณฑ์ไอศกรีม ผลิตภัณฑ์แยม เป็นต้น (นพรัตน์ และสุทธินีย์, 2551; Grigelmo-Miguel and Martin-Belloso, 2000)

ฉ) ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมัน

ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (oil holding capacity, OHC) หมายถึง ปริมาณน้ำมันที่คงเหลืออยู่ในเส้นใยอาหารหลังผ่านการผสม (mixing) การบ่ม (incubation) ด้วยน้ำมัน และนำไปปั่นเหวี่ยง (centrifugation) (Elleuch *et al*., 2011) จากตารางที่ 4.7 พบว่า ความเร็วและระยะเวลาในการบดเปียกมีอิทธิพลร่วมต่อความสามารถในการอุ้มน้ำมันไปในทิศทางเดียวกัน โดยการเพิ่มความเร็วและระยะเวลา จะทำให้ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมันของเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ที่ความเร็วระดับสูง นาน 5 นาที ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมันมีค่าสูงสุด คือ 2.51 กรัมน้ำมันต่อกรัมตัวอย่างแห้ง ($p \leq 0.05$) ส่วนความเร็วระดับต่ำ นาน 1 นาที ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมันมีค่าต่ำสุด คือ 2.09 กรัมน้ำมันต่อกรัมตัวอย่างแห้ง ($p \leq 0.05$) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการบดเปียกและบดแห้งเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอ ทำให้เส้นใยอาหารผงมีขนาดอนุภาคเล็กลง มีพื้นที่ผิวและปริมาณรูพรุนเพิ่มขึ้น ทั้งยังเกิดการจัดเรียงตัวที่ดีของอนุภาคของเส้นใยอาหาร จึงส่งผลให้ความสามารถในการอุ้มน้ำมันของเส้นใยอาหารเพิ่มขึ้น (พัชราภรณ์, 2550; Larrauri, 1999; Raghavendra *et al*., 2006) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Raghavendra *et al*. (2006) ที่พบว่า การลดขนาดอนุภาคของเส้นใยอาหารจากมะพร้าวจาก 1,127 ไมโครเมตร เป็น 390 ไมโครเมตร จะทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำมันเพิ่มขึ้น จากการศึกษาในครั้งนี้ พบว่า เส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมันสูงกว่าเส้นใยอาหารจากแหล่งอื่นๆ เช่น แอปเปิล พีช แครอท มะม่วง เปลือกส้มเขียวหวาน กากส้มเขียวหวาน กากส้มสายน้ำผึ้ง กากส้มสีทอง เปลือกในส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง เป็นต้น (ตารางที่ 4.9) ดังนั้นเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอ จึงมีความเหมาะสมสำหรับนำไปใช้เป็นส่วนผสมเพื่อเพิ่มความคงตัว (stabilization) ในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันสูง (Elleuch *et al*., 2011) และผลิตภัณฑ์อาหารที่เป็นอิมัลชั่น เช่น ผลิตภัณฑ์นม ผลิตภัณฑ์ขนมอบ และผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอิมัลชั่น เป็นต้น (นพรัตน์ และสุทธินีย์, 2551; ปิยะรัชช์ และคณะ, 2553; Garcia *et al*.,2002; Fernández-Ginés *et al*., 2004)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.7 ผลของความเร็วและระยะเวลาในการบดเปียกที่มีต่อค่าความสามารถในการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมันของเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอ

สิ่งทดลอง	ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (กรัมน้ำต่อกรัมตัวอย่างแห้ง)	ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (กรัมน้ำมันต่อกรัมตัวอย่างแห้ง)
ความเร็วและระยะเวลา		
ระดับต่ำ นาน 1 นาที	$15.09^{d} \pm 0.19$	$2.09^{a} \pm 0.06$
ระดับต่ำ นาน 3 นาที	$15.19^{d} \pm 0.15$	$2.21^{b} \pm 0.12$
ระดับต่ำ นาน 5 นาที	$14.37^{bc} \pm 0.32$	$2.32^{c} \pm 0.04$
ระดับกลาง นาน 1 นาที	$15.69^{e} \pm 0.35$	$2.34^{cd} \pm 0.06$
ระดับกลาง นาน 3 นาที	$15.28^{d} \pm 0.25$	$2.36^{cd} \pm 0.07$
ระดับกลาง นาน 5 นาที	$14.06^{b} \pm 0.05$	$2.42^{d} \pm 0.08$
ระดับสูง นาน 1 นาที	$14.53^{c} \pm 0.34$	$2.38^{cd} \pm 0.05$
ระดับสูง นาน 3 นาที	$14.34^{bc} \pm 0.31$	$2.39^{cd} \pm 0.08$
ระดับสูง นาน 5 นาที	$13.65^{a} \pm 0.21$	$2.51^{e} \pm 0.08$
ความเร็ว		
ระดับต่ำ	$14.88^{b} \pm 0.44$	$2.20^{a} \pm 0.12$
ระดับกลาง	$15.01^{b} \pm 0.75$	$2.37^{b} \pm 0.08$
ระดับสูง	$14.17^{a} \pm 0.48$	$2.43^{c} \pm 0.09$
ระยะเวลา		
1 นาที	$15.10^{b} \pm 0.56$	$2.27^{a} \pm 0.14$
3 นาที	$14.94^{b} \pm 0.50$	$2.32^{b} \pm 0.12$
5 นาที	$14.03^{a} \pm 0.37$	$2.42^{c} \pm 0.11$

หมายเหตุ : - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลที่แตกต่างกันในแต่ละแนวตั้ง แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.8 ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารผงจากแหล่งต่างๆ

วัตถุดิบที่ใช้ผลิตเส้นใยอาหารผง	ความสามารถในการอุ้มน้ำ (กรัมน้ำต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)	แหล่งอ้างอิง
เปลือกมะม่วง	11.40	Larrauri *et al*. (1996)
พีช	3.50	Thebaudin *et al*. (1997)
แกนสับปะรด	12.16	Prakongpan *et al*. (2002)
เปลือกส้มเขียวหวาน	11.96	นิธิมา (2546)
ข้าวโอ๊ต	1.28	ดัดแปลงจาก สิขรินทร์ และปราณี (2546)
ถั่วเหลือง	2.17	ดัดแปลงจาก สิขรินทร์ และปราณี (2546)
มะพร้าว	7.11	Raghavendra *et al*. (2006)
แอปเปิล	6.12	Rosell *et al*. (2009)
กากส้มเขียวหวาน	13.36	อภิรักษ์ (2549)
แครอท	13.46	นพรัตน์ และสุทธินีย์ (2551)
ข้าวโพด	4.28	นพรัตน์ และสุทธินีย์ (2551)

ตารางที่ 4.9 ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมันของเส้นใยอาหารผงจากแหล่งต่างๆ

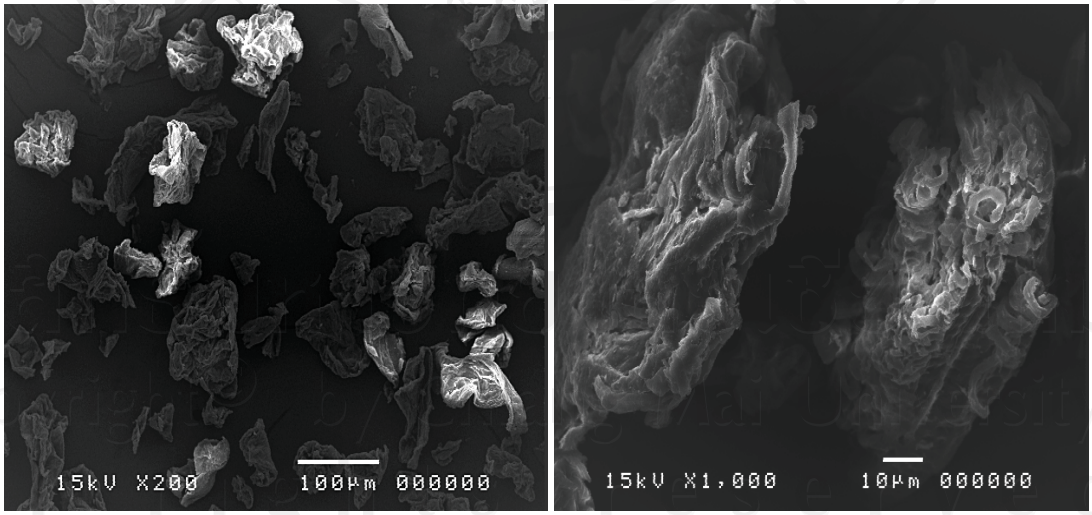
วัตถุดิบที่ใช้ผลิตเส้นใยอาหารผง	ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (กรัมน้ำมันต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)	แหล่งอ้างอิง
แอปเปิล	1.30	Thebaudin *et al*. (1997)
พีช	1.09	Grigelmo-Miguel and Martin-Belloso (1999a)
แครอท	1.92	Chau *et al*. (2007)
มะม่วง	1.00	Vergara-Valencia *et al*. (2007)
เปลือกส้มเขียวหวาน	1.67	นิธิมา (2546)
กากส้มเขียวหวาน	2.01	อภิรักษ์ (2549)
กากส้มสายน้ำผึ้ง	1.77	อภิรักษ์ (2549)
กากส้มสีทอง	1.80	อภิรักษ์ (2549)
เปลือกในส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง	2.02	อภิรักษ์ (2549)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

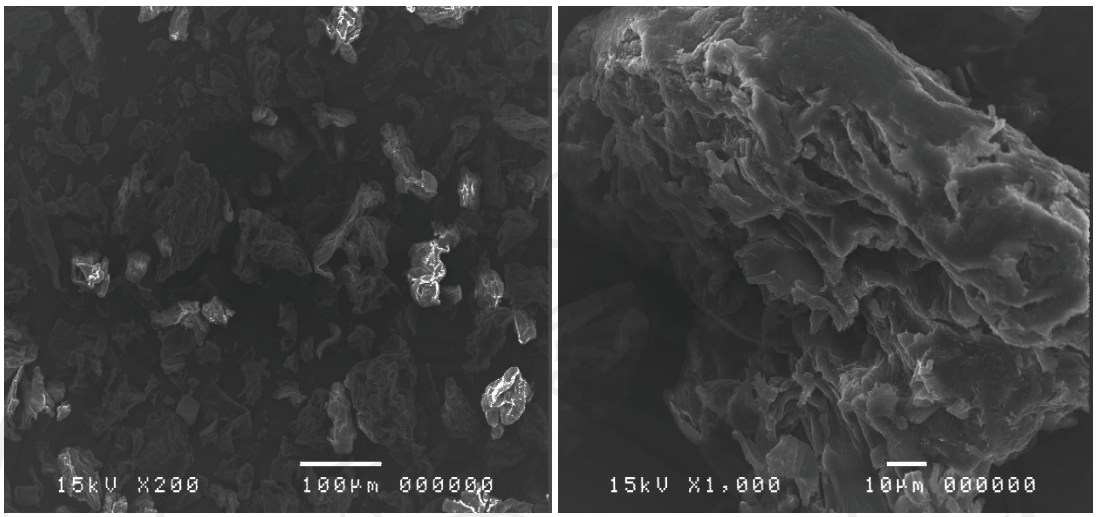
ช) ลักษณะโครงสร้างระดับจุลภาค

นำเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอมาศึกษาลักษณะโครงสร้างระดับจุลภาคด้วยเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM) เพื่อตรวจลักษณะอนุภาคและพื้นผิว ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.3-4.11

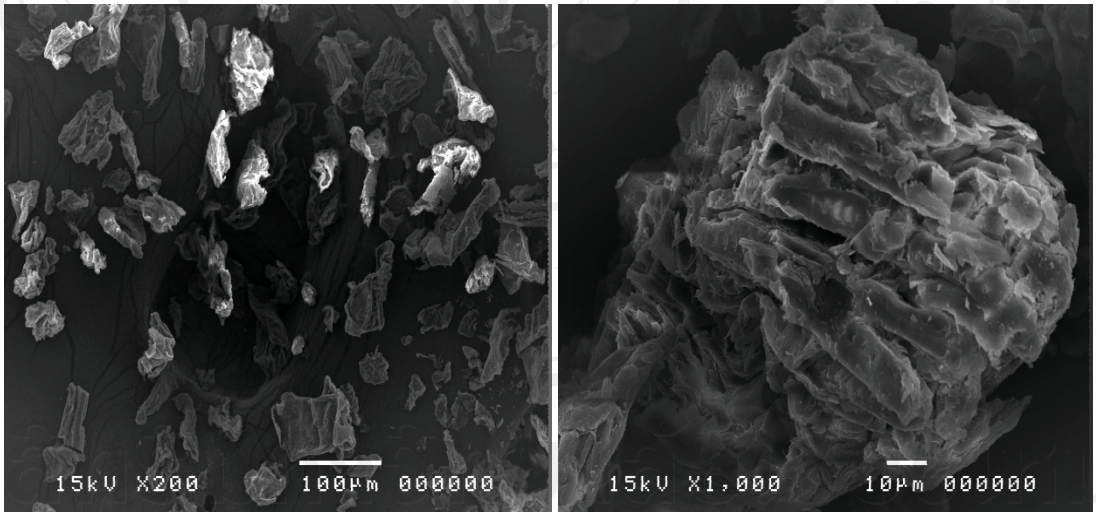
จากรูปถ่ายเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอที่ผ่านการบดเปียกด้วยความเร็วและระยะเวลาต่างกัน พบว่า เส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอที่ผลิตได้ ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นก้อน (lump) และเป็นแผ่น (sheet) โดยมีขนาดไม่สม่ำเสมอ เมื่อขยายขนาดของรูปเป็น 1,000 เท่า (รูปที่ 4.3-4.11 ด้านขวา) ทำให้เห็นโครงสร้างของเส้นใยอาหารผงชัดเจนขึ้น โดยพบว่า เส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอมีพื้นผิวขรุขระ และมีโครงสร้างเป็นรูพรุน ซึ่งการที่เส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอมีโครงสร้างเป็นรูพรุน อาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมันสูงกว่าเมื่อเทียบกับเส้นใยอาหารจากแหล่งอื่นๆ เมื่อพิจารณาผลของความเร็วและระยะเวลาในการบดเปียกที่มีต่อลักษณะโครงสร้างของเส้นใยอาหารผง พบว่า การเพิ่มความเร็วและระยะเวลาในการบดเปียก จะทำให้เส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอมีขนาดอนุภาคเล็กลง (รูปที่ 4.3-4.11 ด้านซ้าย)



รูปที่ 4.3 เส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอที่บดเปียกด้วยความเร็วระดับต่ำ นาน 1 นาที (รูปซ้าย) กำลังขยาย 200 เท่า; (รูปขวา) กำลังขยาย 1,000 เท่า

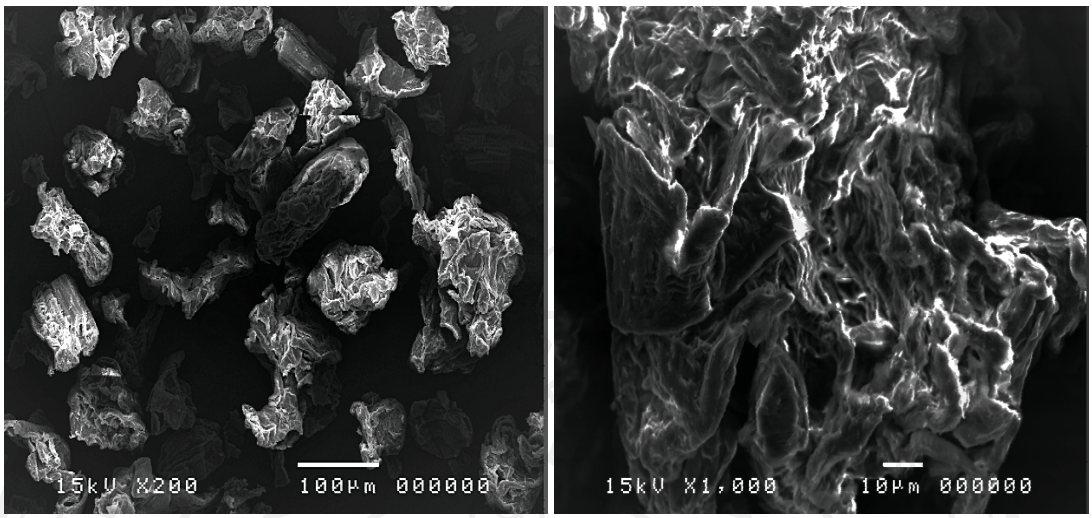


รูปที่ 4.4 เส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอที่บดเปียกด้วยความเร็วระดับต่ำ นาน 3 นาที (รูปซ้าย) กำลังขยาย 200 เท่า; (รูปขวา) กำลังขยาย 1,000 เท่า

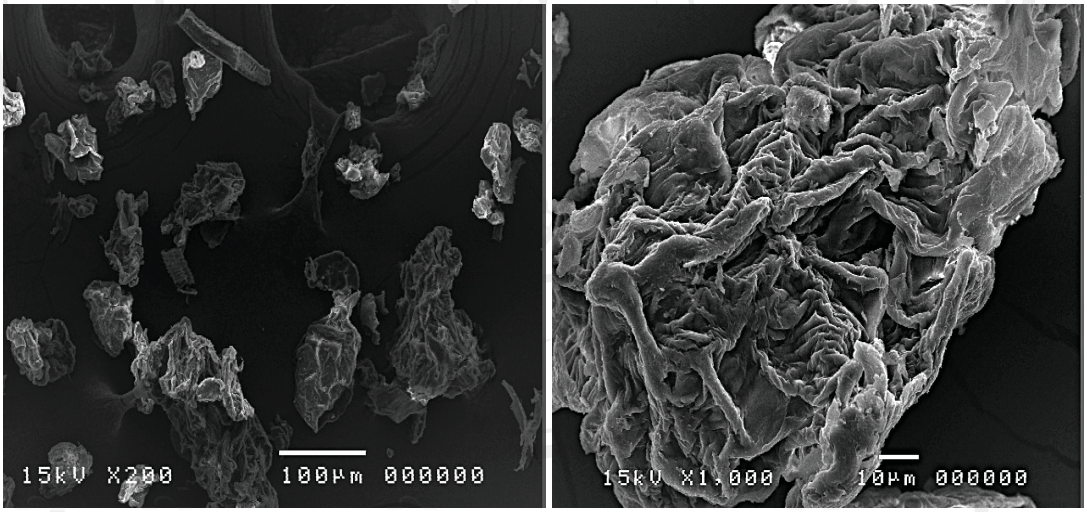


รูปที่ 4.5 เส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอที่บดเปียกด้วยความเร็วระดับต่ำ นาน 5 นาที (รูปซ้าย) กำลังขยาย 200 เท่า; (รูปขวา) กำลังขยาย 1,000 เท่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

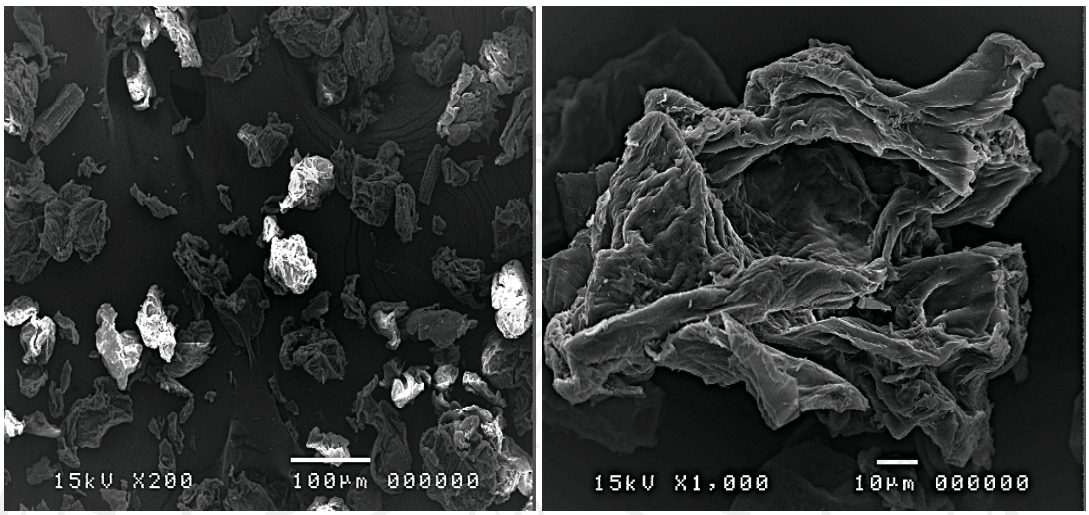


รูปที่ 4.6 เส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอที่บดเปียกด้วยความเร็วระดับกลาง นาน 1 นาที (รูปซ้าย) กำลังขยาย 200 เท่า; (รูปขวา) กำลังขยาย 1,000 เท่า

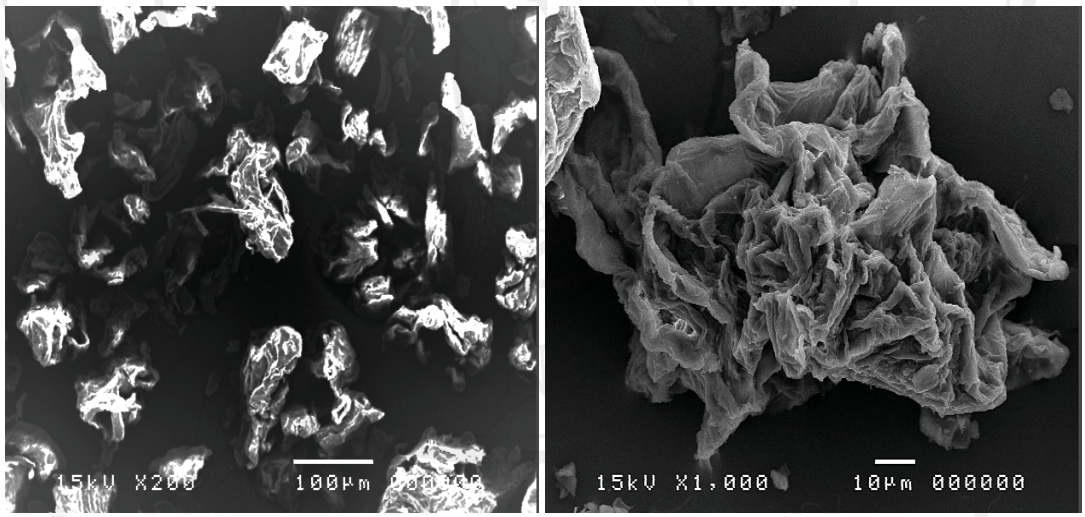


รูปที่ 4.7 เส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอที่บดเปียกด้วยความเร็วระดับกลาง นาน 3 นาที (รูปซ้าย) กำลังขยาย 200 เท่า; (รูปขวา) กำลังขยาย 1,000 เท่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

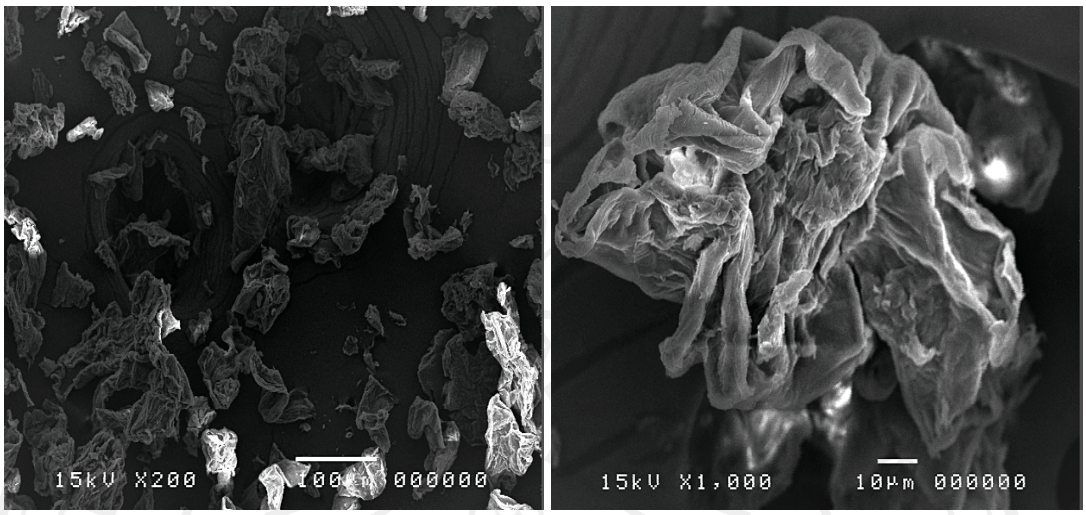


รูปที่ 4.8 เส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอที่บดเปียกด้วยความเร็วระดับกลาง นาน 5 นาที (รูปซ้าย) กำลังขยาย 200 เท่า; (รูปขวา) กำลังขยาย 1,000 เท่า

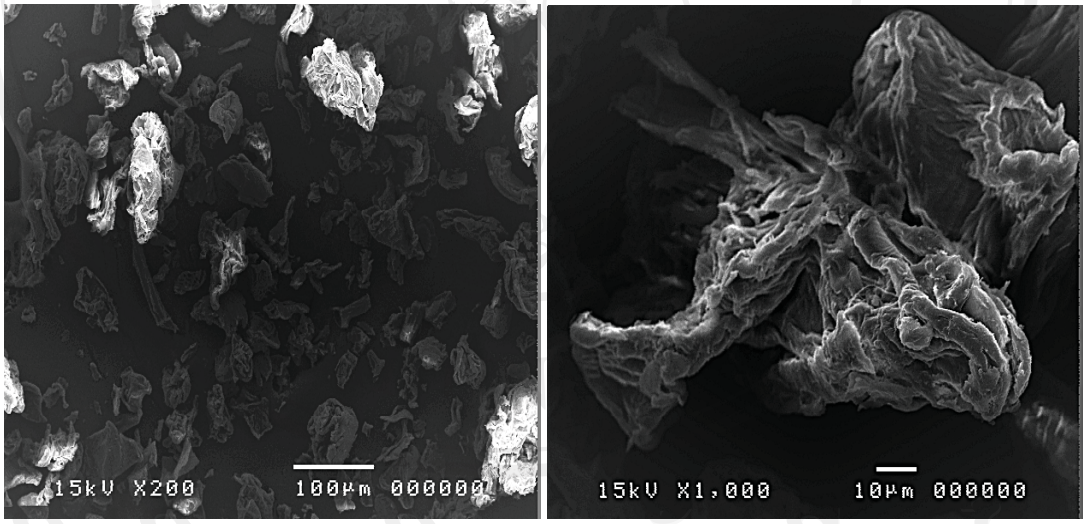


รูปที่ 4.9 เส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอที่บดเปียกด้วยความเร็วระดับสูง นาน 1 นาที (รูปซ้าย) กำลังขยาย 200 เท่า; (รูปขวา) กำลังขยาย 1,000 เท่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.10 เส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอที่บดเปียกด้วยความเร็วระดับสูง นาน 3 นาที (รูปซ้าย) กำลังขยาย 200 เท่า; (รูปขวา) กำลังขยาย 1,000 เท่า



รูปที่ 4.11 เส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอที่บดเปียกด้วยความเร็วระดับสูง นาน 5 นาที (รูปซ้าย) กำลังขยาย 200 เท่า; (รูปขวา) กำลังขยาย 1,000 เท่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.2 สมบัติทางเคมีของเส้นใยอาหารผง

ก) ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้

ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (water activity, a_w) เป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อคุณภาพและการเน่าเสียของผลิตภัณฑ์อาหาร เพราะค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ และปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์อาหาร จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาทางเคมีหรือมีการเจริญของจุลินทรีย์เกิดขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารเน่าเสีย (นิธิยา, 2549) จากตารางที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอมีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้เฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.185-0.214 การที่มีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ต่ำจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารให้นานขึ้น เนื่องจากสามารถลดหรือยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาเคมีและการเจริญของจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ทุกชนิดจะหยุดการเจริญเมื่อผลิตภัณฑ์อาหารมีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้เท่ากับหรือต่ำกว่า 0.6 (นิธิยา, 2549)

ข) ปริมาณความชื้น

ผลของความเร็วและระยะเวลาในการบดเปียกที่มีต่อปริมาณความชื้นของเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอ แสดงดังตารางที่ 4.11 พบว่า ความเร็วและระยะเวลาในการบดเปียกไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นของเส้นใยอาหารผงที่ได้ ($p>0.05$) โดยปริมาณความชื้นมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่างร้อยละ 7.61-8.26 ซึ่งค่าที่ได้มากกว่าปริมาณความชื้นของเส้นใยอาหารผงจากกากส้มเขียวหวาน กากส้มสายน้ำผึ้ง กากส้มสีทอง และเปลือกในส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 5.20, 5.22, 5.67 และ 5.63 ตามลำดับ (อภิรักษ์, 2549) อย่างไรก็ตามปริมาณความชื้นของเส้นใยอาหารผงจากการศึกษาครั้งนี้ยังอยู่ในเกณฑ์ปริมาณความชื้นของเส้นใยอาหารผงที่ผลิตในทางการค้า คือ ปริมาณความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 9 (Larrauri, 1999) ซึ่งน่าจะมีส่วนช่วยลดการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์และทำให้เส้นใยอาหารผงที่ผลิตได้มีอายุการเก็บรักษานานขึ้น

ค) ค่าความเป็นกรด-ด่าง

ผลของความเร็วและระยะเวลาในการบดเปียกที่มีต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอ แสดงดังตารางที่ 4.11 พบว่า ความเร็วและระยะเวลาในการบดเปียกไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของเส้นใยอาหารผงที่ได้ ($p>0.05$) โดยค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 5.08-5.10 แสดงว่า เส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอมีค่าค่อนมาทางกรด ดังนั้นการนำเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร จึงอาจส่งผลกระทบต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์อาหารที่เสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอลงไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

อย่างไรก็ตามค่าความเป็นกรด-ด่างของเส้นใยอาหารผง จากการศึกษาในครั้งนี้มีค่าสูงกว่าเส้นใยอาหารผงจากกากส้มเขียวหวาน และเปลือกในส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 4.85 และ 5.07 ตามลำดับ แต่มีค่าต่ำกว่าเส้นใยอาหารผงจากกากส้มสายน้ำผึ้ง และกากส้มสีทอง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 5.41 และ 5.34 ตามลำดับ (อภิรักษ์, 2549)

ตารางที่ 4.10 ผลของความเร็วและระยะเวลาในการบดเปียกที่มีต่อค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอ

สิ่งทดลอง	ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้
ความเร็วและระยะเวลา	
ระดับต่ำ นาน 1 นาที	$0.207^{bc} \pm 0.007$
ระดับต่ำ นาน 3 นาที	$0.178^{a} \pm 0.017$
ระดับต่ำ นาน 5 นาที	$0.185^{a} \pm 0.014$
ระดับกลาง นาน 1 นาที	$0.197^{b} \pm 0.010$
ระดับกลาง นาน 3 นาที	$0.185^{a} \pm 0.008$
ระดับกลาง นาน 5 นาที	$0.214^{c} \pm 0.021$
ระดับสูง นาน 1 นาที	$0.207^{bc} \pm 0.003$
ระดับสูง นาน 3 นาที	$0.208^{bc} \pm 0.014$
ระดับสูง นาน 5 นาที	$0.204^{bc} \pm 0.004$
ความเร็ว	
ระดับต่ำ	$0.190^{a} \pm 0.02$
ระดับกลาง	$0.199^{b} \pm 0.02$
ระดับสูง	$0.206^{c} \pm 0.01$
ระยะเวลา	
1 นาที	$0.204^{b} \pm 0.01$
3 นาที	$0.190^{a} \pm 0.02$
5 นาที	$0.201^{b} \pm 0.02$

หมายเหตุ : - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลที่แตกต่างกันในแต่ละแนวตั้ง แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.11 ผลของความเร็วและระยะเวลาในการบดเปียกที่มีต่อปริมาณความชื้นและความเป็นกรด-ด่างของเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอ

สิ่งทดลอง	ปริมาณความชื้น ^{ns} (ร้อยละ)	ค่าความเป็นกรด-ด่าง ^{ns}
ความเร็วและระยะเวลา		
ระดับต่ำ นาน 1 นาที	7.61 ± 0.05	5.08 ± 0.02
ระดับต่ำ นาน 3 นาที	7.73 ± 0.23	5.10 ± 0.04
ระดับต่ำ นาน 5 นาที	8.02 ± 0.21	5.11 ± 0.03
ระดับกลาง นาน 1 นาที	7.81 ± 0.03	5.10 ± 0.04
ระดับกลาง นาน 3 นาที	7.92 ± 0.05	5.08 ± 0.03
ระดับกลาง นาน 5 นาที	8.26 ± 0.14	5.08 ± 0.02
ระดับสูง นาน 1 นาที	7.84 ± 0.08	5.10 ± 0.02
ระดับสูง นาน 3 นาที	7.72 ± 0.01	5.08 ± 0.02
ระดับสูง นาน 5 นาที	8.09 ± 0.20	5.11 ± 0.02
ความเร็ว		
ระดับต่ำ	7.79 ± 0.24	5.10 ± 0.03
ระดับกลาง	8.00 ± 0.22	5.09 ± 0.03
ระดับสูง	7.88 ± 0.19	5.09 ± 0.03
ระยะเวลา		
1 นาที	7.75 ± 0.12	5.09 ± 0.03
3 นาที	7.79 ± 0.15	5.09 ± 0.03
5 นาที	8.12 ± 0.19	5.10 ± 0.03

หมายเหตุ : - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ง) ปริมาณเส้นใยอาหาร

กระบวนการเตรียมวัตถุดิบในการผลิตเส้นใยอาหารผง ประกอบด้วย การบดเปียก ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการลดขนาดวัตถุดิบ การล้างด้วยน้ำอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส การแช่ในสารละลายเอทานอล การทำแห้ง และการบดแห้ง โดยขั้นตอนเหล่านี้จะช่วยกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ต้องการ เช่น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต รงควัตถุ รวมทั้งสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กที่ละลายน้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อื่นๆ ออกจากเส้นใยอาหาร (Larrauri, 1999; ธนิกานต์, 2549) ส่งผลให้สัดส่วนของเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำและละลายน้ำสูงขึ้น จากตารางที่ 4.12 จะเห็นได้ว่า ความเร็วและระยะเวลาในการบดเปียกไม่มีอิทธิพลร่วมต่อปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำและเส้นใยอาหารทั้งหมด แต่มีอิทธิพลร่วมต่อปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ โดยระยะเวลาไม่มีผลต่อปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารทั้งหมด ($p>0.05$) ขณะที่ความเร็วในการบดเปียกมีผลต่อปริมาณเส้นใยอาหารแตกต่างกัน การเพิ่มความเร็วจะทำให้ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่การเพิ่มความเร็วจะทำให้เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่จะทำให้ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำมีแนวโน้มลดลง ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากการบดเปียกด้วยความเร็วสูง ทำให้เส้นใยอาหารผงมีขนาดอนุภาคเล็กมาก ส่งผลให้สูญเสียองค์ประกอบของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำมากขึ้น ทำให้เส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอที่ผลิตได้มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของพัชราภรณ์ (2550) ที่พบว่า การบดเปียกและล้างด้วยน้ำอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส จะทำให้เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำเสียสภาพ หรือถูกชะล้างออกไปมากกว่าปกติ จึงทำให้สูญเสียเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำมากกว่าการบดเปียก และล้างด้วยน้ำอุณหภูมิห้อง จากการศึกษาในครั้งนี้ พบว่า เส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอมีปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ อยู่ในช่วงร้อยละ 42.80-44.57 เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 33.92-35.87 และเส้นใยอาหารทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 78.08-80.03 โดยความเร็วระดับสูง นาน 5 และ 1 นาที จะทำให้ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารทั้งหมด ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) นอกจากนี้ยัง พบว่า เส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอมีปริมาณ เส้นใยอาหารทั้งหมดและเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำสูงกว่าเส้นใยอาหารจากแหล่งต่างๆ (ตารางที่ 4.13) เนื่องจากเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอมีปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำสูง จึงมีความเหมาะสมสำหรับนำไปใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีลักษณะเหลว เช่น เครื่องดื่ม น้ำสลัด ไอศกรีม เป็นต้น (ทิพยา, 2542; ธนิกานต์ ,2549; นพรัตน์ และสุทธินีย์, 2551)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.12 ผลของความเร็วและระยะเวลาในการบดเปียกที่มีต่อปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารทั้งหมดของเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอ

สิ่งทดลอง	ปริมาณเส้นใยอาหาร (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)		
	เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ	เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ	เส้นใยอาหารทั้งหมด
ความเร็วและระยะเวลา			
ระดับต่ำ นาน 1 นาที	$43.24^{abc} \pm 0.32$	$35.80^{c} \pm 0.88$	$79.04^{ab} \pm 0.66$
ระดับต่ำ นาน 3 นาที	$42.80^{a} \pm 0.36$	$35.86^{c} \pm 0.62$	$78.66^{ab} \pm 0.77$
ระดับต่ำ นาน 5 นาที	$44.04^{bcd} \pm 0.68$	$34.72^{ab} \pm 0.78$	$78.77^{ab} \pm 1.39$
ระดับกลาง นาน 1 นาที	$42.96^{ab} \pm 0.44$	$35.72^{bc} \pm 0.45$	$78.67^{ab} \pm 0.57$
ระดับกลาง นาน 3 นาที	$43.54^{abcd} \pm 0.38$	$35.87^{c} \pm 0.15$	$79.42^{ab} \pm 0.49$
ระดับกลาง นาน 5 นาที	$43.71^{abcd} \pm 0.32$	$35.32^{bc} \pm 0.18$	$79.03^{ab} \pm 0.47$
ระดับสูง นาน 1 นาที	$44.57^{d} \pm 0.40$	$35.45^{bc} \pm 0.22$	$80.02^{b} \pm 0.58$
ระดับสูง นาน 3 นาที	$44.16^{bcd} \pm 1.09$	$33.92^{a} \pm 0.47$	$78.08^{a} \pm 1.55$
ระดับสูง นาน 5 นาที	$44.27^{cd} \pm 1.09$	$35.76^{c} \pm 0.59$	$80.03^{b} \pm 1.13$
ความเร็ว			
ระดับต่ำ	$43.36^{a} \pm 0.68$	$35.46^{ab} \pm 0.87$	78.82 ± 0.88
ระดับกลาง	$43.40^{a} \pm 0.47$	$35.64^{b} \pm 0.35$	79.04 ± 0.55
ระดับสูง	$44.33^{b} \pm 0.82$	$35.04^{a} \pm 0.94$	79.38 ± 1.40
ระยะเวลา^{ns}			
1 นาที	43.59 ± 0.82	35.66 ± 0.53	79.25 ± 0.80
3 นาที	43.50 ± 0.84	35.22 ± 1.05	78.81 ± 1.07
5 นาที	44.01 ± 0.70	35.27 ± 0.67	79.28 ± 1.09

หมายเหตุ : - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลที่แตกต่างกันในแต่ละแนวตั้ง แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.13 ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารทั้งหมดของเส้นใยอาหารผงจากแหล่งต่างๆ

วัตถุดิบที่ใช้ผลิตเส้นใยอาหารผง	เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ	เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ	เส้นใยอาหารทั้งหมด	แหล่งอ้างอิง
พีช	26.10	9.70	35.8	Grigelmo-Miguel and Martin-Belloso (1999)
ลูกแพร์	22.00	14.10	36.10	Grigelmo-Miguel and Martin-Belloso (1999)
กากหลังคั้นน้ำของส้มพันธุ์วาเลนเซีย	25.50	11.30	36.90	Grigelmo-Miguel and Martin-Belloso (1999a)
กากหลังคั้นน้ำของส้มพันธุ์เนเวล	22.80	12.6	35.40	Grigelmo-Miguel and Martin-Belloso (1999a)
อ้อย	58.00	4.20	62.20	ดัดแปลงจาก สิขรินทร์ และปราณี (2546)
เกรฟฟรุ๊ตพันธุ์ Ruby	56.00	4.57	62.60	Figuerola *et al*. (2005)
เกรฟฟรุ๊ตพันธุ์ March	37.80	6.43	44.23	Figuerola *et al*. (2005)
มะนาวพันธุ์ Eureka	50.90	9.20	60.10	Figuerola *et al*. (2005)
เปลือกส้ม	27.40	21.84	49.24	Espachs-Barroso *et al*. (2005)
กล้วย	2.90	6.70	9.60	Raghavendra *et al*. (2006)
แครอท	23.75	34.40	58.15	Raghavendra *et al*. (2006)
มะพร้าว	58.71	4.53	63.24	Raghavendra *et al*. (2006)
แอปเปิ้ล	36.50	14.60	51.10	Sudha *et al*. (2007)
กากเมล็ดยี่หร่า	51.70	10.40	62.10	Sowbhagya *et al*. (2007)
กากหลังคั้นน้ำของส้มเขียวหวาน	56.27	17.06	73.34	อภิรักษ์ (2549)

หมายเหตุ : - ตัวเลขที่แสดงในตารางคิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง

4.2.3 สภาวะที่เหมาะสมในการบดเปียกเพื่อการผลิตเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอ

เมื่อศึกษาผลของความเร็วและระยะเวลาในการบดเปียกที่มีต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอ จากนั้นทำการคัดเลือกสภาวะที่ใช้ในการบดเปียกที่ให้สมบัติด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์เส้นใยอาหารผงที่ดีที่สุด เพื่อให้ได้เส้นใยอาหารผงที่มีคุณภาพดีและเหมาะสำหรับนำไปใช้เสริมในผลิตภัณฑ์อาหาร แสดงในตารางที่ 4.14

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.14 สมบัติด้านต่างๆ ของเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอระหว่างสภาวะที่ให้คุณภาพของเส้นใยอาหารผงที่ดีที่สุดกับสภาวะที่เลือกใช้ในการผลิตเส้นใยอาหารผง

สมบัติของเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอ	ปัจจัยที่ศึกษา		ค่าที่ได้	ค่าที่ได้จากการบดเปียกที่ความเร็วระดับสูงนาน 1 นาที
	ระดับความเร็ว	ระยะเวลา		
ค่าสี L^*	สูง	3 นาที	97.50	97.29
ปริมาณผลผลิตที่ได้ (ร้อยละ)	กลาง	1 นาที	11.09	11.04
ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (กรัมน้ำต่อกรัมตัวอย่างแห้ง)	กลาง	1 นาที	15.69	14.50
ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (กรัมน้ำมันต่อกรัมตัวอย่างแห้ง)	สูง	5 นาที	2.51	2.38
ค่าวอร์เตอร์แอคติวิตี้	ต่ำ	3 นาที	0.178	0.207
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ต่ำ	1 นาที	7.61	7.84
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	สูง ต่ำ	5 นาที 5 นาที	5.11 5.11	5.10
ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	สูง	1 นาที	44.57	44.57
ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	กลาง ต่ำ	3 นาที 3 นาที	35.87 35.86	35.45
ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	สูง สูง	5 นาที 1 นาที	80.03 80.02	80.02

เนื่องจากความเร็วระดับสูงในการบดเปียกให้ความถี่ของคุณภาพเส้นใยอาหารผงที่ดีที่สุดในด้านต่างๆ สูงกว่าอัตราเร็วระดับต่ำและระดับกลาง โดยมีความถี่ 6 ครั้ง รองลงมาคือ ความเร็วระดับต่ำและระดับกลาง โดยมีความถี่ 4 และ 3 ครั้ง เช่นเดียวกับระยะเวลาในการบดเปียก นาน 1 นาที ที่ให้ความถี่ของคุณภาพเส้นใยอาหารผงที่ดีที่สุดในด้านต่างๆ สูงกว่าระยะเวลานาน 3 และ 5 นาที ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการบดเปียกเปลือกในส้มโอ คือ ความเร็วระดับสูง นาน 1 นาที เนื่องจากทำให้ได้เส้นใยอาหารผงที่มีคุณภาพโดยรวมด้านต่างๆ ที่ดี (ตารางที่ 4.14) ซึ่งมีความเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการศึกษาผลของปริมาณเส้นใยอาหารผงและการโฮโมจิไนซ์ส่วนผสมไอศกรีมต่อคุณภาพของไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3 ผลของปริมาณเส้นใยอาหารผงและการโฮโมจิไนซ์ส่วนผสมไอศกรีมต่อคุณภาพของไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอ

4.3.1 ผลของปริมาณเส้นใยอาหารผงต่อคุณภาพของไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอ

4.3.1.1 สมบัติทางกายภาพ

ก) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมด

ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมด (total soluble solid, TSS) ของส่วนผสมไอศกรีม แสดงดังตารางที่ 4.15 พบว่า ส่วนผสมไอศกรีมสูตรควบคุมมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมดต่ำสุด คือ 25.37 องศาบริกซ์ เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอในส่วนผสมเป็นร้อยละ 0.5, 1.0 และ1.5 (w/w) ทำให้ส่วนผสมไอศกรีมมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมดเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 25.40, 25.51 และ 25.59 องศาบริกซ์ ตามลำดับ เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารผง จะทำให้สัดส่วนของน้ำนมดิบในส่วนผสมลดลง ส่งผลให้น้ำซึ่งเป็นตัวทำละลายในส่วนผสมไอศกรีมมีปริมาณลดลง นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารผงซึ่งมีองค์ประกอบของเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำและละลายน้ำ โดยเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำมีความสามารถในการอุ้มน้ำ ทำให้น้ำในส่วนผสมมีปริมาณลดลง ส่วนเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ ทำให้ส่วนผสมมีตัวทำละลายเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ส่วนผสมไอศกรีมมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมดเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการเสริมเส้นใยอาหารผงร้อยละ 0.5 และ 1.0 (w/w) มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมด ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่มีค่าต่ำกว่าร้อยละ 1.5 ($p\leq0.05$)

ข) ความหนืดปรากฏ

ผลการวิเคราะห์ความหนืดปรากฏ (apparent viscosity) ของส่วนผสมไอศกรีมด้วยเครื่อง Brookfield viscometer แสดงดังตารางที่ 4.15 พบว่า ปริมาณเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอที่เติมลงในส่วนผสมไอศกรีมมีผลต่อค่าความหนืดปรากฏของส่วนผสมไอศกรีม คือ เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอในส่วนผสม จะทำให้ความหนืดปรากฏของส่วนผสมไอศกรีมเพิ่มขึ้น การเสริมเส้นใยอาหารผงร้อยละ 1.5 (w/w) มีค่าความหนืดปรากฏสูงสุด คือ 215.87 เซนติพอยส์ รองลงมาคือ การเสริมเส้นใยอาหารผงร้อยละ 1.0 และ 0.5 (w/w) มีค่าความหนืด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปรากฏเท่ากับ 124.79 และ 72.08 เซนติพอยส์ ตามลำดับ ส่วนไอศกรีมนมสูตรควบคุมมีค่าความหนืดปรากฏต่ำสุด คือ 49.69 เซนติพอยส์ เนื่องจากเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอซึ่งเป็นผลไม้ตระกูลส้มมีปริมาณเพคตินสูง (Prosky and Devries, 1992) ประกอบกับเส้นใยอาหารมีสมบัติในการจับกับน้ำ (hydration properties) และเกิดเป็นเจล (gel forming) (Nelson, 2001; Sangnark and Noomhorm, 2003; Elleuch *et al*., 2011) ทั้งยังมีสมบัติในการเป็นสารเพิ่มความหนืด (thickener) (Sangnark and Noomhorm, 2003) การนำเส้นใยอาหารผงมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตไอศกรีมจะทำให้ส่วนผสมไอศกรีมมีความหนืดปรากฏเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ El-Nagar *et al*. (2002) ที่พบว่า การเติมอินูลินซึ่งมีส่วนของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำสูงในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมไข่แดงในปริมาณเพิ่มขึ้น คือ ร้อยละ 5, 7 และ 9 (w/w) ทำให้ความหนืดปรากฏของส่วนผสมไอศกรีมเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดอันตรกิริยา (interactions) ระหว่างเส้นใยอาหาร และองค์ประกอบที่เป็นน้ำของส่วนผสมไอศกรีม นอกจากนี้ Dervisoglu and Yazici (2006) พบว่า การเติมเส้นใยอาหารจากพืชตระกูลส้มในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมในปริมาณที่เพิ่มขึ้นคือ ร้อยละ 0.4 , 0.8 และ 1.2 (w/w) ทำให้ส่วนผสมไอศกรีมมีความหนืดปรากฏเพิ่มขึ้น และ Soukoulis *et al*. (2009) ศึกษาผลของการเสริมเส้นใยอาหาร 4 ชนิด คือ เส้นใยอาหารจากข้าวโอ๊ต ข้าวสาลี แอปเปิล และอินูลินในไอศกรีม พบว่าการเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารทั้ง 4 ชนิด ในส่วนผสมไอศกรีม ทำให้ค่าความหนืดปรากฏของส่วนผสมไอศกรีมเพิ่มขึ้นเช่นกัน

ตารางที่ 4.15 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมด และความหนืดปรากฏของไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอเปรียบเทียบกับไอศกรีมนมสูตรควบคุม

ปริมาณเส้นใยอาหารผง (ร้อยละ)	สมบัติทางกายภาพ	
	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมด (องศาบริกซ์)	ความหนืดปรากฏ (เซนติพอยส์)
0 (สูตรควบคุม)	$25.37^{a} \pm 0.13$	$49.69^{a} \pm 2.66$
0.5	$25.40^{ab} \pm 0.25$	$72.08^{b} \pm 3.24$
1.0	$25.51^{ab} \pm 0.20$	$124.79^{c} \pm 1.35$
1.5	$25.59^{c} \pm 0.20$	$215.87^{d} \pm 6.58$

หมายเหตุ : - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลที่แตกต่างกันในแต่ละแนวตั้ง แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ค) การขึ้นฟู

การขึ้นฟู คือ ปริมาตรของไอศกรีมที่เพิ่มขึ้นจากปริมาตรของส่วนผสมไอศกรีม ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาตรของส่วนผสมเกิดจากอากาศแทรกตัวเข้าไปในเนื้อไอศกรีมในระหว่างการตีปั่นให้แข็งตัว (สุพัฒน์, 2546) ผลการวิเคราะห์ค่าการขึ้นฟูของไอศกรีม แสดงดังตารางที่ 4.16 พบว่าไอศกรีมนมสูตรควบคุมมีค่าการขึ้นฟูสูงสุด คือ ร้อยละ 65.78 เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอในส่วนผสมไอศกรีมเป็นร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 (w/w) ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าการขึ้นฟูลดลง เนื่องจากเส้นใยอาหารผงมีส่วนทำให้ส่วนผสมไอศกรีมมีความหนืดเพิ่มขึ้น จึงทำให้การตีอากาศเข้าไปในเนื้อไอศกรีมในระหว่างการปั่นทำได้น้อยลง ส่งผลให้ไอศกรีมที่ได้ค่าการขึ้นฟูต่ำ (กุ้งนาง, 2552; หทัยทิพย์, 2552; Clarke, 2004) โดยการเสริมเส้นใยอาหารผงร้อยละ 0.5 และ1.0 (w/w) มีค่าการขึ้นฟู ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 55.41 และ 53.88 ตามลำดับ ส่วนการเสริมเส้นใยอาหารผงร้อยละ 1.5 (w/w) มีค่าการขึ้นฟูต่ำสุด คือ ร้อยละ 50.80

ง) อัตราการละลาย

อัตราการละลาย (melting rate) ของไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอเปรียบเทียบกับไอศกรีมนมสูตรควบคุม แสดงดังตารางที่ 4.16 พบว่า การเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอในส่วนผสมไอศกรีม ทำให้อัตราการละลายของไอศกรีมลดลง โดยไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงร้อยละ 1.5 (w/w) มีอัตราการละลายช้าที่สุด คือ 0.11 กรัมต่อ 100 กรัมต่อนาที รองลงมาคือ ไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงร้อยละ 1.0 และ 0.5 (w/w) มีอัตราการละลายเท่ากับ 0.26 และ0.50 กรัมต่อ 100 กรัมต่อนาที ตามลำดับ ส่วนไอศกรีมนมสูตรควบคุมมีอัตราการละลายเร็วที่สุด คือ 0.56 กรัมต่อ 100 กรัมต่อนาที เนื่องจากเส้นใยอาหารมีสมบัติในการจับกับน้ำ (Nelson, 2001; Elleuch *et al*., 2011) เมื่อเส้นใยอาหารดูดน้ำในส่วนผสม จะทำให้น้ำที่จะกลายเป็นน้ำแข็งหรือน้ำที่อยู่ในรูปของน้ำเชื่อมมีปริมาณน้อยลง ส่งผลให้การนำความร้อนของไอศกรีมเกิดขึ้นช้า (Garcia *et al*., 1995) ไอศกรีมจึงมีอัตราการละลายช้าลง นอกจากนี้อัตราการละลายยังมีความสัมพันธ์กับความหนืดปรากฏ การเพิ่มปริมาณอินูลินในส่วนผสม ทำให้ความหนืดปรากฏของส่วนผสมไอศกรีมเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราการละลายของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมไข่แดงลดลง (El-Nagar *et al*., 2002) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสุพัฒน์ (2546) ที่พบว่า เมื่อค่าความหนืดปรากฏของส่วนผสมไอศกรีมเพิ่มขึ้น จะทำให้อัตราการละลายของไอศกรีมช้าลง นอกจากอิทธิพลของความหนืดปรากฏที่มีผลต่ออัตราการละลายของไอศกรีม Sofjan and Hartel (2004) ยังพบว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ค่าการขึ้นฟูสูงจะทำให้เกิดความแตกต่างของอัตราการถ่ายเทความร้อนจากปริมาณอากาศที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากอากาศเป็นฉนวนที่ดี จึงทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนของไอศกรีมช้าลง

ตารางที่ 4.16 ค่าการขึ้นฟู อัตราการละลาย และความแน่นเนื้อของไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอเปรียบเทียบกับไอศกรีมนมสูตรควบคุม

ปริมาณเส้นใยอาหารผง (ร้อยละ)	สมบัติทางกายภาพ		
	การขึ้นฟู (ร้อยละ)	อัตราการละลาย (กรัมต่อ100 กรัมต่อนาที)	ความแน่นเนื้อ (กรัม, gram force)
0 (สูตรควบคุม)	$65.78^{c} \pm 4.66$	$0.56^{c} \pm 0.12$	$1760.12^{a} \pm 202.47$
0.5	$55.41^{b} \pm 2.00$	$0.50^{c} \pm 0.18$	$2952.47^{b} \pm 246.05$
1.0	$53.88^{ab} \pm 4.19$	$0.26^{b} \pm 0.12$	$3003.78^{b} \pm 265.45$
1.5	$50.80^{a} \pm 5.08$	$0.11^{a} \pm 0.01$	$4097.15^{c} \pm 272.60$

หมายเหตุ : - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลที่แตกต่างกันในแต่ละแนวตั้ง แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

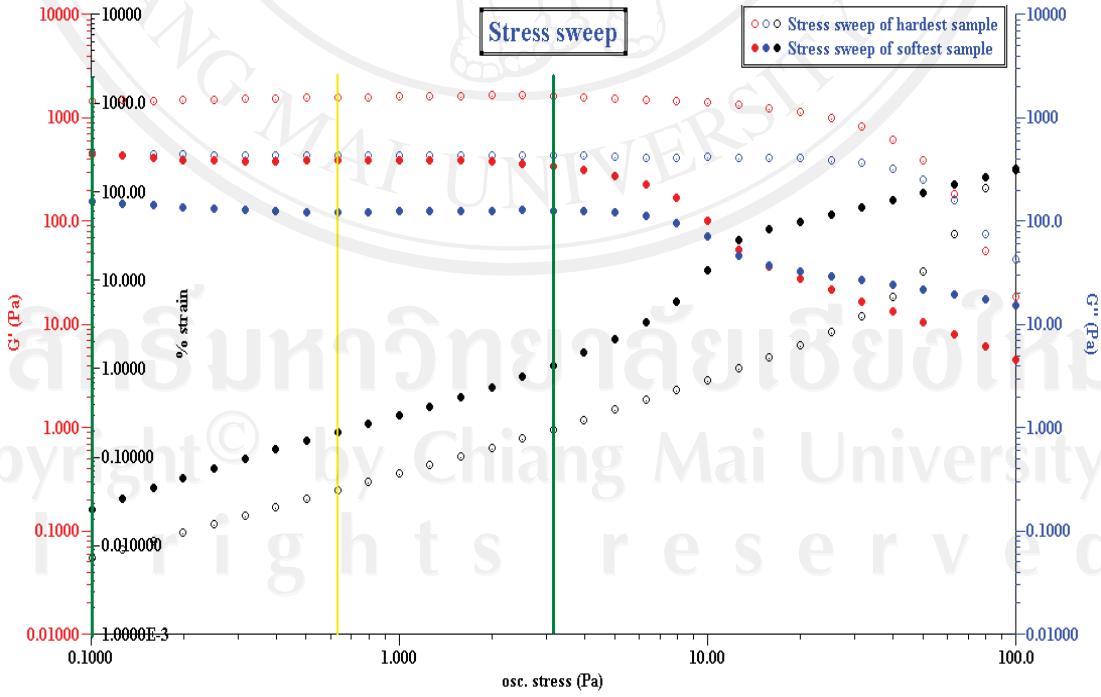
จ) เนื้อสัมผัสด้านความแน่นเนื้อ

ความแน่นเนื้อ (firmness) ของไอศกรีมมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าการขึ้นฟู คือ ไอศกรีมที่มีค่าการขึ้นฟูต่ำ จะมีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น (Clarke, 2004) ผลการวิเคราะห์ความแน่นเนื้อของไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอเปรียบเทียบกับไอศกรีมนมสูตรควบคุม แสดงดังตารางที่ 4.16 พบว่า ไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงร้อยละ 1.5 (w/w) ซึ่งมีค่าการขึ้นฟูต่ำสุด จะมีค่าความแน่นเนื้อสูงสุด คือ 4,097.15 กรัม รองลงมา คือ ไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงร้อยละ 1.0 และ 0.5 (w/w) มีค่าความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 3,003.78 และ 2,952.47 กรัม ตามลำดับ ส่วนไอศกรีมนมสูตรควบคุม ซึ่งมีค่าการขึ้นฟูสูงสุด จะมีค่าความแน่นเนื้อต่ำสุด คือ 1,760.12 กรัม ซึ่งสอดคลองกับงานวิจัยของกุ้งนาง (2552) และ Mashall and Arbuckle (1996) ที่พบว่า ตัวอย่างที่มีค่าการขึ้นฟูต่ำ จะมีความแน่นเนื้อสูง ประกอบกับเส้นใยอาหารมีสมบัติในการจับกับน้ำและเกิดเป็นเจลได้ดี (Nelson, 2001; Sangnark and Noomhorm, 2003; Elleuch *et al*., 2011) จึงต้องใช้แรงกดมากขึ้นในการทำให้เสียรูปร่างมากกว่าตัวอย่างสูตรควบคุม (หทัยทิพย์, 2552) ดังนั้นไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารจากเปลือกในส้มโอจึงมีความแน่นเนื้อสูงกว่าผลิตภัณฑ์ไอศกรีมนมสูตรควบคุม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ฉ) สมบัติทางรีโอโลยี

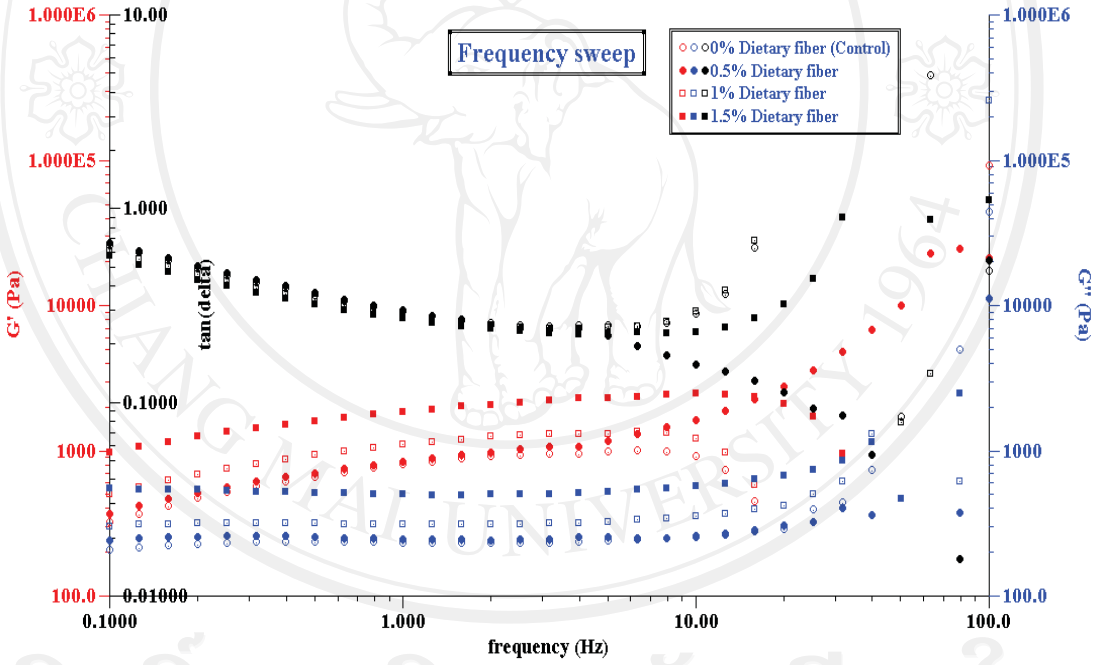
การวิเคราะห์สมบัติทางรีโอโลยีของตัวอย่างไอศกรีมในการศึกษาครั้งนี้ เริ่มจากการทดสอบหาความเค้นที่เหมาะสม ด้วยวิธี Stress sweep step ของตัวอย่างไอศกรีมที่มีความแข็งสูงสุดและต่ำสุด เพื่อใช้ในการทำนายช่วงที่ตัวอย่างไอศกรีมแสดงสมบัติวิสโคอิลาสติกเชิงเส้น (linear viscoelastic) ซึ่งแสดงค่าระหว่างค่าโมดูลัสสะสม (storage modulus หรือ G′ คือ พลังงานที่สะสมไว้เพื่อใช้ในการกลับคืนสู่สภาพเดิม และแสดงถึงพฤติกรรมคล้ายของแข็ง) ค่าโมดูลัสสูญหาย (loss modulus หรือ G″ คือ พลังงานที่สูญหายไปในระหว่างการผิดรูป และแสดงถึงพฤติกรรมคล้ายของเหลวไหลหนืด) และร้อยละการผิดรูป (% strain) โดยกำหนดให้ความถี่ (frequency) ในการทดสอบคงที่เท่ากับ 1 เฮิร์ท และแปรผันช่วงความเค้นสั่น (oscillating stress) ระหว่าง 0.1-100 ปาสคาล พบว่า ตัวอย่างไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอและไอศกรีมนมสูตรควบคุมที่มีค่าความแข็งสูงสุดและต่ำสุด จะแสดงสมบัติสโคอิลาสติกเชิงเส้นในช่วงความเค้นสั่นประมาณ 0.1-3.162 ปาสคาล (รูปที่ 4.12) จึงทำการคัดเลือกค่าความเค้นสั่นที่ 0.6323 ปาสคาล ซึ่งเป็นความเค้นสั่นที่ไม่ทำให้ตัวอย่างเสียสภาพ และมีร้อยละการผิดรูปน้อยกว่า 1 มาทำการศึกษาสมบัติทางรีโอโลยีของตัวอย่างไอศกรีมด้วยวิธี frequency sweep step ที่ความถี่ 0.1-100 เฮิร์ท ในลำดับต่อไป



รูปที่ 4.12 สมบัติวิสโคอิลาสติกเชิงเส้นของไอศกรีมนม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลการวิเคราะห์ค่าโมดูลัสสะสม ค่าโมดูลัสสูญหาย และค่า loss tangent (tan δ) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงสัดส่วนของโมดูลัสสูญหายต่อโมดูลัสสะสมของไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอเปรียบเทียบกับไอศกรีมนมสูตรควบคุม แสดงดังรูปที่ 4.13 พบว่า ไอศกรีมนมสูตรควบคุมและไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอมีค่าโมดูลัสสะสมสูงกว่าโมดูลัสสูญหาย อีกทั้งมีค่า loss tangent ต่ำกว่า 1 แสดงว่า ไอศกรีมนมสูตรควบคุมและไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอมีลักษณะเป็นของแข็งยืดหยุ่น (elastic solid) มากกว่าของเหลวไหลหนืด (viscous fluid) และจะเริ่มเสียสภาพเมื่อความถี่สูงกว่า 10 เฮิร์ซ อาจเนื่องมากจากผลึกน้ำแข็งเกิดการละลายหรือโครงสร้างอื่น เช่น ฟองอากาศ โครงสร้างของไขมัน โปรตีน หรือสารให้ความคงตัวเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือถูกทำลายจากความถี่สูงเกินไป (หทัยทิพย์, 2552)



รูปที่ 4.13 ค่าโมดูลัสสะสม (G') ค่าโมดูลัสสูญหาย (G'') และ ค่าloss tangent (tan δ) ของไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอเปรียบเทียบกับไอศกรีมนมสูตรควบคุม

จากนั้นเปรียบเทียบค่าโมดูลัสสะสม ค่าโมดูลัสสูญหาย และค่า loss tangent ที่ความถี่ 1 เฮิร์ซ์ท แสดงดังตารางที่ 4.17 พบว่า การเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอในส่วนผสมไอศกรีม ทำให้ค่าโมดูลัสสะสมและโมดูลัสสูญหายของไอศกรีมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยการเสริมเส้นใยอาหารผงร้อยละ 1.5 (w/w) มีค่าโมดูลัสสะสมสูงสุด คือ 1847.44 ปาสคาล รองลงมาคือ การเสริมเส้นใยอาหารผงร้อยละ 1.0, 0.5 (w/w) และไอศกรีมนมสูตรควบคุม ซึ่งมีค่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โมดูลัสสะสม ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 1,098.38, 827.02 และ 779.54 ปาสคาล ตามลำดับ ส่วนค่าโมดูลัสสูญหายมีแนวโน้มเป็นเช่นเดียวกับค่าโมดูลัสสะสม คือ การเสริมเส้นใยอาหารผงร้อยละ 1.5 (w/w) มีค่าโมดูลัสสูญหายสูงสุด คือ 502.10 ปาสคาล รองลงมาคือ การเสริมเส้นใยอาหารผงร้อยละ 1.0 และ 0.5 (w/w) ซึ่งมีค่าโมดูลัสสูญหายไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 322.07 และ 243.11 ปาสคาล ตามลำดับ ส่วนไอศกรีมนมสูตรควบคุมมีค่าโมดูลัสสูญหายต่ำสุด คือ 229.13 ปาสคาล แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับการเสริมเส้นใยอาหารผงร้อยละ 0.5 (w/w) แต่การเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารผงในส่วนผสมไอศกรีมทำให้ค่า loss tangent มีแนวโน้มลดลง โดยไอศกรีมนมสูตรควบคุมมีค่า loss tangent สูงสุด คือ 0.297 รองลงมาคือ ไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงร้อยละ 0.5 (w/w) มีค่า loss tangent ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับไอศกรีมนมสูตรควบคุม โดยมีค่าเท่ากับ 0.295 ไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงร้อยละ1.0 (w/w) มีค่า loss tangent เท่ากับ 0.284 และไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงร้อยละ1.5 (w/w) มีค่า loss tangent ต่ำสุด คือ 0.269

ตารางที่ 4.17 ค่าโมดูลัสสะสม ค่าโมดูลัสสูญหาย และค่า loss tangent ของไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอเปรียบเทียบกับไอศกรีมนมสูตรควบคุม

ปริมาณเส้นใยอาหารผง (ร้อยละ)	โมดูลัสสะสม (ปาสคาล)	โมดูลัสสูญหาย (ปาสคาล)	loss tangent (tan δ)
0 (สูตรควบคุม)	$779.54^{a} \pm 266.02$	$229.13^{a} \pm 73.44$	$0.297^{c} \pm 0.02$
0.5	$827.02^{a} \pm 197.36$	$243.11^{ab} \pm 55.85$	$0.295^{bc} \pm 0.01$
1.0	$1098.38^{a} \pm 213.86$	$322.07^{b} \pm 52.50$	$0.284^{b} \pm 0.01$
1.5	$1847.44^{b} \pm 524.25$	$502.10^{c} \pm 139.00$	$0.269^{a} \pm 0.01$

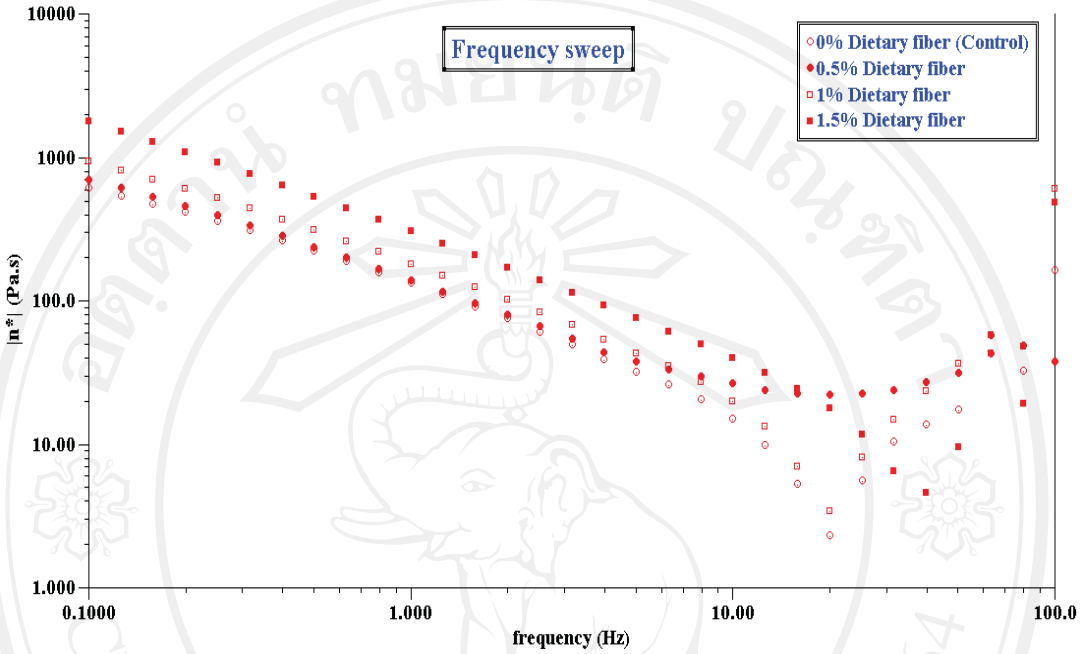
หมายเหตุ : - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลที่แตกต่างกันในแต่ละแนวตั้ง แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดเชิงซ้อน (complex viscosity, η*) แสดงดังรูปที่ 4.14 พบว่า การเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอในส่วนผสมไอศกรีม ทำให้ความหนืดเชิงซ้อนของไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงมีค่าสูงกว่าไอศกรีมนมสูตรควบคุม โดยค่าความ

หนืดเชิงซ้อนจะเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ และลดลงอย่างรวดเร็วตามความถี่ที่เพิ่มขึ้น แสดงว่า ไอศกรีมที่ได้แสดงพฤติกรรมของไหลแบบ non-Newtonian แบบ shear thinning



รูปที่ 4.14 ค่าความหนืดเชิงซ้อนของไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอเปรียบเทียบกับไอศกรีมนมสูตรควบคุม

เมื่อเปรียบเทียบค่าความหนืดเชิงซ้อนที่ความถี่ 1 เฮิร์ท แสดงดังตารางที่ 4.18 พบว่า การเสริมเส้นใยอาหารผงร้อยละ 1.5 (w/w) มีค่าความหนืดเชิงซ้อนสูงสุด คือ 310.37 ปาสคาล.วินาที รองลงมาคือ การเสริมเส้นใยอาหารผงร้อยละ 1.0 และ 0.5 (w/w) มีค่าความหนืดเชิงซ้อนเท่ากับ 181.66 และ 137.20 ปาสคาล.วินาที ตามลำดับ ส่วนไอศกรีมนมสูตรควบคุมมีค่าความหนืดเชิงซ้อนต่ำสุด คือ 129.69 ปาสคาล.วินาที ซึ่งผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดเชิงซ้อนที่ได้สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดปรากฏด้วยเครื่อง Brookfield viscometer ที่พบว่า การเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอในส่วนผสมไอศกรีม ทำให้ความหนืดปรากฏของส่วนผสมไอศกรีมเพิ่มขึ้น เนื่องจากเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอซึ่งเป็นผลไม้ตระกูลส้มมีปริมาณเพคตินสูง (Prosky and Devries, 1992) ประกอบกับเส้นใยอาหารมีสมบัติในการจับกับน้ำและเกิดเจลได้ดี (Nelson, 2001; Sangnark and Noomhorm, 2003; Elleuch *et al*., 2011) การนำมาใช้เป็นส่วนผสม จะทำให้ส่วนผสมไอศกรีมมีความหนืดเพิ่มขึ้น (Sosulski and Cadden, 1982; El-Nagar *et al*., 2002; Dervisoglu and Yazici, 2006)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.18 ค่าความหนืดเชิงซ้อนของไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอเปรียบเทียบกับไอศกรีมนมสูตรควบคุม

ปริมาณเส้นใยอาหารผง (ร้อยละ)	ความหนืดเชิงซ้อน (ปาสคาล.วินาที)
0 (สูตรควบคุม)	$129.32^{a} \pm 43.89$
0.5	$137.20^{ab} \pm 32.62$
1.0	$181.66^{b} \pm 35.10$
1.5	$310.37^{c} \pm 79.84$

หมายเหตุ : - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลที่แตกต่างกันในแต่ละแนวตั้ง แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากการวิเคราะห์สมบัติทางรีโอโลยีของไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอเปรียบเทียบกับไอศกรีมนมสูตรควบคุม จะเห็นได้ว่า ทั้งไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอและไอศกรีมนมสูตรควบคุม มีลักษณะเป็นของแข็งยืดหยุ่นมากกว่าของเหลวไหลหนืด ซึ่งการที่ไอศกรีมมีค่าโมดูลัสสะสมสูงกว่าค่าโมดูลัสสูญหาย และมีค่า loss tangent ต่ำ แสดงถึง การมีโครงสร้างที่ดีของไอศกรีม (Granger *et al*., 2005)

4.3.1.2 สมบัติทางเคมี

ก) ไขมัน

ผลการวิเคราะห์ปริมาณไขมันในไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอเปรียบเทียบกับไอศกรีมนมสูตรควบคุม แสดงดังตารางที่ 4.19 พบว่า ไอศกรีมนมสูตรควบคุมมีปริมาณไขมันสูงสุด คือ ร้อยละ 10.34 ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับการเสริมเส้นใยอาหารผงร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 (w/w) โดยมีปริมาณไขมันเท่ากับร้อยละ 9.50, 9.34 และ 9.23 ตามลำดับ

ข) โปรตีน

ผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนในไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอเปรียบเทียบกับไอศกรีมนมสูตรควบคุม แสดงดังตารางที่ 4.19 พบว่า ไอศกรีมนมสูตรควบคุมมี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณโปรตีนสูงสุด คือ ร้อยละ 1.76 รองลงมาคือ การเสริมเส้นใยอาหารผง ร้อยละ 0.5 (w/w) ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับการเสริมเส้นใยอาหารผงร้อยละ 1.0 (w/w) โดยมีปริมาณโปรตีนเท่ากับร้อยละ 1.71 และ 1.67 ตามลำดับ ส่วนการเสริมเส้นใยอาหารผงร้อยละ 1.5 (w/w) มีปริมาณโปรตีนต่ำสุด คือ ร้อยละ 1.63 ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารผงในส่วนผสม ทำให้ส่วนผสมที่เป็นแหล่งของโปรตีน คือ น้ำนมและนมผงลดลง ส่งผลให้ปริมาณโปรตีนในไอศกรีมลดลง

ค) ค่าความเป็นกรด-ด่าง

ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างของไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอ เปรียบเทียบกับไอศกรีมนมสูตรควบคุม แสดงดังตารางที่ 4.19 พบว่า ไอศกรีมนมสูตรควบคุม มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงสุด คือ 6.32 การเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารผงในส่วนผสมไอศกรีม ทำให้ไอศกรีมที่ได้มีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง เนื่องจากเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอมีค่าค่อนมาทางกรด โดยไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงร้อยละ 1.5 (w/w) มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำสุด คือ 6.17 ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับการเสริม เส้นใยอาหารผงร้อยละ 1.0 (w/w) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.18 ส่วนการเสริมอาหารผงร้อยละ0.5 (w/w) มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 6.28

ตารางที่ 4.19 สมบัติทางเคมีของไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอเปรียบเทียบกับไอศกรีมนมสูตรควบคุม

ปริมาณเส้นใยอาหารผง (ร้อยละ)	ไขมัน ^{ns} (ร้อยละ)	โปรตีน (ร้อยละ)	ค่าความเป็นกรดด่าง
0 (สูตรควบคุม)	10.34 ± 1.00	1.76^{c} ± 0.04	6.32^{c} ± 0.04
0.5	9.50 ± 1.34	1.71^{bc} ± 0.03	6.28^{b} ± 0.04
1.0	9.34 ± 0.99	1.67^{ab} ± 0.03	6.18^{a} ± 0.04
1.5	9.23 ± 0.92	1.63^{a} ± 0.01	6.17^{a} ± 0.05

หมายเหตุ : - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลที่แตกต่างกันในแต่ละแนวตั้ง แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.1.3 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอเปรียบเทียบกับไอศกรีมนมสูตรควบคุม ด้วยวิธี Hedonic scoring test 9 point โดยใช้ผู้ทดสอบชิม 25 คน และทำการทดสอบชิม 2 ครั้ง แสดงดังตารางที่ 4.20

การยอมรับด้านสีที่ปรากฏ พบว่า การเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอในส่วนผสมไอศกรีมเป็นร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 (w/w) ทำให้ไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงได้รับคะแนนการยอมรับด้านสีที่ปรากฏเท่ากับ 7.64, 7.62 และ 7.64 ตามลำดับ ซึ่งคะแนนที่ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับไอศกรีมนมสูตรควบคุมที่ได้คะแนนการยอมรับด้านสีที่ปรากฏเท่ากับ 7.66 เนื่องจากเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอมีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว ดังนั้นจึงไม่รบกวนสีของไอศกรีม นอกจากนั้นฟองอากาศยังมีผลต่อสีของไอศกรีม เนื่องจากฟองอากาศจะสะท้อนแสงได้ ดังนั้นไอศกรีมที่มีฟองอากาศมากหรือมีค่าการขึ้นฟูสูง จะมีสีสว่างกว่าไอศกรีมที่มีฟองอากาศน้อยกว่าหรือมีค่าการขึ้นฟูต่ำ (Clarke, 2004) ซึ่งอธิบายผลของคะแนนการยอมรับด้านสีที่ปรากฏของไอศกรีมนมสูตรควบคุมที่ได้รับคะแนนสูงกว่าไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงเล็กน้อย

การยอมรับด้านกลิ่นวานิลลา พบว่า การเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอในส่วนผสมไอศกรีมเป็นร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 (w/w) ทำให้ไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงได้รับคะแนนการยอมรับด้านกลิ่นวานิลาเท่ากับ 7.30, 7.24 และ 7.18 ตามลำดับ ซึ่งคะแนนที่ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับไอศกรีมนมสูตรควบคุม ที่ได้คะแนนการยอมรับด้านกลิ่นวานิลาเท่ากับ 7.30 เนื่องจากไขมันทำหน้าที่เป็นตัวพาและปลดปล่อยกลิ่นรสของไอศกรีม (จุฑาทิพย์, 2549) การที่ส่วนผสมไอศกรีมของไอศกรีมนมสูตรควบคุมมีปริมาณไขมันมากกว่า จะทำให้ระยะเวลาการรับรู้กลิ่นวานิลานานขึ้น (หทัยทิพย์, 2552) ส่งผลให้ไอศกรีมนมสูตรควบคุมได้คะแนนการยอมรับด้านกลิ่นวานิลาสูงกว่าไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอเล็กน้อย

การยอมรับด้านความเรียบเนียน พบว่า ไอศกรีมนมสูตรควบคุมได้รับคะแนนการยอมรับด้านความเรียบเนียนสูงสุด คือ 7.14 การเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอในส่วนผสมไอศกรีมเป็นร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 (w/w) ส่งผลให้คะแนนการยอมรับด้านความเรียบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เนียนลดลง ($p \leq 0.05$) โดยได้คะแนนเท่ากับ 6.48, 6.04 และ5.30 ตามลำดับ เนื่องจากเส้นใยอาหารมีสมบัติในการจับกับน้ำและเกิดเจลได้ดี (Nelson, 2001; Sangnark and Noomhorm, 2003; Elleuch *et al*., 2011) เมื่อเส้นใยอาหารดูดน้ำในส่วนผสม จะทำให้น้ำที่จะกลายเป็นน้ำแข็งหรือน้ำที่อยู่ในรูปของน้ำเชื่อมมีปริมาณน้อยลง ทำให้ไอศกรีมที่ได้มีเนื้อสัมผัสที่หยาบ (หทัยทิพย์, 2552)

การยอมรับด้านความมัน พบว่า ไอศกรีมนมสูตรควบคุมได้รับคะแนนการยอมรับด้านความมันสูงสุด คือ 7.42 การเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอในส่วนผสมไอศกรีมเป็นร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 (w/w) ส่งผลให้คะแนนการยอมรับด้านความมันลดลง ($p \leq 0.05$) แต่คะแนนที่ได้ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีคะแนนเท่ากับ 7.12, 7.10 และ 7.08 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์ไอศกรีม แสดงดังตารางที่ 4.16 พบว่าไอศกรีมนมสูตรควบคุมมีปริมาณไขมันสูงสุด คือ ร้อยละ 10.34 แสดงว่า ปริมาณไขมันในสูตรมีผลต่อการยอมรับด้านความมันของผู้ทดสอบชิม

การยอมรับด้านความเหนียวหนืด พบว่า ไอศกรีมนมสูตรควบคุม ได้คะแนนการยอมรับด้านความเหนียวหนืดเท่ากับ 6.60 การเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอในส่วนผสมไอศกรีมเป็นร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 (w/w) ส่งผลให้คะแนนการยอมรับด้านความเหนียวหนืดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่คะแนนที่ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับไอศกรีมนมสูตรควบคุม โดยมีคะแนนเท่ากับ 6.62, 6.68 และ 6.66 ตามลำดับ เนื่องจากเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอซึ่งเป็นผลไม้ตระกูลส้มมีปริมาณเพคตินสูง (Prosky and Devries, 1992) การนำมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตไอศกรีม จะทำให้ไอศกรีมที่ได้มีความหนืดเพิ่มขึ้น และมีลักษณะเหนียวคล้ายยาง (gummy)

การยอมรับด้านการรับรสขม พบว่า ไอศกรีมนมสูตรควบคุม ได้คะแนนการยอมรับด้านการรับรสขมเท่ากับ 8.18 การเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอในส่วนผสมไอศกรีมเป็นร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 (w/w) ส่งผลให้คะแนนการยอมรับด้านการรับรสขมลดลง แต่คะแนนที่ได้ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับไอศกรีมนมสูตรควบคุม โดยมีคะแนนเท่ากับ 8.06, 8.06 และ 8.04 ตามลำดับ เนื่องจากเปลือกในส้มโอมีสารให้รสขมคือ นารินจินและลิโมนินเป็นองค์ประกอบ (Pichaiyongvongdee and Haruenkit, 2009) ทำให้เส้นใยอาหารผงที่ผลิตได้มีรสขม เมื่อนำไปเสริมในผลิตภัณฑ์อาหารอาจทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค แต่เส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ผ่านการลดความขมมาแล้ว เมื่อนำมาใช้เป็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ส่วนผสมในไอศกรีม ทำให้ไอศกรีมที่ได้ไม่มีรสขม ส่งผลให้ผู้ทดสอบชิมไม่สามารถรับรสขมของเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอที่เสริมลงในไอศกรีมได้ ดังนั้นการยอมรับด้านการรับรสขมของไอศกรีมจึงมีคะแนนสูง

การยอมรับด้านการละลายในปากและการยอมรับรวมให้ผลในทิศทางเดียวกัน โดยพบว่าไอศกรีมนมสูตรควบคุม ได้คะแนนการยอมรับด้านการละลายในปากและการยอมรับรวมสูงสุด คือ 7.40 และ 7.62 ตามลำดับ ส่วนไอศกรีมเสริมเส้นใยอาหารผงร้อยละ 1.5 (w/w) ได้คะแนนการยอมรับด้านการละลายในปากและการยอมรับรวมต่ำสุด คือ 6.12 และ 6.24 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ไอศกรีมเสริมเส้นใยอาหารผงร้อยละ 1.0 และ 0.5 (w/w) ได้คะแนนการยอมรับด้านการละลายในปากและการยอมรับรวม ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีคะแนนการยอมรับด้านการละลายในปากเท่ากับ 6.68 และ 6.86 ตามลำดับ และมีคะแนนการยอมรับด้านการยอมรับรวมเท่ากับ 6.94 และ 7.08 ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอเปรียบเทียบกับไอศกรีมนมสูตรควบคุมข้างต้น แสดงให้เห็นว่า การเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอในไอศกรีมนม ส่งผลให้สมบัติทางกายภาพ เคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมเปลี่ยนแปลงไป จากการพิจารณาโดยรวม พบว่าการเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอในไอศกรีมนม ทำให้มีค่าการขึ้นฟู และอัตราการละลายต่ำ แต่มีค่าความแน่นเนื้อสูงกว่าไอศกรีมนมสูตรควบคุม โดยไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอร้อยละ1.0 (w/w) มีค่าการขึ้นฟู และความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกับร้อยละ 0.5 (w/w) ($p>0.05$) แต่มีอัตราการละลายช้ากว่า ($p\leq0.05$) โดยไอศกรีมที่ได้มีคุณภาพทางประสาทสัมผัสการยอมรับด้านสีที่ปรากฏ กลิ่นวานิลลา ความมัน ความเหนียวหนืด การละลายในปาก การรับรสขม และการยอมรับรวม ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังนั้น ปริมาณเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอที่เหมาะสมสำหรับเสริมในไอศกรีมนม คือ ร้อยละ 1.0 (w/w) ซึ่งเป็นปริมาณเส้นใยอาหารผงสูงสุดที่ผู้บริโภคยอมรับได้ จึงเลือกปริมาณเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอดังกล่าวมาศึกษาผลของการโฮโมจิไนซ์ส่วนผสมไอศกรีมต่อคุณภาพของไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.20 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอเปรียบเทียบกับไอศกรีมนมสูตรควบคุม

ปริมาณเส้นใยอาหารผง (ร้อยละ)	ลักษณะทางประสาทสัมผัส*							
	สี ns	กลิ่นวานิลลา ns	ความเรียบเนียน	ความมัน	ความเหนียวหนืด ns	การละลายในปาก	การรับรสขม ns	การยอมรับรวม
0 (สูตรควบคุม)	7.66 ± 0.49	7.30 ± 0.50	7.14^{d} ± 0.76	7.42^{b} ± 0.69	6.60 ± 0.84	7.40^{c} ± 0.66	8.18 ± 0.52	7.62^{c} ± 0.56
0.50	7.64 ± 0.55	7.30 ± 0.61	6.48^{c} ± 0.94	7.12^{a} ± 0.63	6.62 ± 0.70	6.86^{b} ± 0.60	8.06 ± 0.63	7.08^{b} ± 0.57
1.00	7.62 ± 0.44	7.24 ± 0.68	6.04^{b} ± 0.83	7.10^{a} ± 0.56	6.68 ± 0.59	6.68^{b} ± 0.66	8.06 ± 0.46	6.94^{b} ± 0.63
1.50	7.64 ± 0.47	7.18 ± 0.83	5.30^{a} ± 0.85	7.08^{a} ± 0.69	6.66 ± 0.55	6.12^{a} ± 0.74	8.04 ± 0.52	6.24^{a} ± 0.87

หมายเหตุ : - * 1 = ไม่ชอบมากที่สุด ถึง 9 = ชอบมากที่สุด

- ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลที่แตกต่างกันในแต่ละแนวตั้ง แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
- ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.2 ผลของการโฮโมจิไนซ์ส่วนผสมไอศกรีมต่อคุณภาพของไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอ

4.3.2.1 สมบัติทางกายภาพ

ก) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมด

ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมดของส่วนผสมไอศกรีมทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการโฮโมจิไนซ์ แสดงดังตารางที่ 4.21 พบว่า ส่วนผสมไอศกรีมทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการโฮโมจิไนซ์ มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมด ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 25.52 และ 25.51 องศาบริกซ์ ตามลำดับ

ข) ความหนืดปรากฏ

ผลการวิเคราะห์ความหนืดปรากฏ ของส่วนผสมไอศกรีมทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการโฮโมจิไนซ์ แสดงดังตารางที่ 4.21 พบว่า ส่วนผสมไอศกรีมที่ผ่านการโฮโมจิไนซ์ มีค่าความหนืดปรากฏสูงกว่าส่วนผสมไอศกรีมที่ไม่ผ่านการโฮโมจิไนซ์ ($p\leq0.05$) โดยมีค่าความหนืดปรากฏเท่ากับ 124.22 และ 85.92 เซนติพอยส์ ตามลำดับ

ค) การขึ้นฟู

การขึ้นฟู คือ ปริมาตรของไอศกรีมที่เพิ่มขึ้นจากปริมาตรของส่วนผสมไอศกรีม ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาตรของส่วนผสมเกิดจากอากาศแทรกตัวเข้าไปในเนื้อไอศกรีมในระหว่างการตีปั่นให้แข็งตัว (สุพัฒน์, 2546) ผลการวิเคราะห์ค่าการขึ้นฟูของส่วนผสมไอศกรีมทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการโฮโมจิไนซ์ แสดงดังตารางที่ 4.21 พบว่า ส่วนผสมไอศกรีมที่ผ่านการโฮโมจิไนซ์ มีค่าการขึ้นฟูต่ำกว่าส่วนผสมไอศกรีมที่ไม่ผ่านการโฮโมจิไนซ์ ($p\leq0.05$) โดยมีค่าการขึ้นฟูเท่ากับร้อยละ 52.45 และ 55.32 ตามลำดับ เนื่องจากการโฮโมจิไนซ์ทำให้ส่วนผสมไอศกรีมมีค่าความหนืดสูงกว่า จึงทำให้การตีอากาศเข้าไปในเนื้อไอศกรีมในระหว่างการปั่นทำได้น้อยลง ส่งผลให้ไอศกรีมที่ได้ค่าการขึ้นฟูต่ำ (กุ้งนาง, 2552; หทัยทิพย์, 2552; Clarke, 2004)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ง) อัตราการละลาย

อัตราการละลายของไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการโฮโมจิไนซ์ แสดงดังตารางที่ 4.21 พบว่า การโฮโมจิไนซ์และไม่โฮโมจิไนซ์ส่วนผสมไอศกรีม ทำให้อัตราการละลายของไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีอัตราการละลายเท่ากับ 0.17 และ 0.19 กรัมต่อ 100 กรัมต่อนาที ตามลำดับ

จ) ความแน่นเนื้อ

ความแน่นเนื้อของไอศกรีมมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าการขึ้นฟู คือ ไอศกรีมที่มีค่าการขึ้นฟูต่ำ จะทำให้ค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น (Clarke, 2004) ผลการวิเคราะห์ความแน่นเนื้อของไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการโฮโมจิไนซ์ แสดงดังตารางที่ 4.21 พบว่า ไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอที่ผ่านการโฮโมจิไนซ์มีค่าความแน่นเนื้อสูงกว่าไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอที่ไม่ผ่านการโฮโมจิไนซ์ โดยมีค่าความแน่นเนื้อเท่ากับ 2,827.38 และ 2,612.92 กรัม ตามลำดับ ซึ่งสอดคลองกับงานวิจัยของกุ้งนาง (2552) และ Marshall and Arbuckle (1996) ซึ่งพบว่า ตัวอย่างที่มีค่าการขึ้นฟูต่ำจะมีค่าความแน่นเนื้อสูง

ตารางที่ 4.21 สมบัติทางกายภาพของส่วนผสมไอศกรีมทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการโฮโมจิไนซ์

สมบัติทางกายภาพ	ขั้นตอนการผลิตไอศกรีม	
	ผ่านการโฮโมจิไนซ์	ไม่ผ่านการโฮโมจิไนซ์
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมด^{ns} (องศาบริกซ์)	25.52 ± 0.14	25.51 ± 0.15
ความหนืดปรากฏ (เซนติพอยส์)	124.22^{b} ± 1.06	85.92^{a} ± 3.99
การขึ้นฟู (ร้อยละ)	52.45^{a} ± 2.84	55.32^{b} ± 2.67
อัตราการละลาย^{ns} (กรัมต่อ100 กรัมต่อนาที)	0.17 ± 0.02	0.19 ± 0.06
ความแน่นเนื้อ (กรัม, gram force)	$2,827.38^{b}$ ± 98.12	$2,612.92^{a}$ ± 189.87

หมายเหตุ : - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

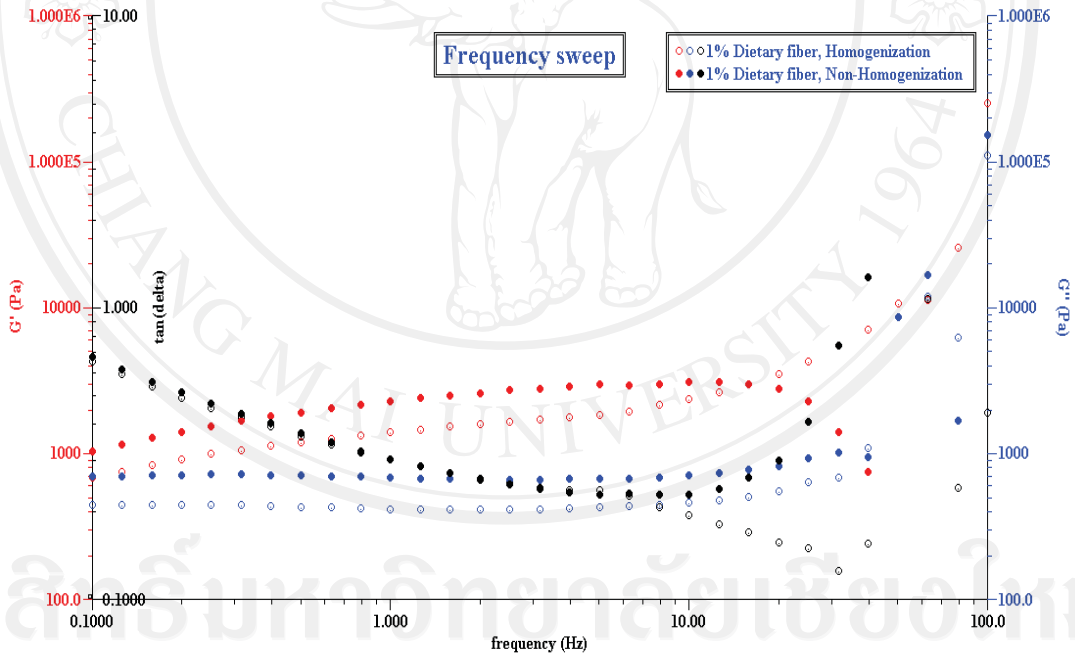
- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลที่แตกต่างกันในแต่ละแนวนอน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ฉ) สมบัติทางรีโอโลยี

ผลการวิเคราะห์ค่าโมดูลัสสะสม ค่าโมดูลัสสูญหาย และค่า loss tangent (tan δ) ของไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการโฮโมจิไนซ์ แสดงดังรูปที่ 4.15 พบว่า ไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการโฮโมจิไนซ์ มีค่าโมดูลัสสะสมสูงกว่าโมดูลัสสูญหาย อีกทั้งมีค่า loss tangent ต่ำกว่า 1 แสดงว่าไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการโฮโมจิไนซ์มีลักษณะเป็นของแข็งยืดหยุ่น (elastic solid) มากกว่าของเหลวไหลหนืด (viscous fluid) และจะเริ่มเสียสภาพเมื่อความถี่สูงกว่า 10 เฮิร์ท อาจเนื่องมากจากผลึกน้ำแข็งเกิดการละลายหรือโครงสร้างอื่น เช่น ฟองอากาศ โครงสร้างของไขมัน โปรตีน หรือสารให้ความคงตัวเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือถูกทำลายจากความถี่สูงเกินไป (หทัยทิพย์, 2552)



รูปที่ 4.15 ค่าโมดูลัสสะสม (G') ค่าโมดูลัสสูญหาย (G'') และ ค่าloss tangent (tan δ) ของไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการโฮโมจิไนซ์

จากนั้นเปรียบเทียบค่าโมดูลัสสะสม ค่าโมดูลัสสูญหาย และค่า loss tangent ที่ความถี่ 1 เฮิร์ท แสดงดังตารางที่ 4.22 พบว่า ไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการโฮโมจิไนซ์ มีค่าโมดูลัสสะสมเท่ากับ 1379.70 และ 2234.56 ปาสคาล ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และมีค่าโมดูลัสสูญหายเท่ากับ 409.98 และ 670.78 ปาสคาล ตามลำดับ ส่วนค่า loss tangent พบว่า มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 0.30

ตารางที่ 4.22 ค่าโมดูลัสสะสม ค่าโมดูลัสสูญหาย และค่า loss tangent ของไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการโฮโมจิไนซ์

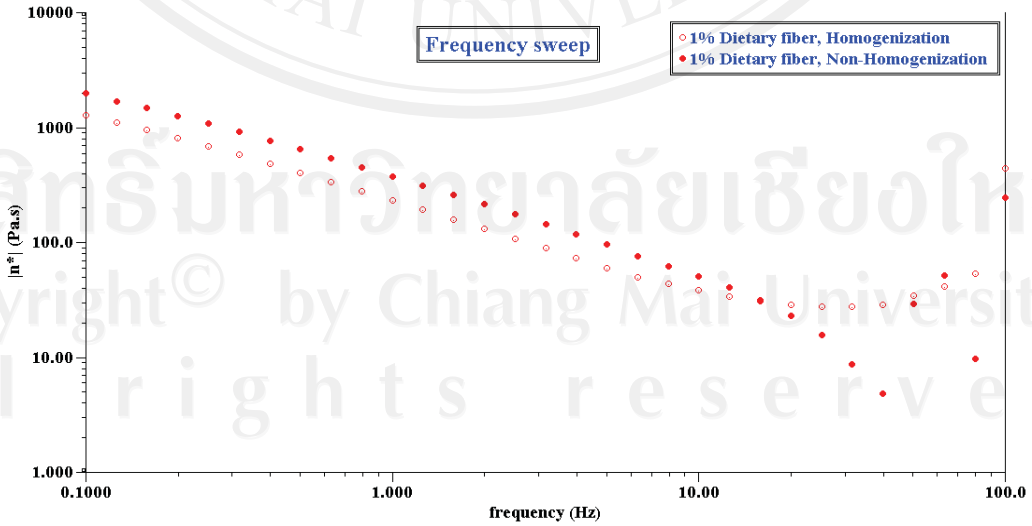
ขั้นตอนการผลิตไอศกรีม	G' (Pa)	G" (Pa)	tan δ^{ns}
โฮโมจิไนซ์	$1379.70^{a} \pm 356.66$	$409.98^{a} \pm 102.23$	0.30 ± 0.02
ไม่โฮโมจิไนซ์	$2234.56^{b} \pm 358.26$	$670.78^{b} \pm 107.57$	0.30 ± 0.01

หมายเหตุ : - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลที่แตกต่างกันในแต่ละแนวตั้ง แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- ns หมายถึง คือ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดเชิงซ้อน แสดงดังรูปที่ 4.16 พบว่า ไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอที่ไม่ผ่านการโฮโมจิไนซ์มีค่าความหนืดเชิงซ้อนสูงกว่าที่ผ่านการโฮโมจิไนซ์ โดยค่าความหนืดเชิงซ้อนจะเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ และลดลงอย่างรวดเร็วตามความถี่ที่เพิ่มขึ้น แสดงว่า ไอศกรีมที่ได้แสดงพฤติกรรมของไหลแบบ non-Newtonian แบบ shear thinning



รูปที่ 4.16 ค่าความหนืดเชิงซ้อนของไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการโฮโมจิไนซ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อเปรียบเทียบค่าความหนืดเชิงซ้อนที่ความถี่ 1 เฮิร์ทซ แสดงดังตารางที่ 4.23 พบว่าไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอที่ไม่ผ่านการโฮโมจิไนซ์มีค่าความหนืดเชิงซ้อนสูงกว่าที่ผ่านการโฮโมจิไนซ์ โดยมีค่าเท่ากับ 371.31 และ 228.24 ปาสคาล.วินาที ตามลำดับ

ตารางที่ 4.23 ค่าความหนืดเชิงซ้อนของไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการโฮโมจิไนซ์

ขั้นตอนการผลิตไอศกรีม	ความหนืดเชิงซ้อน (ปาสคาล.วินาที)
โฮโมจิไนซ์	$228.24^{a} \pm 59.58$
ไม่โฮโมจิไนซ์	$371.31^{b} \pm 59.31$

หมายเหตุ : - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน
- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลที่แตกต่างกันในแต่ละแนวตั้ง แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.3.2.2 สมบัติทางเคมี

ก) ปริมาณไขมันและโปรตีน

ผลการวิเคราะห์ปริมาณไขมันและโปรตีนในไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการโฮโมจิไนซ์ แสดงดังตารางที่ 4.24 พบว่า ไอศกรีมมิกซ์ทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการโฮโมจิไนซ์ มีปริมาณไขมันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีปริมาณไขมันเท่ากับร้อยละ 9.33 และ 9.25 ตามลำดับ และมีปริมาณโปรตีน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีปริมาณโปรตีนเท่ากับร้อยละ 2.08 และ 2.07 ตามลำดับ

ข) ค่าความเป็นกรด- ด่าง

ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างของไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการโฮโมจิไนซ์ แสดงดังตารางที่ 4.24 พบว่า ไอศกรีมมิกซ์ทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการโฮโมจิไนซ์ มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 6.20 และ 6.21 ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.24 สมบัติทางเคมีของไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการโฮโมจิไนซ์

ขั้นตอนการผลิตไอศกรีม	สมบัติทางเคมี		
	ไขมัน^{ns} (ร้อยละ)	โปรตีน^{ns} (ร้อยละ)	ค่าความเป็นกรด-ด่าง^{ns}
ผ่านการโฮโมจิไนซ์	9.33 ± 0.29	2.08 ± 0.14	6.20 ± 0.05
ไม่ผ่านการโฮโมจิไนซ์	9.25 ± 0.55	2.07 ± 0.09	6.21 ± 0.06

หมายเหตุ : - ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ค) การทดสอบทางประสาทสัมผัส

ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการโฮโมจิไนซ์ แสดงดังตารางที่ 4.25 พบว่า คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสีที่ปรากฏ กลิ่นวานิลลา ความเรียบเนียน ความมัน ความเหนียวหนืด การละลายในปาก การรับรสขม และการยอมรับรวม ของไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการโฮโมจิไนซ์ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่อย่างไรก็ตามคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอที่ไม่ผ่านการโฮโมจิไนซ์ มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอที่ผ่านการโฮโมจิไนซ์ เนื่องจากไอศกรีมที่ไม่ผ่านการโฮมิจิไนซ์จะผ่านขั้นตอนการปั่นผสม (mixing) ด้วยเครื่องปั่นผสมอาหาร (blender) แทน ซึ่งใบมีดในเครื่องปั่นผสมอาหาร ทำหน้าที่ในการตัดเส้นใยอาหารผงในส่วนผสมไอศกรีมให้มีขนาดเล็กลง ดังนั้นไอศกรีมที่ได้จึงมีลักษณะคล้ายเม็ดทราย (sandy) น้อยกว่าไอศกรีมที่ผ่านการโฮโมจิไนซ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.25 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการโฮโมจิไนซ์

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	ขั้นตอนการผลิตไอศกรีม	
	ผ่านการโฮโมจิไนซ์	ไม่ผ่านการโฮโมจิไนซ์
สีที่ปรากฏ ns	8.06 ± 0.56	8.00 ± 0.54
กลิ่นวานิลลา ns	7.22 ± 0.89	7.38 ± 0.83
ความเรียบเนียน ns	6.62 ± 1.29	6.66 ± 1.08
ความมัน ns	6.86 ± 0.96	7.10 ± 1.02
ความเหนียวหนืด ns	6.48 ± 1.05	6.64 ± 1.09
การละลายในปาก ns	6.72 ± 0.87	6.98 ± 0.91
การรับรสขม ns	8.00 ± 0.78	8.02 ± 0.70
การยอมรับรวม ns	7.46 ± 0.58	7.50 ± 0.60

หมายเหตุ : – ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เนื่องจากเครื่องโฮโมจิไนซ์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นแบบ rotor stator homogenizer ซึ่งมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเครื่องโฮโมจิไนซ์แบบ two state homogenizer ที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรมการผลิตไอศกรีมโดยทั่วไป ซึ่งอาจทำให้เม็ดไขมันเกิดการรวมตัวกันได้อีกครั้งหลังผ่านการโฮโมจิไนซ์ จึงส่งผลให้คุณภาพของไอศกรีมในด้านต่างๆ ลดลง จนมีค่าใกล้เคียงกับไอศกรีมที่ไม่ผ่านการโฮโมจิไนซ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved