บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลการศึกษาปริมาณของสารทดแทนไขมัน และปริมาณน้ำนมที่เหมาะสมต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณภาพทางเคมีของไอศกรีมวนิลาลดไขมัน

ผลการทดลองการใช้สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีน 2 ชนิดคือ เวย์โปรตีน และโปรตีนถั่วเหลืองทดแทนไขมันในสูตร 2 ระดับคือ 0.3 และ 0.4 เปอร์เซ็นต์(w/w) และเพิ่มปริมาณน้ำนมในสูตรจากเดิม 2 ระดับ คือ 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์(w/w) นำมาตรวจสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพ และเคมี เปรียบเทียบกับสูตรควบคุมที่มีปริมาณไขมัน 7 เปอร์เซ็นต์(w/w) ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การแปรผันปริมาณสารทดแทนไขมันและน้ำนมในไอศกรีมวนิลาลดไขมัน

สิ่งทดลอง	สารทดแทนไขมัน	ปริมาณสารทดแทนไขมัน (เปอร์เซ็นต์(w/w))	ปริมาณน้ำนมที่เพิ่มขึ้น (เปอร์เซ็นต์(w/w))
1	โปรตีนถั่วเหลือง	0.3	25
2	โปรตีนถั่วเหลือง	0.3	50
3	โปรตีนถั่วเหลือง	0.4	25
4	โปรตีนถั่วเหลือง	0.4	50
5	เวย์โปรตีน	0.3	25
6	เวย์โปรตีน	0.3	50
7	เวย์โปรตีน	0.4	25
8	เวย์โปรตีน	0.4	50

หมายเหตุ : ไอศกรีมทุกสิ่งทดลอง ควบคุมให้มีปริมาณไขมัน 3 เปอร์เซ็นต์ (w/w)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของไอศกรีมวนิลาที่ใช้สารทดแทนไขมัน และเพิ่มปริมาณน้ำนม

สิ่งทดลอง	พีเอช (pH)	ความหนืด (เซนติพอยส์)	โอเวอร์รัน (เปอร์เซ็นต์)	น้ำหนักไอศกรีมละลายต่อ 100 กรัม (กรัม)	เนื้อสัมผัส (แรงกดสูงสุด : กรัม)	ค่าสี		
						L*	a*	b*
1	6.69 ^{c} ± 0.01	455.80 ^{e} ± 24.59	11.11 ^{b} ± 1.13	1.60 ^{a} ± 0.29	180.47 ^{c} ± 8.47	77.53 ^{ab} ± 0.68	- 2.28 ^{b} ± 0.19	+ 14.88 ^{c} ± 1.11
2	6.70 ^{c} ± 0.02	456.32 ^{e} ± 44.83	2.80 ^{a} ± 1.00	2.32 ^{b} ± 0.31	292.06 ^{f} ± 11.93	76.45 ^{a} ± 0.47	- 1.81 ^{a} ± 0.12	+ 14.38 ^{bc} ± 0.81
3	6.69 ^{c} ± 0.02	462.86 ^{e} ± 48.45	11.27 ^{b} ± 0.67	7.32 ^{d} ± 0.87	265.43 ^{e} ± 17.56	76.84 ^{a} ± 1.33	- 2.19 ^{b} ± 0.08	+ 14.33 ^{bc} ± 1.87
4	6.70 ^{c} ± 0.00	516.30 ^{e} ± 38.68	9.72 ^{b} ± 0.64	6.60 ^{c} ± 0.76	220.66 ^{d} ±11.02	76.78 ^{a} ± 0.69	- 2.14 ^{b} ± 0.16	+ 15.00 ^{c} ± 1.69
5	6.42 ^{a} ± 0.01	241.15 ^{c} ± 4.81	30.07 ^{d} ± 0.94	30.14 ^{e} ± 0.62	73.70 ^{a} ± 7.97	77.57 ^{ab} ± 1.39	- 2.13 ^{b} ± 0.15	+ 13.15 ^{ab} ± 0.52
6	6.42 ^{a} ± 0.00	336.33 ^{d} ± 22.37	23.83 ^{c} ± 0.52	32.38 ^{f} ± 0.82	88.82 ^{b} ± 4.03	77.42 ^{ab} ± 0.27	- 2.14 ^{b} ± 0.25	+ 12.79 ^{a} ± 1.10
7	6.42 ^{a} ± 0.01	311.14 ^{cd} ± 16.52	30.23 ^{d} ± 0.89	34.44 ^{g} ± 0.61	87.20 ^{b} ± 5.08	79.17 ^{c} ± 1.02	- 2.96 ^{c} ± 0.31	+ 12.20 ^{a} ± 0.47
8	6.42 ^{a} ± 0.00	172.06 ^{b} ± 2 8.12	3.49 ^{a} ± 0.26	36.80 ^{g} ± 0.36	67.23 ^{a} ± 5.14	78.52 ^{bc} ± 1.01	- 2.83 ^{c} ± 0.26	+ 12.45 ^{a} ± 0.19
สูตรควบคุม	6.50 ^{b} ± 0.00	94.78 ^{a} ± 0.74	31.23 ^{d} ± 0.07	39.49 ^{h} ± 0.19	72.03 ^{a} ± 3.72	83.35 ^{d} ± 0.66	- 2.32 ^{b} ± 0.07	+ 12.05 ^{a} ± 0.79

หมายเหตุ : - ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

- L* = ค่าความสว่าง; a* = - ค่าสีเขียว; b* = + สีเหลือง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพแสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่าไอศกรีมวนิลาที่ใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนมีค่าพีเอชเท่ากับ 6.42 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าสูตรควบคุม ส่วนไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลืองมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.69-6.70 (ตารางที่ 4.2) ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) มีแนวโน้มว่าไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนมีพีเอชต่ำกว่าสารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลือง อาจเนื่องมาจากสารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนเป็นเวย์ที่ได้จากกระบวนการผลิตโดยการตกตะกอนด้วยกรด จึงมีผลต่อความเป็นกรดของไอศกรีมเหลว กล่าวคือเมื่อนำมาใช้ทดแทนไขมันในอัตราส่วนที่มากขึ้นความเป็นกรดจึงสูงขึ้น

ความข้นหนืดของไอศกรีมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$) ยกเว้นส่วนผสมไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลืองที่ไม่มีความแตกต่างกัน โดยไอศกรีมที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองทั้ง 2 ระดับ และเพิ่มน้ำนม 25 เปอร์เซ็นต์(w/w) มีความหนืดสูงที่สุดและตัวอย่างควบคุมมีความหนืดต่ำที่สุดคือ 94.785 เซนติพอยส์ อาจเนื่องจากสารทดแทนไขมันเวย์โปรตีน และโปรตีนถั่วเหลือง มีสมบัติการอุ้มน้ำสูงช่วยเพิ่มความหนืด และมีความต้านทานต่อการละลายดี ซึ่งโปรตีนถั่วเหลือง จะมีความสามารถในการอุ้มน้ำและเกิดเจลได้ดีกว่าเวย์โปรตีน การใช้สารทดแทนไขมันในไอศกรีมสูตรลดไขมันทำให้ไอศกรีมมิกซ์มีความหนืดเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะในไอศกรีมที่ทดแทนไขมันด้วย สารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลือง ซึ่งมีความหนืดอยู่ในช่วง 455.8–516.3 เซนติพอยส์(ตารางที่ 4.2) จึงทำให้การตีอากาศเข้าเนื้อไอศกรีมไม่ดีเท่าที่ควร ส่งผลให้มีค่าโอเวอร์รันต่ำ เช่นเดียวกับการทดลองของ Kailasapathy และ Songvanich (1998) พบว่า ความข้นหนืดสูงมีความสัมพันธ์กับความเหมาะสมของการกักเก็บอากาศ และค่าโอเวอร์รันสูงจะสอดคล้องกับการขยายตัวของโฟม (foam expansion) และความคงตัวของโฟม (foam liquid stability) ให้ค่าที่สูงตามไปด้วย และความข้นหนืดของส่วนผสมไอศกรีมต้องอยู่ในช่วงที่เหมาะสมเพื่อให้ได้โอเวอร์รันที่ดี หากความข้นหนืดมากหรือน้อยเกินไปจะทำให้การตีอากาศเข้าเนื้อไอศกรีมเกิดได้ไม่ดีเท่าที่ควร ในขณะที่ตัวอย่างที่ทดแทนไขมันด้วยเวย์โปรตีนมีความหนืดต่ำกว่า คืออยู่ในช่วง 172-336 เซนติพอยส์(ตารางที่ 4.2) ซึ่งเป็นช่วงที่มีความหนืดที่เหมาะสม ทำให้มีสมบัติการตีอากาศที่ดีขึ้น ทำให้มีค่าโอเวอร์รันสูง และได้ค่าโอเวอร์รันไม่ต่างกับสูตรควบคุม นอกจากนี้ยังพบว่า ไอศกรีมสูตรควบคุมมีน้ำหนักไอศกรีมละลายต่อ 100 กรัม สูงกว่าไอศกรีมที่ทดแทนไขมันด้วยเวย์โปรตีน และพบว่าเมื่อลดปริมาณไขมันในสูตรลง มีผลทำให้น้ำหนักไอศกรีมละลายต่อ 100 กรัม เพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจาก ไขมันสามารถเชื่อมกันแล้วเกิดเป็นร่างแห ล้อมรอบฟองอากาศและช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการละลาย (Abdel-Rahman *et al.,* 1997) ดังนั้นการลดไขมัน จึงมีแนวโน้มทำให้ไอศกรีมมีน้ำหนักไอศกรีมละลายต่อ 100 กรัม สูงขึ้นได้ เช่นเดียวกับการทดลองของ สุพัฒน์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(2546) พบว่า ถ้าค่าความเหนียวหนืดของไอศกรีมเพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการละลายช้าลง สอดคล้องกับ Arbuckle (1986) รายงานว่า ไขมันมีผลต่อความข้นหนืด ดังนั้นส่วนผสมไอศกรีมที่มีปริมาณไขมันมากจะมีความข้นหนืดมากกว่าจึงละลายได้ช้ากว่า และไอศกรีมที่ใช้เวย์โปรตีนให้ความหนืดของไอศกรีมต่ำ คุณสมบัติในการต้านการละลายจึงลดลง (Mashall และ Arbuckle, 1996) แต่อย่างไรก็ตาม จากการทดลองนี้พบว่า ไอศกรีมที่ทดแทนไขมันด้วยสารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลือง มีน้ำหนักไอศกรีมละลายต่อ 100 กรัม ต่ำกว่าสูตรควบคุมนั้น อาจเนื่องมาจากความสามารถในการก่อเจลและสมบัติในการอุ้มน้ำของ สารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลือง ทำให้ความหนืดของส่วนผสมไอศกรีมเพิ่มขึ้น

ค่าโอเวอร์รัน คือ ปริมาตรของไอศกรีมที่เพิ่มขึ้นจากปริมาตรของส่วนผสมไอศกรีม รายงานเป็นเปอร์เซ็นต์ การเพิ่มขึ้นของปริมาตร เนื่องมาจาก อากาศแทรกตัวเข้าไปในเนื้อไอศกรีมในระหว่างการตีปั่นให้แข็งตัว (สุพัฒน์, 2546) จากการทดลองพบว่าการใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีน ที่ระดับ 0.4 เปอร์เซ็นต์(w/w) และเพิ่มปริมาณน้ำนมจากเดิม 25 เปอร์เซ็นต์(w/w) ทำให้ได้ไอศกรีมที่มีค่าโอเวอร์รันสูงที่สุดเท่ากับ 30.07 เปอร์เซ็นต์ และไม่แตกต่างกับไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนที่ระดับ 0.3 เปอร์เซ็นต์(w/w) และเพิ่มปริมาณน้ำนม 25 เปอร์เซ็นต์(w/w) และมีค่าใกล้เคียงไอศกรีมสูตรควบคุม อีกทั้งมีค่ามากกว่าไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลือง ที่มีค่าโอเวอร์รันอยู่ในช่วง 11.27-2.80 เปอร์เซ็นต์(ตารางที่ 4.2) และเมื่อโอเวอร์รันต่ำทำให้เนื้อไอศกรีมแข็งขึ้น เช่นเดียวกับการทดลองของ Roland *et al.* (1999) ที่พบว่าเมื่อลดปริมาณไขมันในไอศกรีมเป็น 0.1, 3 และ 7 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่ใช้สารทดแทนไขมันความแข็งของเนื้อไอศกรีมมีค่ามากกว่าไอศกรีมไขมัน 10 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาน้ำหนักไอศกรีมละลายต่อ 100 กรัม พบว่าสารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลืองมีน้ำหนักไอศกรีมที่ละลายต่อ 100 กรัม อยู่ในช่วง 6.26-2.48 กรัมต่อนาที (ตารางที่ 4.2) ซึ่งมีค่าน้อยกว่าไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนซึ่งมีอัตราการละลายอยู่ในช่วง 33.21-51.53 กรัมต่อนาที(ตารางที่ 4.2) ซึ่งการใช้สารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลืองมีอัตราการละลายต่ำกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากสารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลือง มีความสามารถในการอุ้มน้ำ และก่อเจลได้ดีจึงมีอัตราการละลายช้ากว่าตัวอย่างควบคุม ในขณะที่สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนมีอัตราการละลายเร็วกว่าตัวอย่างควบคุม อาจเนื่องมาจากสารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนมีคุณสมบัติเป็น amphiphilic และเป็น surface-active component มีความสามารถในการจับพื้นผิวของเซลล์อากาศขณะตีปั่นอากาศในไอศกรีมเหลว แต่เซลล์อากาศที่เกิดขึ้นใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไอศกรีมไม่คงตัว (Mashall และ Arbuckle, 1996) และประกอบกับความคงตัวของเซลล์อากาศขึ้นอยู่กับการเกิด destabilized fat เพื่อทำให้ไขมันเหลวรวมตัวกันหุ้มเซลล์อากาศ ร่วมกับการรวมกลุ่มของเม็ดไขมันซึ่งส่งผลต่อความคงตัวของไอศกรีม (shape retention) (Walstra และ Jonkman, 1998) จึงทำให้ไอศกรีมที่ทดแทนไขมันด้วยสารทดแทนไขมันเวย์โปรตีน และมีปริมาณไขมันน้อยกว่า จึงมีอัตราการละลายสูงกว่าสูตรควบคุม และสูตรที่ทดแทนไขมันโดยใช้สารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลือง

สำหรับเนื้อสัมผัสของไอศกรีมซึ่งวัดเป็นแรงกดสูงสุด พบว่า ไอศกรีมสูตรควบคุมมีค่าแรงกดสูงสุดไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรที่ทดแทนไขมันด้วยเวย์โปรตีนที่ระดับ 0.3 เปอร์เซ็นต์(w/w) และเพิ่มปริมาณน้ำนมอีก 25 เปอร์เซ็นต์(w/w) และสูตรที่ทดแทนไขมันด้วยเวย์โปรตีนที่ระดับ 0.4 เปอร์เซ็นต์(w/w) และเพิ่มปริมาณน้ำนมอีก 50 เปอร์เซ็นต์(w/w) แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับไอศกรีมที่ทดแทนไขมันด้วยสารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลือง ซึ่งมีค่าแรงกดสูงสุดอยู่ในช่วง 180.47–292.06 กรัม(ตารางที่ 4.2) และการใช้สารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลือง มีค่าแรงกดสูงสุดมากกว่าการใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีน และตัวอย่างควบคุม เนื่องมาจาก สารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลืองมีความสามารถในการอุ้มน้ำและก่อเจลสูง จึงต้องใช้แรงมากขึ้นในการทำให้เสียรูปร่างมากกว่าตัวอย่างควบคุม และไอศกรีมที่ใช้ เวย์โปรตีนที่มีค่าโอเวอร์รันสูงกว่า ซึ่งค่าความแข็งของเนื้อไอศกรีมมีความเกี่ยวข้องกับค่าโอเวอร์รัน นั่นคือ เมื่อค่าโอเวอร์รันต่ำจะได้ไอศกรีมที่มีเนื้อสัมผัสแข็งขึ้น (Mashall และ Arbuckle, 1996)

ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสี L* a* และ b* ของไอศกรีมวนิลาที่ใช้สารทดแทนไขมันทั้ง 8 สูตรกับสูตรควบคุมพบว่า ค่าสี L* (ความสว่าง) ของไอศกรีมสูตรควบคุมมีค่าความสว่างมากกว่าไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันทั้งสองชนิด โดยมีค่าเท่ากับ 83.345 อาจเนื่องมาจากไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันได้รับอิทธิพลจากสีของสารทดแทนไขมันที่มีสีเหลือง โดยเฉพาะสารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลืองที่มีสีเหลืองเข้ม จึงมีผลทำให้ค่าสี L*(ความสว่าง) แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมีผลจากปริมาณไขมันที่สูงกว่าไอศกรีมที่ไม่ใช้สารทดแทนไขมัน เนื่องจากเมื่อปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความสว่างเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับการทดลองของ Roland *et al.* (1999) พบว่า สีของไอศกรีมจะมีสีขาวสว่างมากขึ้น เมื่อปริมาณไขมันมากขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ส่วนค่าสี a (สีแดง-สีเขียว) พบว่า ค่า a* เป็นค่าสีเขียว(ค่าเป็นลบ) ของไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนที่ระดับ 0.3 เปอร์เซ็นต์(w/w) และเพิ่มปริมาณน้ำนมจากเดิม 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์(w/w) และไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลืองทุกสูตรยกเว้น สูตรที่ทดแทนไขมันที่ระดับ 0.3 เปอร์เซ็นต์(w/w) และเพิ่มปริมาณน้ำนมอีก 25 เปอร์เซ็นต์(w/w) ไม่มีความแตกต่าง กับตัวอย่างควบคุม ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง -2.135 ถึง -2.322 (ตารางที่ 4.2)

ส่วนค่าสี b (สีเหลือง-น้ำเงิน) พบว่า ค่า b* เป็นค่าของสีเหลือง(ค่าเป็นบวก) ของไอศกรีมวนิลาที่ใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนทั้ง 4 สูตร ไม่มีความแตกต่างกับตัวอย่างควบคุม คือมีค่าเท่ากับ +12.045 ถึง +12.792 (ตารางที่ 4.2) แต่ไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลืองทั้ง 4 สูตรมีค่าแตกต่างกับสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คือมีค่าเท่ากับ +15.006 ถึง +14.885(ตารางที่ 4.1) อาจเนื่องมาจากวัตถุดิบ นมผง สารทดแทนไขมัน และไขมันนมที่มีสีเหลือง โดยเฉพาะสารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลืองที่มีสีเหลืองเข้ม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของไอศกรีมวนิลาที่ใช้สารทดแทนไขมัน และเพิ่มปริมาณน้ำนม

สิ่งทดลอง	TSS (เปอร์เซ็นต์ Brix)	ไขมัน (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)^{ns}
1	26.23^{b} ± 0.08	3.06^{a} ± 0.06	34.58 ± 1.00
2	26.30^{b} ± 0.00	3.09^{a} ± 0.14	33.91 ± 1.64
3	26.63^{c} ± 0.08	3.01^{a} ± 0.04	33.91 ± 1.64
4	26.60^{c} ± 0.18	3.00^{a} ± 0.09	33.91 ± 1.64
5	28.40^{d} ± 0.19	3.02^{a} ± 0.06	34.58 ± 1.00
6	28.25^{d} ± 0.12	3.03^{a} ± 0.08	33.91 ± 1.64
7	29.23^{e} ± 0.15	3.03^{a} ± 0.04	34.38 ± 0.00
8	29.20^{e} ± 1.29	3.07^{a} ± 0.14	33.91 ± 1.64
สูตรควบคุม	26.00^{a} ± 0.00	7.02^{b} ± 0.02	33.91 ± 1.64

หมายเหตุ : - ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

- ns = ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

สำหรับสมบัติทางเคมีพบว่า ไอศกรีมที่ทดแทนไขมันด้วยสารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลือง มีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดในสูตรเพิ่มขึ้นจากสูตรควบคุม แต่ก็มีปริมาณต่ำกว่าสูตรที่ทดแทนไขมันด้วยเวย์โปรตีน นั่นคือ สูตรควบคุมมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดร้อยละ 26.0 ในขณะที่ ไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลือง และเวย์โปรตีน มีปริมาณของแข็งที่ได้ทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 26.23-26.60 และ 28.40-29.23 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.3) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อใช้สารทดแทนไขมันเพิ่มขึ้น ซึ่งปริมาณของแข็งทั้งหมดในไอศกรีมช่วยเพิ่มคุณค่าทางอาหาร ให้ความหนืดและปรับปรุงรูปร่าง และเนื้อสัมผัสของไอศกรีม เมื่อปริมาณของแข็งเพิ่มมากขึ้น ปริมาณน้ำในการแข็งตัวลดลงทำให้ไอศกรีมนุ่มขึ้น(Mashall และ Arbuckle, 1996) เช่นเดียวกับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทดลองของ Donhowe *et al.* (1991) พบว่าเมื่อปริมาณของแข็งทั้งหมดในสูตรไอศกรีมลดลง จะทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสที่หยาบและแข็งขึ้น และสอดคล้องกับการทดลองของ Roland *et al.* (1999) ที่ทำการวัดความแข็ง(hardness)ของเนื้อไอศกรีมที่มีปริมาณไขมัน 0.1, 3, 7 และ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่มีสารทดแทนไขมัน พบว่าทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดในไอศกรีมเป็นดังนี้ 28.7, 31.5, 35.2 และ 38.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พบว่าไอศกรีมที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดมากกว่าจะต้องใช้แรงกดน้อยกว่า แสดงว่าเนื้อไอศกรีมมีความแข็งน้อยกว่า เนื่องจากไอศกรีมที่มีปริมาณของแข็งมากกว่าจะดูดซับน้ำได้มากกว่า ทำให้ปริมาณน้ำที่เกิดเป็นผลึกน้ำแข็งมีได้น้อยกว่าจึงทำให้เนื้อไอศกรีมมีความแข็งน้อยกว่า ซึ่งแตกต่างจากผลการทดลองที่ได้ทั้งนี้เนื่องจากสารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนทั้งสองชนิดมีสมบัติในการอุ้มน้ำสูง และการเกิดเจลของเจลาตินที่ใช้เป็นสเตบิไลเซอร์ในสูตรการผลิตไอศกรีม จึงทำให้ไอศกรีมที่ได้มีค่าความแข็งมากกว่าถึงแม้จะมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในปริมาณมากกว่าตัวอย่างควบคุม

สำหรับปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ของไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีน พบว่าไม่แตกต่างกับสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ดังนั้นในการศึกษาครั้งต่อไป จึงตัดสินใจเลือกที่จะทำการศึกษาผลของสารทดแทนไขมันในไอศกรีมวนิลาลดไขมันโดยใช้ระดับของสารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนที่ระดับ 0.3 เปอร์เซ็นต์ (w/w) และเพิ่มปริมาณน้ำนมจากเดิมอีก 25 เปอร์เซ็นต์ (w/w) เป็นสูตรในการผลิตไอศกรีมวนิลาลดไขมัน และพลังงานต่ำ เนื่องจากมีคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมี ใกล้เคียงกับสูตรควบคุมมากที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2 ผลการศึกษาระดับของสารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนที่สามารถทดแทนไขมันในไอศกรีมวนิลาสูตรลดไขมันที่มีคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัสใกล้เคียงกับไอศกรีมวนิลาสูตรควบคุม

การทดลองนี้ได้ศึกษาผลของสารทดแทนไขมันประเภทโปรตีน 2 ชนิด โดยผลิตไอศกรีมวนิลาสูตรลดไขมัน ซึ่งมีส่วนประกอบคือ นมสดขาดมันเนย 79 เปอร์เซ็นต์(w/w), นมผงขาดมันเนย 4 เปอร์เซ็นต์(w/w), น้ำตาลซูโครส 12 เปอร์เซ็นต์(w/w), อิมัลซิไฟเออร์ 0.6 เปอร์เซ็นต์(w/w), แป้งข้าวโพด 0.2 เปอร์เซ็นต์(w/w) และกลิ่นวนิลา 0.2 เปอร์เซ็นต์(w/w) แปรระดับปริมาณไขมันในสูตรต่างกัน 3 ระดับได้แก่ 0.4, 2.5 และ 5.0 เปอร์เซ็นต์(w/w) และทดแทนปริมาณไขมันที่ลดลงด้วยสารทดแทนไขมันประเภทโปรตีน 2 ชนิดคือ เวย์โปรตีนและโปรตีนถั่วเหลือง ใช้แผนการทดลองแบบ CRD แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุด ทำการทดลองชุดละ 3 ซ้ำ ไอศกรีมทุกสิ่งทดลองของแต่ละชุดการทดลองนำไปตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัส เพื่อคัดเลือกสิ่งทดลองที่มีปริมาณไขมันต่ำที่สุดและมีคุณภาพใกล้เคียงกับสูตรควบคุมมากที่สุด ส่วนในกรณีการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค ใช้แผนการทดลองแบบ RCBD ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.4

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ของไอศกรีมวนิลาที่ใช้สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีน 2 ชนิดคือเวย์โปรตีน และโปรตีนถั่วเหลือง โดยแปรผันระดับไขมัน 3 ระดับ คือ 0.4, 2.5 และ 5.0 เปอร์เซ็นต์ (w/w)

สารทดแทนไขมัน	ปริมาณไขมัน (เปอร์เซ็นต์) (w/w)	พีเอช (pH)	ความหนืด (เซนติพอยส์)	โอเวอร์รัน (เปอร์เซ็นต์)	อัตราการละลายต่อ 100 กรัม (กรัมต่อนาที)	เนื้อสัมผัส (แรงกดสูงสุด : กรัม)	ค่าสี		
							L*	a*	b*
โปรตีนถั่วเหลือง	0.4	6.57 ^{e} ±0.00	865.60 ^{e} ± 4.59	3.54 ^{b} ± 0.30	0.43 ^{e} ± 0.03	539.05 ^{e} ±20.88	72.50 ^{a} ± 0.50	- 0.44 ^{a} ±0.31	+ 15.76 ^{cd} ±0.92
โปรตีนถั่วเหลือง	2.5	6.57 ^{e} ±0.00	940.18 ^{f} ± 38.83	15.48 ^{d} ± 0.94	0.53 ^{f} ± 0.01	532.78 ^{e} ±14.69	75.25 ^{b} ± 2.38	- 0.50 ^{a} ± 0.16	+ 16.02 ^{d} ± 0.34
โปรตีนถั่วเหลือง	5.0	6.55 ^{d} ± 0.00	2559.00 ^{g} ± 6.99	18.44 ^{e} ± 1.01	0.19 ^{c} ± 0.02	702.83 ^{f} ± 6.39	77.59 ^{b} ± 0.35	- 0.91 ^{b} ± 0.18	+ 15.64 ^{cd} ± 0.94
เวย์โปรตีน	0.4	6.37 ^{a} ± 0.00	246.57 ^{c} ± 3.04	0.45 ^{a} ± 0.04	0.06 ^{b} ± 0.01	23.31 ^{a} ± 1.54	84.71 ^{d} ± 1.19	- 1.26 ^{c} ± 0.18	+ 14.81 ^{bc} ± 1.33
เวย์โปรตีน	2.5	6.37 ^{a} ± 0.02	341.92 ^{d} ± 3.12	7.82 ^{c} ± 4.58	0.06 ^{b} ± 0.00	32.23 ^{a} ± 0.36	80.66 ^{c} ± 4.51	- 1.71 ^{d} ± 0.22	+ 14.41 ^{b} ± 0.77
เวย์โปรตีน	5.0	6.38 ^{b} ± 0.00	156.87 ^{b} ± 11.33	38.91 ^{g} ± 0.56	0.04 ^{a} ± 0.00	50.26 ^{b} ± 1.33	83.22 ^{d} ± 0.63	- 0.67 ^{a} ± 0.10	+ 16.59 ^{d} ± 0.47
สูตรควบคุม	7.0	6.50 ^{c} ±0.00	94.78 ^{a} ± 0.74	31.44 ^{f} ± 2.80	0.31 ^{d} ± 0.00	72.03 ^{c} ± 3.72	83.34 ^{d} ± 0.66	- 2.32 ^{e} ± 0.07	+ 12.05 ^{a} ± 0.79

หมายเหตุ : - ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

- L* = ค่าความสว่าง; a* = - ค่าสีเขียว; b* = + สีเหลือง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพในตารางที่ 4.4 จะเห็นว่าไอศกรีมวนิลาที่ใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.37-6.38 (ตารางที่ 4.4) ซึ่งมีค่าต่ำกว่าสูตรควบคุมและไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลืองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งมีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 6.55-6.57 และมีแนวโน้มว่า ไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนมีค่าพีเอชต่ำกว่าไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลือง อาจเนื่องมาจากสารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนซึ่งเป็นเวย์ที่ได้จากกระบวนการผลิตโดยการตกตะกอนด้วยกรด ทำให้เมื่อใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนมากขึ้นความเป็นกรดจึงสูงขึ้น จึงมีผลต่อความเป็นกรดในไอศกรีมเหลว

ด้านความข้นหนืด พบว่าไอศกรีมทุกสูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลือง และมีปริมาณไขมันระดับ 5 เปอร์เซ็นต์(w/w) มีความหนืดสูงที่สุด ซึ่งมากกว่าไอศกรีมที่ใช้เวย์โปรตีน และตัวอย่างควบคุม โดยตัวอย่างควบคุมมีความหนืดต่ำที่สุดคือ 94.78 เซนติพอยส์ อาจเนื่องจากสารทดแทนไขมันเวย์โปรตีน และโปรตีนถั่วเหลือง มีสมบัติในการอุ้มน้ำและเกิดเป็นเจลได้ดี ซึ่งสารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลืองจะมีสมบัติในการอุ้มน้ำ และเกิดเจลได้ดีกว่าสารทดแทนไขมันเวย์โปรตีน จึงส่งผลให้ส่วนผสมไอศกรีมที่ได้มีความข้นหนืดสูงกว่า และมีความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) การใช้สารทดแทนไขมันในไอศกรีมสูตรลดไขมันทำให้ไอศกรีมเหลวมีความหนืดเพิ่มสูงขึ้น และความหนืดจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณไขมันในสูตรเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการทดลองของ Specter และ Setser (1994) พบว่า น้ำตาลและไขมันใช้เป็นตัวเพิ่มปริมาณของแข็งในส่วนผสมไอศกรีมทำให้ความข้นหนืดเพิ่มขึ้น และปรับปรุงเนื้อ(body) และเนื้อสัมผัสของไอศกรีมให้ดีขึ้น สอดคล้องกับ Arbuckle (1986) รายงานว่า ส่วนผสมไอศกรีมที่มีไขมันมากขึ้นไขมันจะถูกเรียงตัวอย่างใกล้ชิดทำให้การเคลื่อนที่ของของไหลเป็นไปได้ยากขึ้น นอกจากนี้ผิวสัมผัสของน้ำกับไขมันจะดูดซับ (absorb) โปรตีนไว้ที่ผิว เมื่อมีปริมาณไขมันมากขึ้น จะทำให้โปรตีนถูกดูดซับมากขึ้น ทำให้แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลโปรตีนเกิดมากขึ้น และยังมีแรงดึงดูดของไขมันมากขึ้นอีกด้วย จึงทำให้ส่วนผสมของไอศกรีมมีความข้นหนืดมากขึ้นอีกด้วย โดยเฉพาะในไอศกรีมที่ทดแทนไขมันด้วยสารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลืองซึ่งมีความหนืดอยู่ในช่วง 865.60-2559.00 เซนติพอยส์ (ตารางที่ 4.4) จึงทำให้การตีอากาศเข้าเนื้อไอศกรีมไม่ดีเท่าที่ควร ส่งผลให้มีค่าโอเวอร์รันต่ำ แต่ตัวอย่างที่ทดแทนไขมันด้วยเวย์โปรตีนให้ค่าความข้นหนืดต่ำกว่า คืออยู่ในช่วง 156.87-247.57 เซนติพอยส์ (ตารางที่ 4.4) ซึ่งเป็นช่วงที่มีความหนืดที่เหมาะสม ทำให้มีสมบัติการตีอากาศที่ดีขึ้นทำให้มีค่าโอเวอร์รันสูง โดยเฉพาะในสูตรที่มีปริมาณไขมัน 5 เปอร์เซ็นต์(w/w) ที่มีค่าโอเวอร์รันสูงที่สุดคือ 38 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่า ไอศกรีมสูตรควบคุมมีอัตราการละลาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เร็วกว่าไอศกรีมที่ทดแทนไขมันด้วยเวย์โปรตีน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากคุณสมบัติการอุ้มน้ำและการก่อเจลของสารทดแทนไขมันทั้งสองชนิด แต่มีแนวโน้มว่าถ้าเพิ่มปริมาณไขมันในสูตร จะส่งผลให้อัตราการละลายช้าลง เนื่องจากไขมันสามารถเชื่อมกันแล้วเกิดเป็นร่างแห ล้อมรอบฟองอากาศและช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการละลาย (Abdel-Rahman *et al*., 1997) และดูดซับน้ำได้มากขึ้นทำให้มีปริมาณน้ำอิสระในไอศกรีมลดลง นอกจากนี้ค่าการนำความร้อน (thermal conductivity) ของน้ำแข็งมีค่าสูงกว่า ดังนั้นไอศกรีมดังกล่าวจึงมีอัตราการละลายช้ากว่าไอศกรีมที่มีไอศกรีมที่มีปริมาณน้ำอิสระในไอศกรีมมาก การลดไขมันจึงมีแนวโน้มทำให้ไอศกรีมมีอัตราการละลายสูงขึ้นได้ และสารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนให้ความหนืดของไอศกรีมต่ำ คุณสมบัติในการต้านการละลายจึงลดลง (Marshall และ Arbuckle, 1996)จากการทดลองนี้พบว่า ไอศกรีมที่ทดแทนไขมันด้วยสารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลือง มีอัตราการละลายต่ำกว่าสูตรควบคุมนั้น อาจเนื่องมาจากความสามารถในการอุ้มน้ำและการก่อเจลของสารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลืองจึงทำให้ความหนืดของไอศกรีมเหลวมีค่าเพิ่มขึ้น และช่วยต้านการละลายได้มากขึ้น อีกประการหนึ่ง การที่น้ำมีพันธะกับสารทดแทนไขมันทำให้น้ำที่จะกลายเป็นน้ำแข็ง หรือน้ำที่อยู่ในรูปของน้ำเชื่อมมีปริมาณน้อยลง การนำความร้อนผ่านไอศกรีมจึงช้าลง ส่งผลให้มีอัตราการละลายช้าลง (Garcia *et al.,* 1995) เช่นเดียวกับการทดลองของ Goff *et al.* (1994) พบว่า เมื่อลดปริมาณไขมันในสูตรโดยไม่มีการใช้สารทดแทนไขมัน ทำให้เปอร์เซ็นต์ของแข็งทั้งหมดในสูตรมีค่าลดลง ดังนั้นส่วนผสมไอศกรีมจึงมีความหนืดลดลง เช่นเดียวกับการทดลองของ Roland *et al.* (1999) พบว่า ไอศกรีมที่มีปริมาณไขมันเพิ่มขึ้น ทำให้เปอร์เซ็นต์ของแข็งทั้งหมดในสูตรเพิ่มขึ้นจึงทำให้มีผลต่อความข้นหนืดของไอศกรีมเพิ่มขึ้น และ สุพัฒน์ (2546) พบว่า ถ้าค่าความเหนียวหนืดของไอศกรีมเพิ่มขึ้น จะทำให้อัตราการละลายช้าลง สอดคล้องกับ Arbuckle (1986) รายงานว่าไขมันมีผลต่อความข้นหนืด ดังนั้นส่วนผสมไอศกรีมที่มีความข้นหนืดมากกว่าจึงละลายได้ช้ากว่า

สำหรับค่าโอเวอร์รันพบว่าการใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนที่ระดับไขมัน 5.0 เปอร์เซ็นต์(w/w) ทำให้ได้ไอศกรีมที่มีค่าโอเวอร์รันสูงที่สุดเท่ากับ 38.91 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีโอเวอร์รันที่สูงกว่าไอศกรีมสูตรควบคุม อีกทั้งมีค่ามากกว่าไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลืองที่มีค่าโอเวอร์รันอยู่ในช่วง 3.14-18.44 เปอร์เซ็นต์(ตารางที่ 4.4) ซึ่งไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนที่ระดับไขมัน 5.0 เปอร์เซ็นต์(w/w) มีค่าโอเวอร์รันสูงกว่าไอศกรีมสูตรควบคุมซึ่งมีไขมัน 7 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับการทดลองของ Baer *et al.* (1999) พบว่าความสามารถในการขึ้นฟู ขึ้นอยู่กับการกระจายตัวของเซลล์อากาศในไอศกรีมเซลล์อากาศในไอศกรีมจะคงตัวอยู่ได้ถ้าพื้นที่ผิวประกอบด้วยโปรตีน, ฟอสโฟไลปิด และอิมัลซิไฟเออร์ไขมันมีผลในการยับยั้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความสามารถในการขึ้นฟูของส่วนผสมไอศกรีมในระหว่างการปั่นไอศกรีมให้แข็งตัว ไขมันจะเข้าไปแทนที่โปรตีนที่จับเซลล์อากาศไว้ และมีสมบัติเป็นตัวขัดขวางปฏิกิริยาการเกิดโฟม (foam depressant) ดังนั้น สิ่งทดลองที่ 1, 2 และ 6 มีไขมันเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์ซึ่งมีปริมาณไขมันมากที่สุด จะได้ค่าเปอร์เซ็นต์โอเวอร์รันต่ำ สอดคล้องกับการทดลองของ Guinard *et al.* (1997) พบว่าไอศกรีมที่มีเปอร์เซ็นต์โอเวอร์รันสูงนั้นในสูตรไอศกรีมจะมีปริมาณน้ำตาลสูง และไขมันต่ำ เช่นเดียวกับ Arbuckle (1986) รายงานว่าไอศกรีมที่มีปริมาณไขมันสูงจะมีเปอร์เซนต์โอเวอร์รันของไอศกรีมต่ำ สอดคล้องกับ Thrap และ Gotternoller (1990) ที่พบว่าไอศกรีมที่มีเปอร์เซ็นต์ไขมัน 2, 10 และ 16 เปอร์เซ็นต์ มีเปอร์เซ็นต์โอเวอร์รันเท่ากับ 100, 90 และ 50 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และสุพัฒน์ (2546) พบว่าเมื่อสัดส่วนของไขมันเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์โอเวอร์รันลดลง และเมื่อโอเวอร์รันต่ำส่งผลทำให้เนื้อไอศกรีมแข็งขึ้น เช่นเดียวกับการทดลองของ Roland *et al.* (1999) ที่พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณไขมันในไอศกรีมเป็น 0.1 3 และ 7 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่ใช้สารทดแทนไขมันจะส่งผลให้ความแข็งของเนื้อไอศกรีมมากกว่าไอศกรีมไขมัน 10 เปอร์เซ็นต์ และการเพิ่มโอเวอร์รันให้สูงขึ้นจะเป็นการลดค่าความแข็งของไอศกรีมลง และในตัวอย่างที่มีค่าโอเวอร์รันสูงพบว่าในตอนเริ่มต้นฟองอากาศจะมีขนาดใหญ่ เนื่องจากในขณะที่ตีอากาศเข้าไปต้องใช้แรงมาก ซึ่งถ้าฟองอากาศได้รับแรงมากขึ้นฟองอากาศก็จะแตกตัว ซึ่งมีความสัมพันธ์กับ appearance viscosity ของไอศกรีมที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อฟองอากาศเพิ่มมากขึ้น และยังส่งผลให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดเล็กลงซึ่งจะเป็นผลสัมพันธ์กับค่าการส่งผ่านความร้อน เนื่องจากขณะที่เราใส่อากาศมาก เครื่องก็ต้องทำงานมาก ทำให้เกิดความมากร้อนขึ้น และโครงสร้างของไอศกรีมที่มีโอเวอร์รันเพิ่มขึ้นจะทำให้เนื้อสัมผัสของไอศกรีมมีความนุ่มขึ้น และละลายได้ช้าลง เนื่องจากการการเกิด fat destabilization มากกว่า และการมีอากาศมากจะเป็นฉนวนการส่งผ่านความร้อนเกิดได้ช้าลง (Rosalina และ Richard, 2004)

เมื่อพิจารณาอัตราการละลายต่อ 100 กรัม พบว่าสารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลือง มีอัตราการละลายต่อ 100 กรัม อยู่ในช่วง 0.04-0.06 กรัมต่อนาที(ตารางที่ 4.4) ซึ่งมีค่าน้อยกว่าไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนซึ่งมีอัตราการละลายอยู่ในช่วง 0.19-0.53 กรัมต่อนาที (ตารางที่ 4.4) ซึ่งการใช้สารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลือง มีอัตราการละลายต่ำกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจาก สารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลืองมีความสามารถในการอุ้มน้ำและก่อเจลได้ดี จึงมีอัตราการละลายช้ากว่าตัวอย่างควบคุม ในขณะที่สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีน กลับมีอัตราการละลายเร็วกว่าตัวอย่างควบคุม อาจเนื่องมาจากสารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนเป็น amphiphilic และเป็น surface-active component มีความสามารถในการจับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พื้นผิวของเซลล์อากาศขณะตีปั่นอากาศในไอศกรีมเหลว แต่เซลล์อากาศที่เกิดขึ้นในไอศกรีมไม่คงตัว (Mashall และ Arbuckle, 1996) และประกอบกับความคงตัวของเซลล์อากาศขึ้นกับการเกิด destabilized fat เพื่อทำให้ไขมันเหลวรวมตัวกันหุ้มเซลล์อากาศ ร่วมกับการรวมกลุ่มของเม็ดไขมัน ซึ่งส่งผลต่อความคงตัวของไอศกรีม (shape retention) (Walstra และ Jonkman, 1998) จึงทำให้ไอศกรีมที่ทดแทนไขมันด้วยสารทดแทนไขมันเวย์โปรตีน และมีปริมาณไขมันน้อยกว่า มีอัตราการละลายสูงกว่าสูตรควบคุม และสูตรที่ทดแทนไขมันโดยใช้สารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลือง ซึ่ง สุพัฒน์ (2546) พบว่า ถ้าปริมาณไขมันสูงอัตราการละลายจะต่ำ เช่นเดียวกับการทดลองของ Ohmes *et al*. (1998) พบว่าไอศกรีมสูตรควบคุมซึ่งมีไขมัน 4.8 เปอร์เซ็นต์มีอัตราการละลายช้ากว่าไอศกรีมสูตรลดไขมัน เนื่องจากไขมันสามารถเชื่อมกันแล้วเกิดเป็นโครงร่างตาข่ายล้อมรอบฟองอากาศ และช่วยทำให้ไอศกรีมมีอัตราการละลายช้าลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Guinard *et al*. (1997) พบว่าอัตราการละลายขึ้นอยู่กับปริมาณไขมันมากกว่าปริมาณน้ำตาล ซึ่งถ้าปริมาณไขมันมากอัตราการละลายจะช้ากว่า เนื่องจากระดับไขมันที่ลดลงจะถูกแทนที่ด้วยผลึกน้ำแข็งหรือน้ำ ดังนั้นการลดไขมันจึงมีแนวโน้มทำให้ไอศกรีมมีอัตราการละลายเร็วขึ้นได้ (Abdel-Rahman *et al.,* 1997) อย่างไรก็ตามจากการทดลองนี้พบว่า ไอศกรีมสูตรลดไขมันส่วนใหญ่แล้วมีอัตราการละลายไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)กับสูตรพื้นฐาน เนื่องจากการใช้สารทดแทนไขมันซึ่งเป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรตช่วยให้เกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำได้ ทำให้ความหนืดของไอศกรีมเหลวเพิ่มสูงขึ้น และช่วยต้านการละลายของไอศกรีมได้มากขึ้น (Mashall และ Arbuckle, 1996) อีกประการหนึ่ง การที่น้ำมีพันธะกับสารทดแทนไขมันทำให้น้ำที่จะกลายเป็นน้ำแข็ง หรือน้ำที่อยู่ในรูปของน้ำเชื่อมมีปริมาณน้อยลง การนำความร้อนผ่านไอศกรีมจึงช้าลง ส่งผลให้อัตราการละลายช้าลงได้ (Garcia *et al.,* 1995)

สำหรับเนื้อสัมผัสของไอศกรีมซึ่งวัดเป็นแรงกดสูงสุด พบว่า ไอศกรีมที่ทดแทนไขมันด้วยสารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลือง ซึ่งมีค่าแรงกดสูงสุดอยู่ในช่วง 532.78 - 702.83 กรัม (ตารางที่ 4.4) ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับไอศกรีมที่ทดแทนไขมันด้วยสารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนซึ่งมีค่าแรงกดสูงสุดอยู่ในช่วง 23.31-50.26 กรัม(ตารางที่ 4.4) และมีแนวโน้มว่าค่าความแข็งของไอศกรีมจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณไขมันในสูตรเพิ่มขึ้น และการใช้สารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลือง มีค่าแรงกดสูงสุดมากกว่าการใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนและตัวอย่างควบคุม เนื่องมาจาก สารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลืองมีความสามารถในการอุ้มน้ำและก่อเจลสูง ต้องใช้แรงมากขึ้นในการทำให้เสียรูปร่าง มากกว่าตัวอย่างควบคุมและไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีน ที่มีค่าโอเวอร์รันสูงกว่าซึ่งค่าความแข็งของเนื้อไอศกรีมมีความ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เกี่ยวข้องกับค่าโอเวอร์รันนั่นคือเมื่อไอศกรีมมีค่าโอเวอร์รันต่ำจะได้ไอศกรีมที่มีเนื้อแข็งขึ้น (Mashall และ Arbuckle, 1996) และนอกจากนี้ การใช้สารทดแทนไขมันมีอิทธิพลต่อค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้นของไอศกรีม เช่นเดียวกับ Yackle และ Cox (1992) ที่กล่าวว่าการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมหวานแช่เยือกแข็งไขมันต่ำจำเป็นต้องควบคุมความแข็งของผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มมากขึ้น อันเนื่องมากจากการใช้สารทดแทนไขมันในสูตร

ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสี L* a* และ b* ของไอศกรีมวนิลาที่ใช้สารทดแทนไขมันทั้ง 6 สูตรกับสูตรควบคุม พบว่า ค่าสี L* (ความสว่าง) ของไอศกรีมสูตรควบคุมมีค่าความสว่างไม่แตกต่างกับไอศกรีมที่ทดแทนไขมันด้วยสารทดแทนไขมันเวย์โปรตีน ที่ระดับไขมัน 0.4 และ 5.0 เปอร์เซ็นต์(w/w) แต่มีแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับไอศกรีมที่ทดแทนไขมันด้วยสารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลือง อาจเนื่องมาจากได้รับอิทธิพลจากสีของสารทดแทนไขมันที่มีสีเหลือง โดยเฉพาะสารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลือง ซึ่งมีเหลืองมากกว่าสารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนมาก จึงมีผลทำให้ค่าสี L* (ความสว่าง) แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมีผลจากปริมาณไขมันที่สูงกว่าไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมัน เนื่องจากเมื่อปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความสว่างเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับการทดลองของ Roland *et al.* (1999) พบว่า สีของไอศกรีมจะมีสีขาวสว่างมากขึ้น เมื่อปริมาณไขมันมากขึ้น

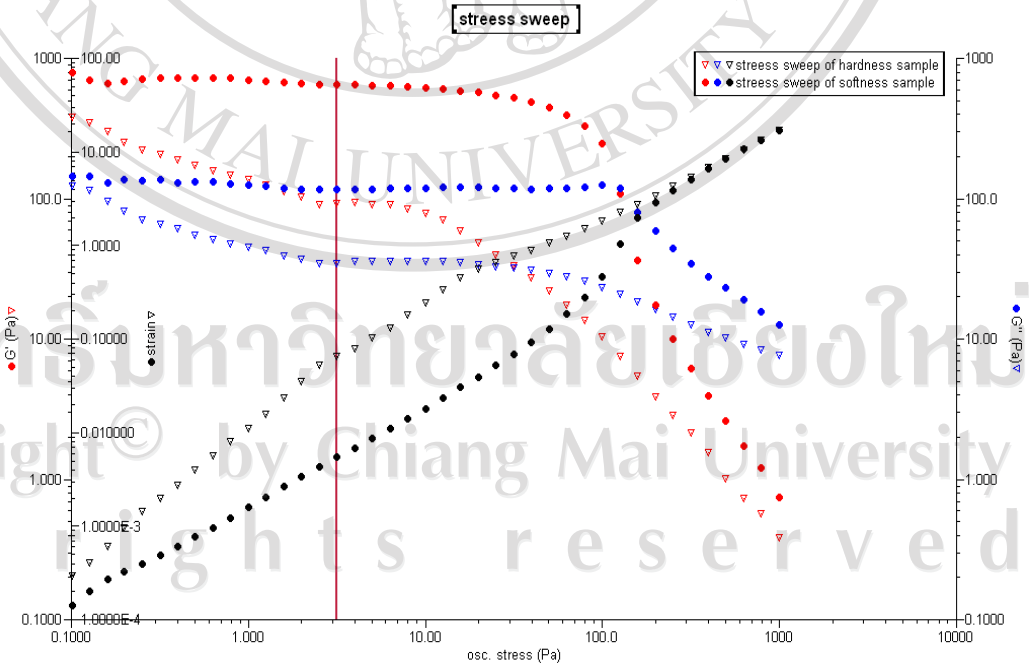
ส่วนค่าสี a* (สีแดง-สีเขียว) พบว่า ค่า a* เป็นค่าสีเขียว(ค่าเป็นลบ) ของไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีน และไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลืองทุกสูตร มีค่าต่ำกว่าไอศกรีมสูตรควบคุม คือมีค่าอยู่ระหว่าง -0.44 ถึง -1.71 (ตารางที่ 4.3) ในขณะที่ไอศกรีมสูตรควบคุมมีค่าเท่ากับ -2.32

ส่วนค่าสี b (สีเหลือง-น้ำเงิน) พบว่า ค่า b* เป็นค่าของสีเหลือง (ค่าเป็นบวก) ของไอศกรีมวนิลาที่ใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีน และไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลืองทุกสูตร มีความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับไอศกรีมสูตรควบคุม โดยมีแนวโน้มมากกว่าสูตรควบคุม คือมีค่าเท่ากับ +14.41 ถึง +16.59 (ตารางที่ 4.4) ในขณะที่ไอศกรีมสูตรควบคุมมีค่า +12.05 สอดคล้องกับการทดลองของ Guinard *et al.* (1997) พบว่า เมื่อใช้ระดับน้ำตาล และไขมันระดับต่ำ มีผลทำให้สีของไอศกรีมวนิลาจะมีสีเหลืองมากกว่าเมื่อเทียบกับการใช้ปริมาณน้ำตาล และไขมันที่ระดับกลางและสูง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลของสารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนต่อคุณสมบัติทางรีโอโลยีของไอศกรีมวนิลาลดไขมัน โดยทำการทดสอบหาความเค้นที่เหมาะสม โดยวิธี stress sweep step เพื่อใช้ในการทำนายช่วง Linear Viscoelastic Region(LVR) ของไอศกรีมวนิลาลดไขมันที่ใช้สารทดแทนไขมัน โดยแสดงสมบัติวิสโคอิลาสติกเชิงเส้น (linear viscoelastic) ซึ่งแสดงค่าระหว่าง elastic modulus (G′) ค่า viscous modulus (G″) และ loss tangent (tan δ) โดยกำหนดให้มีความถี่ (frequency) 1.0 เฮิร์ท ช่วงความเค้นสั่น (oscillating stress) 0.1-1,000 ปาสคาล gap 2,500 มิลลิเมตร ใช้หัววัด 25 mm plate and plate geometry อุณหภูมิของเครื่องรีโอมิเตอร์ขณะทดสอบเท่ากับ -7 องศาเซลเซียส

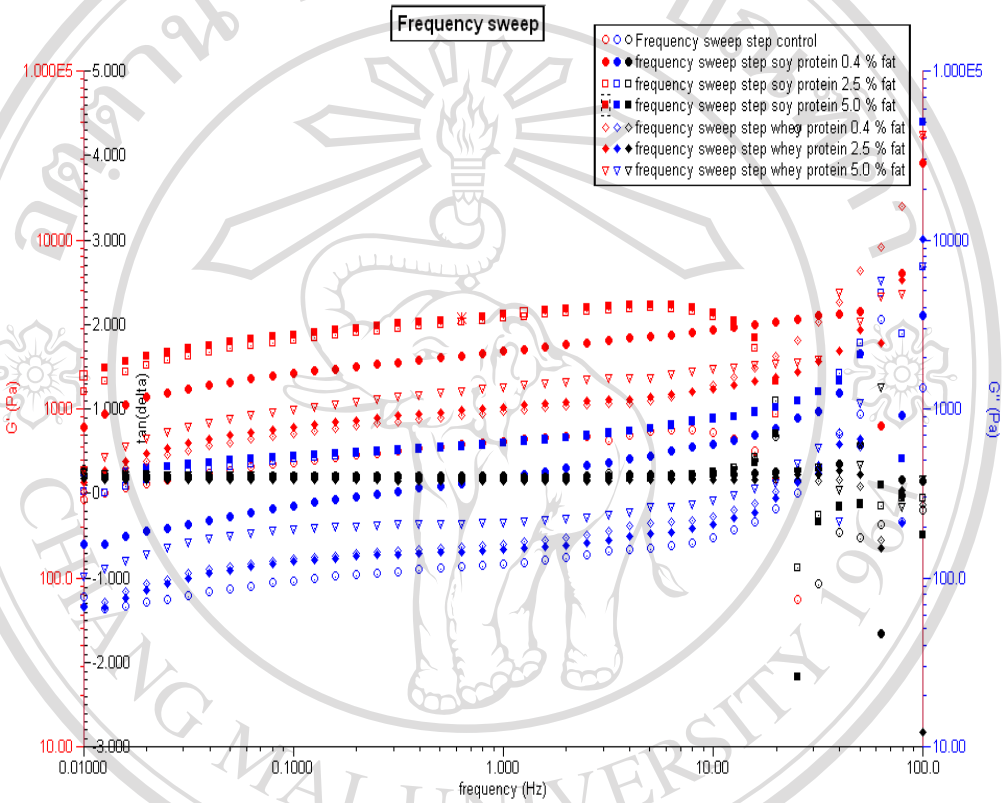
จากภาพ 4.1 ตัวอย่างของไอศกรีมวนิลาลดไขมันที่มีความแข็งสูงสุด และอ่อนที่สุด แสดงช่วง Linear Viscoelastic Region (LVR) ของไอศกรีมวนิลาลดไขมันที่ใช้สารทดแทนไขมัน อยู่ในช่วงความเค้นสั่นประมาณ 2-6 ปาสคาล จึงทำการคัดเลือกค่าความเค้นสั่น (Osc.stress) เท่ากับ 3.162 ปาสคาล ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุด เพื่อใช้ในการศึกษาสมบัติทางรีโอโลยีโดยวิธี frequency sweep step ที่ความถี่ 0.1-100 เฮิร์ท เพื่อศึกษาค่า elastic modulus (G′) ค่า viscous modulus (G″) loss tangent (tan δ) และค่า complex viscosity (η*)



ภาพที่ 4.1 สมบัติวิสโคอิลาสติกเชิงเส้นของไอศกรีมวนิลาลดไขมัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการผลิตไอศกรีมวนิลาลดไขมัน โดยใช้สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีน 2 ชนิด คือเวย์โปรตีน และโปรตีนถั่วเหลือง เพื่อศึกษาผลของสารทดแทนไขมันชนิดโปรตีนทั้งสองชนิดต่อคุณสมบัติทางรีโอโลยีของไอศกรีมวนิลาลดไขมัน โดยเลือกค่าของสมบัติทางรีโอโลยีที่ความถี่ 1 เฮิซ์ท เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบและการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ แสดงดังภาพที่ 4.2 4.3 และตารางที่ 4.4

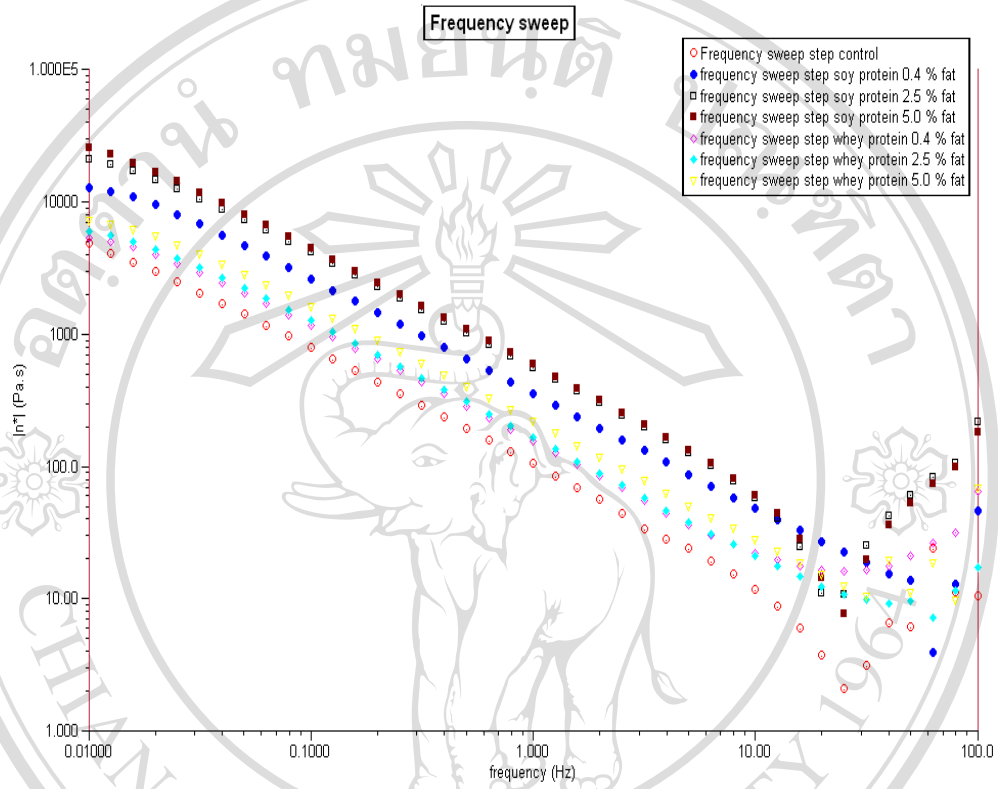


ภาพที่ 4.2 ค่า elastic modulus (G′) ค่า viscous modulus (G″) และloss tangent (tan δ) ของไอศกรีมวนิลาลดไขมันที่ใช้สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนและสูตรควบคุม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากภาพที่ 4.2 แสดงค่า elastic modulus (G′) มีค่าสูงกว่า viscous modulus (G″) ในทุก ๆ ความถี่ แสดงถึงลักษณะเด่นของสมบัติของแข็งยืดหยุ่น (elastic) ของไอศกรีมวนิลา และพบว่า ค่า elastic modulus (G′) และ viscous modulus (G″) มีค่าเพิ่มขึ้นตามความถี่ที่เปลี่ยนไปแสดงถึงการเพิ่มขึ้นของส่วนที่เป็นน้ำแข็ง ทำให้ความแข็งของไอศกรีมเพิ่มขึ้น หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงการเรียงตัวของโครงสร้างภายในไอศกรีม (Granger *et al.*, 2005) แต่ก็เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และจะเริ่มเสียสภาพ เมื่อความถี่มากกว่า 10 เฮิซ์ท อาจเนื่อง

มากจาก ผลึกน้ำแข็งเกิดการละลายหรือโครงสร้างอื่น เช่น ฟองอากาศ, โครงสร้างของไขมัน, โปรตีน หรือ stabilizer เกิดการเปลี่ยนแปลงหรือถูกทำลายจากความถี่มากเกินไป



ภาพที่ 4.3 ค่า complex viscosity (η*) ของไอศกรีมวนิลาลดไขมันที่ใช้สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีน และสูตรควบคุม

จากภาพที่ 4.3 แสดง ค่าความหนืดเชิงซ้อน หรือcomplex viscosity (η*) ของไอศกรีมวนิลาที่ใช้สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนสองชนิด เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม พบว่าค่าความหนืดเชิงซ้อน หรือ complex viscosity (η*) ของไอศกรีมวนิลาที่ใช้สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนทั้งสองชนิดมีค่า ค่าความหนืดเชิงซ้อน หรือcomplex viscosity (η*) สูงกว่าตัวอย่างควบคุมในทุก ๆ ความถี่ และมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ และลดลงอย่างรวดเร็วตามความถี่ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากที่ความถี่สูงไม่มีเวลานานพอที่จะทำให้โพลิเมอร์ที่ประสานกันได้แยกจากกันอย่างสมบูรณ์ และเกิดการคลาย cross-link แสดงถึงไอศกรีมวนิลาเป็นพันธะที่ไม่แข็งแรง และแสดงลักษณะการไหลแบบ Non-newtonian liquid แบบ shear thinning (pseudoplastic)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.5 ผลของสารทดแทนไขมันต่อคุณสมบัติทางรีโอโลยีของไอศกรีมวนิลาลดไขมันที่ใช้สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีน 2 ชนิดคือเวย์ โปรตีนและโปรตีนถั่วเหลือง โดยแปรผันระดับไขมัน 3 ระดับคือ 0.4, 2.5 และ 5.0 เปอร์เซ็นต์ (w/w) ที่ความถี่ 1 เฮริซ์ท

สารทดแทนไขมัน	ไขมัน (เปอร์เซ็นต์) (w/w)	G' (Pa.)	G" (Pa.)	tan δ	η* (Pa.s)
Whey protein	0.4	1062.67 ^{b} ±54.29	157.30 ^{a} ± 15.51	0.16 ^{bc} ±0.02	154.70 ^{b} ±15.27
Whey protein	2.5	1061.67 ^{b} ± 55.16	138.22 ^{a} ±14.24	0.14 ^{a} ±0.01	160.35 ^{b} ± 13.07
Whey protein	5.0	1373.33 ^{c} ± 89.04	216.88 ^{b} ± 24.04	0.16 ^{b} ±0.01	215.93 ^{c} ± 30.43
Soy protein	0.4	1954.00 ^{d} ±75.40	386.65 ^{c} ± 45.50	0.18 ^{d} ±0.01	364.98 ^{d} ± 48.09
Soy protein	2.5	3451.50 ^{e} ± 56.20	625.47 ^{d} ±78.22	0.18 ^{d} ± 0.00	558.25 ^{e} ±69.41
Soy protein	5.0	3569.50 ^{f} ± 81.61	634.23 ^{d} ±68.00	0.17 ^{cd} ±0.00	587.43 ^{e} ±62.67
สูตรควบคุม	7.0	649.02 ^{a} ± 38.66	121.27 ^{a} ±9.28	0.19 ^{d} ±0.00	105.09 ^{a} ±6.31

หมายเหตุ : - ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ
± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.5 แสดงค่า elastic modulus (G′) ค่า viscous modulus (G″) loss tangent (tan δ) และ complex viscosity (η*) พบว่า ค่า elastic modulus (G′) ค่า viscous modulus (G″) และ complex viscosity (η*) ของไอศกรีมที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองที่ระดับไขมัน 5 เปอร์เซ็นต์ (w/w) มีค่าสูงที่สุด และมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีระดับไขมันในสูตรลดลง ในขณะที่ไอศกรีมวนิลาที่ใช้เวย์โปรตีนมีค่า elastic modulus (G′) ต่ำกว่า และมีค่าใกล้เคียงกับสูตรควบคุมมากกว่า คือมีค่าเท่ากับ 1062.67 1061.67 และ1373.33 Pa เมื่อมีไขมันในสูตรเท่ากับ 0.4 2.5 และ 5.0 เปอร์เซ็นต์ (w/w) ตามลำดับ(ตารางที่ 4.5) ซึ่งค่า elastic modulus (G′) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณไขมันในสูตรไอศกรีมเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างไอศกรีมที่มีไขมัน 0.4 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์(w/w) ส่วนตัวอย่างควบคุมมีค่า elastic modulus (G′) เท่ากับ 649.02 Pa. ส่วนค่า viscous modulus (G″) มีแนวโน้มเช่นเดียวกับค่า elastic modulus (G′) คือไอศกรีมวนิลาที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองที่ระดับไขมัน 5.0 เปอร์เซ็นต์(w/w) มีค่า viscous modulus (G″) สูงที่สุดคือ 634.23 Pa. แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

($P \leq 0.05$) กับไอศกรีมวนิลาที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองที่ระดับไขมัน 2.5 เปอร์เซ็นต์(w/w) ที่มีค่า viscous modulus (G″) เท่ากับ 625.47 Pa. ส่วนไอศกรีมวนิลาที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองที่ระดับไขมัน 0.4 เปอร์เซ็นต์(w/w) มีค่า viscous modulus (G″) ต่ำที่สุดคือ 386.65 Pa. ในขณะที่ไอศกรีมวนิลาที่ใช้เวย์โปรตีนจะมีค่า viscous modulus (G″) ต่ำกว่าไอศกรีมวนิลาที่ใช้โปรตีนถั่วเหลือง โดยพบว่า ไอศกรีมที่ใช้เวย์โปรตีนที่ระดับไขมัน 0.4 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์(w/w) ซึ่งมีค่า viscous modulus (G″) เท่ากับ157.30 และ138.22 Pa ตามลำดับ(ตารางที่ 4.5) ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับตัวอย่างควบคุมที่มีค่า viscous modulus (G″) เท่ากับ 121.27 Pa. (ตารางที่ 4.4) ส่วนค่าความหนืดเชิงซ้อน หรือcomplex viscosity (η*) ของไอศกรีมที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองมีค่าเท่ากับ 364.98, 558.25 และ 587.43 Pa.s เมื่อมีไขมันในสูตรเท่ากับ 0.4 2.5 และ 5.0 เปอร์เซ็นต์(w/w) ตามลำดับ(ตารางที่ 4.5) เนื่องจากคุณสมบัติในการก่อเจล และอุ้มน้ำสูง ทำให้เกิดโครงสร้างที่แข็งแรงกว่าการใช้เวย์โปรตีน ซึ่งมีค่าความหนืดเชิงซ้อน หรือcomplex viscosity (η*) ต่ำกว่าและใกล้เคียงกับสูตรควบคุมมากกว่า คือมีค่าเท่ากับ 154.70, 160.35 และ 215.93 Pa.s เมื่อมีไขมันในสูตรเท่ากับ 0.4 2.5 และ 5.0 เปอร์เซ็นต์(w/w) ตามลำดับ(ตารางที่ 4.5) ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมมีค่าความหนืดเชิงซ้อน หรือcomplex viscosity (η*) เท่ากับ 105.09 Pa.s(ตารางที่ 4.5) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความแข็ง (hardness)ของไอศกรีมซึ่งพบว่าถ้าค่าความแข็งของไอศกรีมเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าelastic modulus (G′) viscous modulus (G″) และค่าความหนืดเชิงซ้อน complex viscosity (η*) เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงถึงพฤติกรรมที่เพิ่มขึ้นด้วย แสดงว่าปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มทำให้ค่า elastic modulus (G′) viscous modulus (G″) และค่าความหนืดเชิงซ้อน complex viscosity (η*) มีค่าเพิ่มขึ้น และการใช้สารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลืองจะทำให้ไอศกรีมวนิลามีค่า elastic modulus (G′) viscous modulus (G″) และค่าความหนืดเชิงซ้อน หรือcomplex viscosity (η*) สูงกว่าการใช้เวย์โปรตีน ส่วนค่า loss tangent ($\tan \delta$) มีค่าต่ำ คือ 0.14-0.19 (ตารางที่ 4.5) แสดงสถานะยืดหยุ่น(elastic)สูงและวัสดุไหล(viscous)ต่ำ ซึ่งการที่มีค่า elastic modulus (G′)สูง ในขณะที่ค่า loss tangent ($\tan \delta$) มีค่าต่ำแสดงถึงการมีโครงสร้างที่ดีของไอศกรีม (Granger *et al.*, 2005)

จากการวิเคราะห์สมบัติทางรีโอโลยี แสดงให้เห็นว่า ไอศกรีมวนิลาลดไขมันที่ใช้สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนทั้งสองชนิด จะมีค่า elastic modulus (G′) สูงกว่าค่า viscous modulus (G″) และมีค่า loss tangent ($\tan \delta$) ต่ำ ในทุกหน่วยการทดลอง แสดงว่าพฤติกรรมของของแข็งมากกว่าพฤติกรรมของของเหลว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของไอศกรีมวนิลาที่ใช้สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีน 2 ชนิดคือเวย์โปรตีนและโปรตีนถั่วเหลือง โดยแปรผันระดับไขมัน 3 ระดับ คือ 0.4, 2.5 และ 5.0 เปอร์เซ็นต์ (w/w)

สารทดแทนไขมัน	ปริมาณไขมัน (เปอร์เซ็นต์) (w/w)	TSS (เปอร์เซ็นต์ Brix)	ปริมาณไขมัน (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณโปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์) ^{ns}
โปรตีนถั่วเหลือง	0.4	$27.50^{b} \pm 0.11$	$0.46^{a} \pm 0.04$	$2.90^{b} \pm 0.05$	34.38 ± 0.00
โปรตีนถั่วเหลือง	2.5	$28.40^{c} \pm 0.00$	$2.50^{b} \pm 0.05$	$2.65^{a} \pm 0.04$	34.58 ± 0.00
โปรตีนถั่วเหลือง	5.0	$29.23^{d} \pm 0.15$	$5.01^{c} \pm 0.04$	$3.36^{c} \pm 0.21$	33.91 ± 1.64
เวย์โปรตีน	0.4	$28.20^{c} \pm 0.00$	$0.42^{a} \pm 0.02$	$4.20^{d} \pm 0.09$	33.91 ± 1.64
เวย์โปรตีน	2.5	$29.53^{e} \pm 0.52$	$2.54^{b} \pm 0.03$	$3.47^{c} \pm 0.19$	33.91 ± 1.64
เวย์โปรตีน	5.0	$29.40^{de} \pm 0.00$	$5.07^{c} \pm 0.12$	$3.09^{b} \pm 0.02$	33.91 ± 1.64
สูตรควบคุม	7.0	$26.00^{a} \pm 0.00$	$7.02^{d} \pm 0.02$	$3.43^{c} \pm 0.30$	33.91 ± 1.64

หมายเหตุ : - ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกัน อย่าง มีนัยสำคัญทางสถิติโดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

- ns = ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

สำหรับสมบัติทางเคมีพบว่า ไอศกรีมที่ทดแทนไขมันด้วยสารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลือง และเวย์โปรตีน มีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดในสูตรเพิ่มขึ้นจากสูตรควบคุม นั่นคือ สูตรควบคุมมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดร้อยละ 26.00 (ตารางที่ 4.6) ในขณะที่ ไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลือง และเวย์โปรตีนมีปริมาณของแข็งที่ได้ทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 27.50 -29.23 และ 28.20 -29.40 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.6) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อใช้สารทดแทนไขมันเพิ่มขึ้น ปริมาณของแข็งทั้งหมดในไอศกรีมนั้น จะได้มาจากส่วนผสมอื่น ๆ มากกว่าน้ำ และโดยปรกติแล้วไอศกรีมที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดสูงกว่า จะทำให้ได้ไอศกรีมที่มีคุณภาพดีกว่า ซึ่งปริมาณของแข็งทั้งหมดในไอศกรีมช่วยเพิ่มคุณค่าทางอาหาร ให้ความหนืด และปรับปรุงรูปร่างและเนื้อสัมผัสของไอศกรีม เมื่อปริมาณของมากขึ้นปริมาณน้ำในการแข็งตัวลดลงทำให้ไอศกรีม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นุ่มขึ้น (Mashall และ Arbuckle, 1996) เช่นเดียวกับการทดลองของ Schmidt *et al.* (1993) ที่พบว่าไอซ์มิลค์ (ice milk) สูตรที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดต่ำกว่ามีอัตราการละลายเร็วกว่าสูตรที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดมากกว่า ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก เมื่อปริมาณของแข็งทั้งหมดน้อยลงปริมาณสารที่สามารถดูดซับน้ำก็น้อยลงด้วย และเมื่อมีปริมาณน้ำอิสระในรูปน้ำแข็งอยู่มากกว่าทำให้ไอศกรีมละลายได้เร็วกว่า ดังนั้นการที่มีเปอร์เซ็นต์ของแข็งทั้งหมดน้อยลง การดูดซับน้ำจะน้อยลง ทำให้มีปริมาณน้ำอิสระมากขึ้น จึงทำให้ปริมาณน้ำที่แข็งตัวเป็นน้ำแข็งมากขึ้น และจากค่าการนำความร้อนของน้ำแข็งสูงกว่าน้ำประมาณ 4 เท่า (Fennema, 1996) ดังนั้นน้ำแข็งจึงนำความร้อนได้สูงกว่าน้ำ และทำให้ไอศกรีมละลายเร็วขึ้น และสอดคล้องกับการทดลองของ Roland *et al.* (1999) เปรียบเทียบการละลายของไอศกรีมที่มีไขมัน 10 เปอร์เซ็นต์ กับไอศกรีมที่มีไขมัน 0.1เปอร์เซ็นต์ พบว่า ไอศกรีมที่มีไขมัน 10 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการละลายช้ากว่า ไอศกรีมที่มีไขมัน 0.1 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ปริมาณโปรตีน พบว่าการใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนมีปริมาณโปรตีนมากกว่าการใช้สารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลือง โดยมีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 3.09-4.20 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่โปรตีนถั่วเหลืองมีโปรตีนเท่ากับ 2.90-3.36 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.6) และพบว่าไอศกรีมที่ใช้เวย์โปรตีนระดับไขมัน 2.5 เปอร์เซ็นต์ (w/w) และโปรตีนถั่วเหลืองระดับไขมัน 5.0 เปอร์เซ็นต์ (w/w) มีปริมาณโปรตีนไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับตัวอย่างควบคุมที่มีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 3.43 เปอร์เซ็นต์

สำหรับปริมาณน้ำตาลทั้งหมด พบว่าไม่แตกต่างกับสูตรควบคุม ทั้งไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลือง และเวย์โปรตีน กล่าวได้ว่า ปริมาณไขมันที่แตกต่างกัน และการใช้สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีน 2 ชนิดที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในสูตรของไอศกรีมลดไขมัน

ดังนั้นจากการทดสอบทางกายภาพ และเคมี ซึ่งพบว่าไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนที่ระดับไขมัน 5 เปอร์เซ็นต์ มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับสูตรควบคุมมากที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.7 ค่าคะแนนสัดส่วนเฉลี่ยของแต่ละลักษณะจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมวนิลาที่ใช้สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีน 2 ชนิด คือเวย์ โปรตีนและโปรตีนถั่วเหลือง โดยแปรผันระดับไขมัน 3 ระดับ คือ 0.4, 2.5 และ 5.0 เปอร์เซ็นต์ (w/w)

สารทดแทนไขมัน	ปริมาณไขมัน (เปอร์เซ็นต์) (w/w)	ความเรียบเนียน	สี	กลิ่นวนิลา	ความมัน	ความเหนียวหนืด	การละลายในปาก	ความชอบรวม
Whey protein	0.40	6.94 ^{c} ± 1.48	7.24 ^{d} ± 0.98	6.78 ^{c} ± 1.33	7.02 ^{c} ± 1.33	7.02 ^{b} ± 1.44	6.96 ^{b} ± 1.29	6.96 ^{c} ± 1.16
Whey protein	2.50	6.98 ^{c} ± 1.29	7.12 ^{d} ± 1.10	6.74 ^{c} ± 1.16	6.62 ^{c} ± 1.18	6.62 ^{b} ± 1.34	6.88 ^{b} ± 1.21	6.86 ^{c} ± 0.97
Whey protein	5.00	7.02 ^{c} ± 1.20	7.14 ^{d} ± 0.97	6.90 ^{c} ± 1.05	7.08 ^{c} ± 1.08	8.32 ^{b} ± 1.81	7.08 ^{b} ± 0.85	7.32 ^{c} ± 0.89
Soy protein	0.40	4.44 ^{a} ± 1.69	4.00 ^{a} ± 1.85	4.42 ^{a} ± 1.60	4.30 ^{a} ± 1.54	4.12 ^{a} ± 1.64	4.34 ^{a} ± 1.53	3.98 ^{a} ± 1.43
Soy protein	2.50	4.78 ^{a} ± 1.76	4.64 ^{b} ± 1.88	4.72 ^{ab} ± 1.97	4.66 ^{a} ± 1.55	4.36 ^{a} ± 1.52	4.56 ^{a} ± 1.67	4.42 ^{ab} ± 1.55
Soy protein	5.00	5.40 ^{b} ± 1.60	5.28 ^{c} ± 2.04	5.06 ^{b} ± 1.72	5.00 ^{a} ± 1.64	4.78 ^{a} ± 1.69	4.78 ^{a} ± 1.69	4.82 ^{b} ± 1.47
สูตรควบคุม	7.00	7.92 ^{d} ± 1.16	7.92 ^{e} ± 1.10	7.64 ^{d} ± 1.00	7.78 ^{bc} ± 0.93	7.90 ^{c} ± 0.79	7.90 ^{c} ± 0.73	8.08 ^{d} ± 0.75

หมายเหตุ : - ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดสอบชิมของผู้บริโภคจำนวน 50 คน ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส แสดงดังตารางที่ 4.7 จะเห็นว่าไอศกรีมสูตรควบคุมมีคะแนนของทุกคุณลักษณะที่ทดสอบสูง เมื่อเปรียบเทียบกับไอศกรีมสูตรลดไขมันทุกสูตร แต่พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับไอศกรีมสูตรลดไขมันที่ใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีน ระดับไขมัน 5.0 เปอร์เซ็นต์(w/w)

ด้านความเรียบเนียนพบว่า ตัวอย่างควบคุมมีคะแนนความชอบแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับไอศกรีมลดไขมันทั้ง 6 สูตร โดยไอศกรีมลดไขมันที่ใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนได้รับคะแนนความชอบด้านความเรียบเนียนเท่ากับ 6.94, 6.98 และ7.02 คะแนน เมื่อมีไขมันในสูตรเท่ากับ 0.4, 2.5 และ 5.0 เปอร์เซ็นต์(w/w) ตามลำดับ(ตารางที่ 4.7) ซึ่งมีคะแนนความชอบใกล้เคียงกับสูตรควบคุมที่มีคะแนนความชอบเท่ากับ 7.92 คะแนนและมากกว่าไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลืองที่ได้รับคะแนนความชอบเท่ากับ 4.44, 4.78 และ5.40 คะแนน เมื่อมีไขมันในสูตรเท่ากับ 0.4, 2.5 และ 5.0 เปอร์เซ็นต์(w/w) ตามลำดับ(ตารางที่ 4.7) เนื่องจากสารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนมีหมู่ฟังก์ชั่นนัลในสูตรโครงสร้างทางเคมี เช่นพันธะไดซัลไฟด์ซึ่งสามารถจับกับน้ำได้ทำให้น้ำอิสระในไอศกรีมมีปริมาณน้อยลง นอกจากนี้ความหนืดของไอศกรีมยังช่วยขัดขวางการเคลื่อนที่ของ crystal nuclei ดังนั้นผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นจึงมีขนาดเล็ก ช่วยให้ไอศกรีมมีความเรียบเนียนเพิ่มขึ้นได้(นันทินา, 2544) ซึ่งมีความแตกต่างกับสารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลืองที่สามารถดูดน้ำในสูตร และก่อเจลสูง ทำให้น้ำอิสระลดลงทำให้ไอศกรีมที่ได้มีเนื้อสัมผัสที่หยาบ และมีค่าความแข็งสูงกว่าตัวอย่างที่ใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีน และตัวอย่างควบคุมมากส่งผลให้ได้รับคะแนนความชอบด้านความเรียบเนียนต่ำกว่า และการลดปริมาณไขมันทำให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสที่หยาบขึ้นได้(พัชรินทร์, 2544) โดยจะเห็นว่าคะแนนความชอบจะเพิ่มขึ้น เมื่อมีปริมาณไขมันสูตรเพิ่มขึ้น แต่สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนมีคะแนนความเรียบเนียนใกล้เคียงกับสูตรควบคุมมากกว่าการใช้สารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลือง จึงกล่าวได้ว่าสารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนจึงมีส่วนช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คะแนนความชอบด้านสีของไอศกรีมสูตรควบคุมมีคะแนนความชอบสูงที่สุดเท่ากับ 7.92 คะแนน และมีคะแนนความชอบแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) กับไอศกรีมสูตรลดไขมันทุกตัวอย่าง โดยไอศกรีมลดไขมันที่ใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนมีคะแนนความชอบเท่ากับ 7.24, 7.12 และ7.14 คะแนน เมื่อมีไขมันในสูตรเท่ากับ 0.4, 2.5 และ 5.0 เปอร์เซ็นต์(w/w) ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7) และมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) ซึ่งปริมาณไขมันที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อค่าคะแนนความชอบด้านสีของไอศกรีมวนิลาลดไขมันที่ใช้สาร

ทดแทนไขมันเวย์โปรตีน และมีคะแนนมากกว่าไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลืองที่ได้รับคะแนนความชอบด้านสีเท่ากับ 4.00, 4.64 และ5.28 คะแนน เมื่อมีไขมันในสูตรเท่ากับ 0.4, 2.5 และ 5.0 เปอร์เซ็นต์ (w/w) ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7) มีแนวโน้มว่าผู้ชิมจะให้คะแนนความชอบด้านสีเพิ่มขึ้น เมื่อมีปริมาณไขมันในสูตรเพิ่มขึ้น เนื่องจากไอศกรีมนมควรมีสีขาว หรือสีเหลืองอ่อน แต่การใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนและโปรตีนถั่วเหลือง เป็นวัตถุดิบซึ่งมีสีเหลือง จึงส่งผลให้ไอศกรีมสูตรลดไขมันมีสีเหลือง โดยเฉพาะการใช้สารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลืองที่มีสีเหลืองเข้ม ไอศกรีมลดไขมันที่ได้จึงมีสีเหลืองเข้มส่งผลให้ได้คะแนนทางประสาทสัมผัสต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมและไอศกรีมลดไขมันที่ใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีน และมีแนวโน้มว่า เมื่อเพิ่มปริมาณไขมันในสูตรจะส่งผลให้มีคะแนนความชอบด้านสีเพิ่มขึ้นด้วย สอดคล้องกับการทดลองของ Guinard *et al.* (1997) พบว่า เมื่อใช้ระดับน้ำตาลและไขมันระดับต่ำสีของไอศกรีมวนิลาจะมีสีเหลืองมากกว่าเมื่อเทียบกับการใช้ปริมาณน้ำตาล และไขมันที่ระดับกลางและสูง

ด้านกลิ่นวนิลา พบว่าคะแนนความชอบด้านกลิ่นวนิลามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) ระหว่างไอศกรีมสูตรควบคุม และไอศกรีมสูตรลดไขมันทุกระดับไขมัน เนื่องจากไขมันทำหน้าที่เป็นตัวพาและปลดปล่อยกลิ่นรสของไอศกรีม (Kilara, 1998) ซึ่งจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่า คะแนนความชอบด้านกลิ่นวนิลาของไอศกรีมสูตรลดไขมันที่ใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีน มีคะแนนความชอบด้านกลิ่นวนิลาเท่ากับ 6.78, 6.74 และ6.90 คะแนน เมื่อมีไขมันในสูตรเท่ากับ 0.4, 2.5 และ 5.0 เปอร์เซ็นต์(w/w) ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7) ซึ่งแสดงถึงผู้ชิมชอบเล็กน้อย และปริมาณไขมันที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อคะแนนความชอบด้านกลิ่นวนิลาของไอศกรีมวนิลาลดไขมันที่ใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีน ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมมีคะแนนความชอบเท่ากับ 7.64 คะแนน ซึ่งหมายถึง ชอบปานกลาง แต่ไอศกรีมสูตรลดไขมันที่ใช้สารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลืองได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นวนิลาเท่ากับ 4.42, 4.64 และ 5.06 คะแนน เมื่อมีไขมันในสูตรเท่ากับ 0.4, 2.5 และ 5.0 เปอร์เซ็นต์(w/w) ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7) ซึ่งมีคะแนนความชอบอยู่ในระดับต่ำ เนื่องจากมีกลิ่นของโปรตีนถั่วเหลืองไปบดบังกลิ่นรสของไอศกรีมวนิลาส่งผลให้ได้รับคะแนนความชอบต่ำ เช่นเดียวกับการทดลองของ Li *et al.* (1997) ศึกษาผลของไขมันนมต่อกลิ่นวนิลาในไอศกรีมที่ใช้ไขมันนมตั้งแต่ 0.5–10 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เครื่อง HPLC วัดเปอร์เซ็นต์วานิลิน (vanillin) พบว่า จำนวนวานิลินอิสระลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณไขมัน และจากการประเมินทางประสาทสัมผัสโดยผู้ชิมที่ผ่านการฝึกฝน พบว่า กลิ่นวนิลาไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ผลการทดสอบชิมบอกได้ว่า คุณภาพทางประสาทสัมผัสและการยอมรับรวมของไอศกรีมดีขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณไขมันในสูตรไอศกรีมเพิ่มขึ้น และระดับไขมันเพิ่มขึ้นทำให้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ระยะเวลาการรับรู้กลิ่นวนิลานานขึ้น โดยให้ผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในไอศกรีมแต่ละสูตร สอดคล้องกับการทดลองของ Ohmes *et al.* (1998) รายงานว่า ไขมันเป็นตัวพาหลักสารให้กลิ่นรสที่เติมลงในไอศกรีมระหว่างไอศกรีมละลายในปากการยอมรับรวมจึงแตกต่างกันเมื่อปริมาณไขมันแตกต่างเมื่อมีปริมาณไขมันแตกต่างกัน ซึ่งสารให้กลิ่นรสส่วนใหญ่เป็น fat soluble จะถูกนำเข้าไปในปากและระเหยสู่ sensory reception olfactory system เมื่อไขมันมีไม่พอที่จะพาสารให้กลิ่นรสได้ กลิ่นรสก็จะระเหยไปอย่างรวดเร็ว เป็นเหตุให้คะแนนความชอบด้านกลิ่นรสลดลง

ด้านความมันพบว่า ไอศกรีมสูตรควบคุมและสูตรลดไขมันที่ใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนที่ระดับไขมันทั้ง 3 ระดับมีค่าคะแนนความชอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คือไอศกรีมสูตรควบคุมได้รับคะแนนความชอบด้านความมันเท่ากับ 7.78 คะแนน ในขณะที่ไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนได้รับคะแนนความชอบเท่ากับ 7.02, 6.62 และ 6.90 คะแนน เมื่อมีไขมันในสูตรเท่ากับ 0.4, 2.5 และ 5.0 เปอร์เซ็นต์(w/w) ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7) แต่มีคะแนนความชอบแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับไอศกรีมสูตรลดไขมันที่ใช้สารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลืองซึ่งมีคะแนนความชอบด้านความมันต่ำที่สุด เท่ากับ 4.30, 4.66 และ5.00 คะแนน เมื่อมีไขมันในสูตรเท่ากับ 0.4, 2.5 และ 5.0 เปอร์เซ็นต์(w/w) ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7) และเมื่อปริมาณไขมันในสูตรลดลง ค่าคะแนนความชอบด้านความมันจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสลดลง แสดงว่าไขมันในสูตรมีผลต่อความชอบด้านความมันของผู้ชิม

ความเหนียวหนืดและการละลายในปากมีคะแนนความชอบในทิศทางคล้ายกัน เมื่อความเหนียวหนืดของไอศกรีมมากขึ้นจะเกิดลักษณะเหนียวคล้ายยาง (gummy) ทำให้การละลายในปากลดลง ซึ่งเป็นข้อบกพร่องชนิดหนึ่งที่เกิดขึ้นในไอศกรีม(Marshall และ Arbuckle, 1996) ด้วยเหตุผลดังกล่าวอาจทำให้ผู้ชิมให้คะแนนความชอบด้านความเหนียวหนืดและการละลายในปากกับสูตรควบคุมสูงและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากไอศกรีมวนิลาลดไขมัน แต่จะพบว่าไอศกรีมลดไขมันที่ใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีน จะมีคะแนนความชอบด้านความเหนียวหนืดไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม โดยไอศกรีมสูตรลดไขมันที่ใช้เวย์โปรตีนที่ระดับไขมัน 5 เปอร์เซ็นต์(w/w) มีคะแนนความชอบด้านความเหนียวหนืดสูงที่สุดคือ 8.32 คะแนน ในขณะที่สูตรควบคุมได้คะแนน 7.90 คะแนน และไอศกรีมสูตรลดไขมันที่ใช้สารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลืองได้คะแนนความชอบต่ำกว่าไอศกรีมสูตรควบคุม และสูตรที่ใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีน และมีแนวโน้มว่าไอศกรีมลดไขมันสูตรที่มีปริมาณไขมันมากขึ้นจะได้รับคะแนนความชอบมากกว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คะแนนความชอบรวม พบว่า ไอศกรีมสูตรควบคุมมีคะแนนความชอบรวมสูงที่สุด คือ 8.08 คะแนนค่าที่ได้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)จากไอศกรีมวนิลาลดไขมันทั้ง 6 สูตร โดยไอศกรีมที่ลดไขมันโดยใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีน มีคะแนนความชอบเท่ากับ 6.96, 6.86 และ7.32 คะแนน เมื่อมีไขมันในสูตรเท่ากับ 0.4, 2.5 และ 5.0 เปอร์เซ็นต์(w/w) ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7) ซึ่งมีคะแนนความชอบรวมมากกว่าสารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลืองที่มีคะแนนความชอบรวมเท่ากับ 3.98, 4.42 และ4.82 คะแนน เมื่อมีไขมันในสูตรเท่ากับ 0.4, 2.5 และ 5.0 เปอร์เซ็นต์(w/w) ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7) และมีแนวโน้มว่าไอศกรีมลดไขมันสูตรที่มีไขมันมากขึ้นจะได้รับคะแนนความชอบรวมมากกว่าไอศกรีมที่มีปริมาณไขมันในสูตรต่ำกว่า ซึ่งกล่าวได้ว่าปริมาณไขมันในสูตรไอศกรีมมีผลต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสทางด้านต่าง ๆ ของไอศกรีม แสดงว่าไขมันในสูตรไอศกรีมมีผลต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่าง ๆ ของไอศกรีม(นันทินา , 2544)

จากการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และทางประสาทสัมผัสข้างต้น แสดงให้เห็นว่า การลดปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมและทดแทนปริมาณไขมันที่ลดลงด้วยสารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนทั้งสองชนิดนั้น ส่งผลให้คุณสมบัติทางกายภาพ, เคมี และทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมเปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้สารทดแทนไขมันโปรตีนถั่วเหลือง ที่ทำให้ไอศกรีมลดไขมันที่ได้มีคุณสมบัติที่แตกต่างไปจากสูตรควบคุมอย่างชัดเจน จนทำให้ผู้ทดสอบรู้สึกถึงความแตกต่างจากสูตรควบคุมได้อย่างชัดเจน และไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคอีกด้วย จากการพิจารณาโดยรวมในการศึกษาครั้งต่อไป ผู้ทดสอบจึงตัดสินใจเลือกทำการศึกษาผลของสารทดแทนไขมันในไอศกรีมวนิลาลดไขมันโดยใช้สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนชนิดเดียวคือ สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนที่ระดับไขมัน 5 เปอร์เซ็นต์(w/w) เป็นสูตรพื้นฐานในการผลิตไอศกรีมวนิลาลดไขมันและลดพลังงาน ทั้งนี้เนื่องจากมีคุณสมบัติทางกายภาพ, เคมีและได้รับการยอมรับมากที่สุดจากการประเมินผลทางด้านคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่มีค่าใกล้เคียงกับสูตรควบคุมมากที่สุด และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากที่สุดอีกด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3 ผลของอัตราส่วนของสารทดแทนไขมันแบบผสมต่อคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมวนิลาลดไขมัน

ในการทดลองนี้ใช้สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนชนิดเดียวผลิตไอศกรีมสูตรลดไขมันโดยเลือกชนิด และปริมาณสารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนที่มีปริมาณไขมันต่ำที่สุดและมีคุณภาพใกล้เคียงกับสูตรควบคุมมากที่สุดจากตอนที่ 2 ในแต่ละชุดการทดลองจะใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีน (whey protein) เป็นสิ่งทดลองในการทดลอง และศึกษาผลของอัตราส่วนของสารทดแทนไขมันประเภทโปรตีน และสารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรตซึ่งใช้สารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรต 3 ชนิด คือ เอ็มที-01(MT-01) เป็นสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปร, แอลฟา-สตาร์ช(Alpha-starch) เป็นสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรโดยวิธีพรีเจลลาติไนเซชั่น(pre-gelatinization) และ อะวิเซล(Avicel) เป็นไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส(microcrystalline-cellulose(MCC)) โดยผลิตไอศกรีมวนิลาสูตรลดไขมันที่ใช้สารทดแทนไขมัน 2 ชนิดผสมกัน แปรระดับอัตราส่วนผสมระหว่างสารทดแทนไขมันประเภทโปรตีน และคาร์โบไฮเดรต 3 ระดับได้แก่ 4:1, 1:1 และ 1:4 โดยใช้แผนการทดลองแบบ CRD ทำการทดลองชุดละ 3 ซ้ำ ไอศกรีมทุกสิ่งทดลองของแต่ละชุดการทดลองนำไปตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัสเพื่อคัดเลือกสิ่งทดลองที่มีปริมาณไขมันต่ำที่สุดและมีคุณภาพใกล้เคียงกับสูตรควบคุมมากที่สุด ส่วนในกรณีการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค (Consumer test) ใช้แผนการทดลองแบบ RCBD ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.8

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของไอศกรีมวนิลาลดไขมันที่ใช้สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนผสมประเภทคาร์โบไฮเดรต

สิ่งทดลอง	พีเอช (pH)	ความหนืด (เซนติพอยส์)	อัตราการละลายต่อ 100 กรัม (กรัมต่อนาที)	โอเวอร์รัน (เปอร์เซ็นต์)	เนื้อสัมผัส (แรงกดสูงสุด : กรัม)	ค่าสี		
						L*	a*	b*
A	6.33 ^{ab} ± 0.03	323.50 ^{e} ± 20.77	0.02 ^{abc} ± 0.01	32.27 ^{d} ± 1.31	308.36 ^{c} ± 10.78	83.45 ^{bcd} ± 0.91	- 2.14 ^{de} ± 0.04	+13.08 ^{ab} ± 0.68
P+A(4:1)	6.38 ^{c} ± 0.01	92.42 ^{a} ± 22.26	0.02 ^{abc} ± 0.01	46.98 ^{e} ±10.11	353.08 ^{d} ± 26.36	81.54 ^{a} ± 1.13	- 1.02 ^{a} ± 0.32	+14.79 ^{bc} ± 0.49
P+A(1:1)	6.40 ^{c} ± 0.02	321.18 ^{e} ± 14.88	0.02 ^{abc} ± 0.00	34.64 ^{d} ± 5.49	450.67 ^{e} ± 21.97	82.60 ^{abc} ± 2.24	- 1.33 ^{b} ± 0.57	+14.60 ^{bc} ± 0.59
P+A(1:4)	6.39 ^{c} ± 0.01	146.18 ^{b} ± 12.48	0.05 ^{c} ± 0.07	43.19 ^{e} ± 6.01	569.18 ^{f} ± 25.54	84.19 ^{d} ± 0.59	- 1.94 ^{cd} ± 0.14	+13.29 ^{ab} ± 0.83
M	6.40 ^{c} ± 0.01	545.50 ^{g} ± 20.29	0.16 ^{d} ± 0.01	18.15 ^{b} ±2.35	642.53 ^{g} ± 30.16	84.36 ^{d} ± 0.77	- 2.11 ^{de} ±0.29	+14.10 ^{b} ± 0.37
P+M(4:1)	6.40 ^{c} ± 0.02	201.47 ^{cd} ± 23.05	0.02 ^{ab} ± 0.00	47.20 ^{e} ±4.60	446.87 ^{e} ± 18.91	82.62 ^{abc} ± 1.13	- 1.01 ^{a} ± 0.29	+14.48 ^{bc} ± 1.01
P+M(1:1)	6.39 ^{c} ± 0.01	867.80 ^{h} ± 29.22	0.01 ^{a} ± 0.00	45.15 ^{e} ±4.26	366.27 ^{d} ± 37.01	86.00 ^{e} ± 1.62	- 1.75 ^{c} ± 0.12	+14.78 ^{bc} ± 0.84
P+M(1:4)	6.39 ^{c} ± 0.01	166.33 ^{bc} ± 25.40	0.02 ^{abc} ± 0.00	42.15 ^{e} ±3.17	359.96 ^{d} ± 22.00	83.99 ^{cd} ± 0.97	- 1.94 ^{cd} ± 0.07	+13.52 ^{ab} ± 1.09
Al	6.28 ^{a} ± 0.01	4840.33 ^{i} ± 5.01	0.59 ^{f} ± 0.03	9.58 ^{a} ±0.21	738.09 ^{h} ± 23.56	85.72 ^{e} ± 0.98	- 3.01 ^{g} ± 0.09	+17.63 ^{d} ± 0.64
P+Al(4:1)	6.33 ^{b} ± 0.03	96.18 ^{a} ± 18.91	0.04 ^{bc} ± 0.01	26.13 ^{c} ±1.82	355.17 ^{d} ± 30.97	82.22 ^{ab} ± 0.84	- 1.96 ^{cd} ± 0.22	+16.03 ^{c} ± 1.35
P+Al(1:1)	6.33 ^{b} ± 0.01	222.77 ^{d} ± 13.58	0.02 ^{abc} ± 0.00	44.42 ^{e} ±2.56	265.43 ^{b} ± 19.92	83.59 ^{bcd} ± 0.65	- 2.47 ^{f} ± 0.16	+13.29 ^{ab} ± 4.07
P+Al(1:4)	6.32 ^{b} ± 0.04	399.10 ^{f} ± 10.89	0.02 ^{abcd} ± 0.00	47.57 ^{e} ±1.26	542.55 ^{f} ± 27.65	82.93 ^{abcd} ± 0.83	- 2.98 ^{g} ± 0.17	+14.23 ^{b} ± 0.77
control	6.50 ^{d} ± 0.00	94.78 ^{a} ± 0.74	0.31 ^{e} ± 0.01	31.44 ^{d} ±2.80	72.03 ^{a} ± 3.72	83.34 ^{bcd} ± 0.66	- 2.33 ^{ef} ± 0.07	+12.05 ^{a} ± 0.79

หมายเหตุ : - ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

- L* = ค่าความสว่าง; a* = - ค่าสีเขียว; b* = + สีเหลือง

- W = Whey protein A=Avicel M= MT-01 Al=Alpha-starch

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการทดลองใช้สารทดแทนไขมันแบบผสมจะพบว่ามีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.38-6.44 (ตารางที่ 4.8) ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$) กับตัวอย่างควบคุม และไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรตเพียงอย่างเดียว กล่าวคือตัวอย่างควบคุมมีค่าพีเอชเท่ากับ 6.50 ในขณะที่ตัวอย่างที่ทดแทนไขมันด้วย อะวิเซล, เอ็มที-01 และแอลฟา-สตาร์ช เพียงอย่างเดียว จะมีค่าพีเอชเท่ากับ 6.44, 6.41 และ 6.38 ตามลำดับ(ตารางที่ 4.8) แสดงว่าการใช้สารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรตในการผลิตไอศกรีมวนิลาลดไขมันมีผลทำให้ค่าพีเอชของไอศกรีมลดลง โดยพบว่าไอศกรีมที่ใช้ แอลฟา-สตาร์ช จะทำให้ค่าพีเอชมีค่าลดลงมากที่สุด และอะวิเซลมีผลต่อค่าพีเอชน้อยที่สุด และมีแนวโน้มว่าค่าพีเอชจะเพิ่มขึ้นเมื่อสัดส่วนของสารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรตในสูตรเพิ่มขึ้น และพบว่าสารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนให้พีเอชต่ำกว่าสารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรต เช่นเดียวกับการทดลองของ นันทินา (2544) ที่พบว่ามีแนวโน้มว่าใช้สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนในไอศกรีมกะทิลดไขมันมีค่าพีเอชต่ำกว่าการใช้สารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรตเช่นเดียวกับการทดลองของ Schmidt *et al.* (1993) ที่พบว่า การใช้สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนในไอซ์มิลล์มีค่าความเป็นกรดสูงกว่าการใช้สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนมีเวย์เป็นองค์ประกอบ ซึ่งเป็นเวย์ที่ได้จากกระบวนการผลิตโดยการตกตะกอนโปรตีนด้วยกรด ทำให้เมื่อใช้สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนมากขึ้นความเป็นกรดจึงสูงขึ้น นอกจากนี้ความเป็นกรดมีผลมาจากองค์ประกอบบางอย่างได้แก่ โปรตีนนม เกลือแร่ และการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Marshall และ Arbuckle, 1996)

ความข้นหนืดเป็นลักษณะหนึ่งของไอศกรีมที่สำคัญต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของไอศกรีม ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมวนิลา และไอศกรีมวนิลาลดไขมัน ด้านความข้นหนืด พบว่า ความข้นหนืดของส่วนผสมไอศกรีม มีค่าระหว่าง 92.42-4,840.33เซนติพอยส์(ตารางที่ 4.8) โดยไอศกรีมวนิลาลดไขมันที่ใช้สารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรตเพียงอย่างเดียวจะส่งผลให้มีความข้นหนืดของส่วนผสมมากกว่าการใช้สารทดแทนไขมันแบบผสม และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเฉพาะในตัวอย่างที่ใช้ แอลฟา-สตาร์ช 100 เปอร์เซ็นต์ จะมีความหนืดสูงที่สุด คือ 4,840 เซนติพอยส์ รองลงมาคือ ส่วนผสมไอศกรีมที่ใช้ เอ็มที-01 ให้ค่าความข้นหนืดเท่ากับ 545.50 เซนติพอยส์ และ ส่วนผสมไอศกรีมที่ใช้อะวิเซลให้ค่าความข้นหนืดเท่ากับ 323.50 เซนติพอยส์ ตามลำดับ ซึ่งค่าความข้นหนืดของส่วนผสมไอศกรีมเป็นผลมาจากสารทดแทนไขมันที่ใช้เกิดสานตัวเป็นโคร่งร่างตาข่ายสามมิติ ทำให้จำกัดการเคลื่อนที่ของน้ำ และส่วนประกอบอื่น ๆ ที่ละลายน้ำไว้ในไอศกรีม ซึ่งสารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรตเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ มีความสามารถจับกับน้ำได้ดี และเกิดเจลได้ทำให้มีผลทำให้ค่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความข้นหนืดเพิ่มขึ้นได้ และ เป็นโพลีแซ็กคาไรด์ที่มีหมู่ไฮดรอกซีที่สร้างพันธะกับน้ำได้ดี ทำให้โพลีแซ็กคาไรด์ดังกล่าวละลายน้ำ เกิดความหนืดในสารละลายมากขึ้น (Fennema และ Tannenbaum, 1985) ซึ่งการดัดแปรสตาร์ชด้วยวิธีครอสลิ้งค์เป็นการเพิ่มความสามารถให้กับเม็ดสตาร์ชในการให้ความหนืดเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น เช่นเดียวกับการพรีเจลาติไนเซชันที่ช่วยให้เม็ดสตาร์ชละลายน้ำได้ดี และให้ความหนืดสูง (Snyder, 1984) พบว่า ความข้นหนืดของส่วนผสมไอศกรีมที่มีปริมาณไขมันสูงจะมีค่ามากกว่าส่วนผสมไอศกรีมที่มีปริมาณไขมันต่ำกว่า ดังนั้นส่วนผสมไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมัน แอลฟา-สตาร์ช , เอ็มที-01 และอะวิเซลเพียงอย่างเดียวซึ่งมีปริมาณไขมัน 4.59, 4.39 และ 4.19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับจะให้ความหนืด เท่ากับ 4,840, 545.50 และ 323.50 เซนติพอยส์ ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมวนิลาที่มีค่าความข้นหนืดสูงจะได้รับอิทธิพลจากปริมาณไขมันและน้ำตาล อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (สุพัฒน์, 2546) สอดคล้องกับการทดลองของ Arbuckle (1986) รายงานว่า ส่วนผสมไอศกรีมที่มีไขมันมากขึ้น ไขมันจะถูกจัดเรียงตัวอย่างใกล้ชิดทำให้การเคลื่อนที่ของของไหลเป็นไปได้ยากขึ้น นอกจากนี้ผิวสัมผัสของน้ำกับน้ำมันจะถูกดูดซับ (absorb) โปรตีนไว้ที่ผิวเมื่อมีปริมาณไขมันมากโปรตีนถูกดูดซับมาก ทำให้แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลโปรตีนมากขึ้น และยังมีแรงดึงดูดไขมันมันมากขึ้นด้วย ทำให้ส่วนผสมไอศกรีมมีความหนืดมากขึ้นด้วย มีแนวโน้มว่าค่าความข้นหนืดจะเพิ่มขึ้นเมื่อสัดส่วนการใช้สารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขั้น โดยตัวอย่างที่ใช้สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนร่วมกับสารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรต ในอัตราส่วน 4:1 จะมีความหนืดต่ำที่สุด รองลงมาคือ 1:1 และ 1:4 ตามลำดับ ซึ่งความหนืดของส่วนผสมไอศกรีมที่ใช้เวย์โปรตีนร่วมกับอะวิเซลในอัตราส่วน 4:1 และส่วนผสมไอศกรีมที่ใช้เวย์โปรตีนร่วมกับเอ็มที-01 ในอัตราส่วน 4:1 จะให้ค่าความข้นหนืดไม่แตกต่างกับตัวอย่างควบคุมคือ 92.42 เซนติพอยด์ ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมมีค่าความข้นหนืดเท่ากับ 94.78 เซนติพอยส์ แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับตัวอย่างอื่น ๆ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก อะวิเซล เป็น microcrytalli cellulose ที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำและพองตัวต่ำกว่าเอ็มที-01 และแอลฟา-สตาร์ช เมื่อนำมาใช้ร่วมกับเวย์โปรตีน จึงมีผลทำให้ความหนืดของไอศกรีมเหลวเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับการใช้ เอ็มที – 01 และแอลฟาสตาร์ช ในอัตราส่วนที่เท่ากัน ซึ่งที่อัตราส่วนการผสมระหว่างสารทดแทนไขมันประเภทโปรตีน และสารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรตเหมือนกัน พบว่า การใช้แอลฟา-สตาร์ช ให้ความหนืดมากกว่าการใช้ เอ็มที-01 และอะวิเซล ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการดัดแปรดังที่กล่าวไว้แล้ว และพบว่าค่าความข้นหนืดของส่วนผสมจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้สัดส่วนของสารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้นและเมื่อมีปริมาณไขมันในสูตรเพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกับการทดลองของ Roland *et al.* (1999) พบว่าไอศกรีมที่มีปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นจะทำให้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เปอร์เซ็นต์ของแข็งทั้งหมดในสูตรไอศกรีมเพิ่มขึ้นจึงทำให้มีผลต่อค่าความข้นหนืดของไอศกรีมเพิ่มขึ้น และจากการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (coefficient of correlation) ของค่าความข้นหนืดมีความสัมพันธ์กับค่าความเรียบเนียนที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสเท่ากับ 0.94 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันเนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าเป็นบวก แสดงว่าถ้าความข้นหนืดของไอศกรีมเพิ่มขึ้นจะทำให้ ค่าความเรียบเนียนเพิ่มขึ้น ดังนั้นไอศกรีมสิ่งทดลองที่ 1, 6 และ 8 ซึ่งมีปริมาณไขมัน และน้ำตาลมากทำให้ได้ค่าคะแนนสัดส่วนเฉลี่ยความเรียบเนียนเข้าใกล้ 1 และจะได้ค่าความข้นหนืดมาก เช่นเดียวกับการทดลองของ Specter และ Setser (1994) ที่พบว่าน้ำตาลและไขมันเป็นตัวเพิ่มปริมาณของแข็งในส่วนผสมไอศกรีมทำให้ความข้นหนืดเพิ่มขึ้น และปรับปรุงคุณภาพเนื้อ (body) และเนื้อสัมผัสของไอศกรีมให้ดีขึ้น เช่นเดียวกับการทดลองของ สุพัฒน์ (2546) พบว่าเมื่อสัดส่วนของไขมันและน้ำตาลเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าคะแนนสัดส่วนเฉลี่ยความเหนียวหนืดเพิ่มขึ้น และเมื่อสัดส่วนไขมันและน้ำตาลลดลง จะทำให้ค่าคะแนนสัดส่วนเฉลี่ยความเหนียวหนืดลดลง และการทดลองของ Philips *et al.* (1995) ทดลองเพิ่มปริมาณไขมันในนมไขมันต่ำ (low fat milk) พบว่า เมื่อปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นความข้นหนืดของนมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกับการทดลองของ Roland *et al*. (1999) พบว่า ความเหนียวหนืดเพิ่มขึ้น (stickiness) เมื่อปริมาณไขมันในไอศกรีมเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาร่วมกับค่าโอเวอร์รันพบว่า จากการใช้สารทดแทนไขมันในไอศกรีมสูตรลดไขมันทำให้ส่วนผสมไอศกรีมเหลวมีความหนืดเพิ่มสูงขึ้นด้วย Arbuckle (1986) กล่าวว่าความหนืดที่สูงมักพบควบคู่กับสมบัติการตีอากาศที่ดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองพบว่าสิ่งทดลองที่ใช้แอลฟา-สตาร์ช 100 เปอร์เซ็นต์ มีความหนืดสูงที่สุดเท่ากับ 4,840.33 เซนติพอยส์ แต่พบว่ามีค่าโอเวอร์รันเพียง 9.58 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องจากส่วนผสมมีความหนืดสูงเกินไป ทำให้การตีอากาศไม่ดีเท่าที่ควร เช่นเดียวกับการทดลองของ Schmidt *et al*. (1993) ที่พบว่าไอซ์มิลค์สูตรลดไขมันที่ใช้เอ็น-ไลท์ดีเป็นสารทดแทนไขมัน มีความหนืดสูงกว่าสูตรพื้นฐานแต่ร้อยละการขึ้นฟูต่ำกว่าสูตรมาตรฐานจึงเป็นไปได้ว่าช่วงความหนืดที่เหมาะสมเท่านั้นที่ไอศกรีมมีสมบัติการขึ้นฟูที่ดี หากความหนืดสูงหรือต่ำกว่าช่วงที่เหมาะสม การตีอากาศเข้าเนื้อไอศกรีมจะไม่ดีเท่าที่ควร ซึ่งในการทดลองครั้งนี้พบว่าเมื่อลดปริมาณไขมันในไอศกรีมลงแล้วทดแทนด้วยสารทดแทนไขมันมันมากขึ้น เป็นผลให้ความข้นหนืดของส่วนผสมเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากสารทดแทนไขมันที่ใช้เป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรต ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุล จึงสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ (Whister และ Daniel, 1985) นั่นคือผลของการลดไขมันอาจมีน้อยกว่าการเพิ่มขึ้นของสาร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทดแทนไขมัน จึงเป็นผลให้ไอศกรีมที่มีปริมาณไขมันลดลง แต่ใช้สารทดแทนไขมันปริมาณมากขึ้นมีความหนืดเพิ่มขึ้นได้

อัตราการละลายต่อ 100 กรัมของไอศกรีมวนิลาสูตรลดไขมันมีค่าอยู่ระหว่าง 0.05-2.07 กรัมต่อนาที(ตารางที่ 4.8) ซึ่งจะพบว่า การใช้อะวิเซลเพียงอย่างเดียวในการทดแทนไขมันในไอศกรีมวนิลาลดไขมันช่วยลดอัตราการละลายของไอศกรีมให้ต่ำกว่าไอศกรีมวนิลาลดไขมันที่ใช้เอ็มที-01และแอลฟา-สตาร์ช เพียงอย่างเดียวรวมทั้งสูตรควบคุม และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และการใช้อะวิเซลในการทดแทนไขมันในไอศกรีมวนิลาลดไขมันจะให้อัตราการละลายไม่แตกต่างกันในทุก ๆ อัตราส่วน และไม่แตกต่างกับการใช้เวย์โปรตีนร่วมกับเอ็มที -01 ในทุกอัตราส่วน และการใช้เวย์โปรตีนร่วมกับแอลฟา-สตาร์ชที่อัตราส่วน 1:1 และ 4:1 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการใช้เอ็มที-01และแอลฟา-สตาร์ชเพียงอย่างเดียวในการทดแทนไขมันในไอศกรีมวนิลาลดไขมันส่งผลให้มีอัตราการละลายเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะในการใช้สารทดแทนไขมัน แอลฟา-สตาร์ช เพียงอย่างเดียวจะมีอัตราการละลายต่อ 100 กรัมเท่ากับ 0.58 กรัมต่อนาทีไม่แตกต่างกับสูตรควบคุมที่มีอัตราการละลายต่อ 100 กรัมเท่ากับ 0.31 กรัมต่อนาที และพบว่าการใช้สารทดแทนไขมันแบบผสมทั้งสามชนิดสามารถลดอัตราการละลายของไอศกรีมให้ต่ำกว่าสูตรควบคุมได้ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในทุก ๆ อัตราส่วนทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ปริมาณของแข็งในสูตรที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีปริมาณน้ำอิสระในสูตรลดลง และเกิดการเชื่อมต่อกันของโมเลกุลของสารทดแทนไขมัน จึงทำให้ส่วนผสมของไอศกรีมมีความข้นหนืดเพิ่มสูงขึ้น อัตราการละลายจึงลดลง เช่นเดียวกับการทดลองของ สุพัฒน์ (2546) ที่พบว่า ค่าความเหนียวหนืดของไอศกรีมที่เพิ่มขึ้นจะลดอัตราการละลายให้ช้าลงเช่นเดียวกับการทดลองของ Schmidt *et al.* (1993) พบว่าไอซ์มิลค์ (ice milk) สูตรที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดต่ำกว่า จะมีอัตราการละลายเร็วกว่าสูตรที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดในสูตรมากกว่า เช่นเดียวกับการทดลองของ Goff *et al.* (1994) พบว่าเมื่อลดปริมาณไขมันในสูตร โดยไม่มีการใช้สารทดแทนไขมันทำให้เปอร์เซ็นต์ของแข็งทั้งหมดลดลง ดังนั้นส่วนผสมไอศกรีมจึงมีความหนืดลดลง เช่นเดียวกับการทดลองของ Roland *et al.* (1999) ที่พบว่าไอศกรีมที่มีปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นทำให้เปอร์เซ็นต์ของแข็งทั้งหมดในสูตรเพิ่มขึ้น จึงมีผลต่อความข้นหนืดของไอศกรีมเพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจาก เมื่อปริมาณของแข็งทั้งหมดน้อยลง ปริมาณสารที่สามารถดูดซับน้ำได้จะมีปริมาณน้อยลงด้วย ดังนั้นในตัวอย่างควบคุมที่มีปริมาณของแข็งต่ำกว่าจึงมีอัตราการละลายเร็วกว่าสูตรที่ใช้สารทดแทนไขมัน และจากการที่มีปริมาณน้ำมากกว่า จึงทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งได้มากกว่า การนำความร้อนผ่านผลิตภัณฑ์ซึ่งอยู่ในสถานะของน้ำแข็งเกิดได้เร็วขึ้น เมื่อมีปริมาณน้ำอิสระในรูปน้ำแข็งอยู่มากกว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทำให้ไอศกรีมละลายได้เร็วกว่า ดังนั้นการที่มีเปอร์เซ็นต์ของแข็งทั้งหมดในสูตรน้อยลง การดูดซับน้ำจะน้อยลง ทำให้มีปริมาณน้ำอิสระมากขึ้น จึงทำให้ปริมาณน้ำที่แข็งตัวเป็นน้ำแข็งมากขึ้น ค่าการนำความร้อนของน้ำแข็งสูงกว่าน้ำประมาณ 4 เท่า (Fennema, 1996) ดังนั้นน้ำแข็งจึงนำความร้อนได้มากกว่าน้ำ และทำให้ไอศกรีมละลายได้เร็วขึ้น (สุพัฒน์, 2546) เมื่อพิจารณาร่วมกับค่าโอเวอร์รันพบว่า ไอศกรีมที่มีค่าโอเวอร์รันต่ำจะมีอัตราการละลายสูงกว่าไอศกรีมที่มีค่าโอเวอร์รันสูงกว่าทั้งนี้เนื่องจากไอศกรีมที่มีค่าโอเวอร์รันต่ำจะมีปริมาณอากาศที่เป็นฉนวนความร้อนน้อยกว่า จึงทำให้มีอัตราการละลายสูงขึ้น ดังนั้นในสิ่งทดลองที่ใช้สารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรตทั้ง 3 ชนิดเพียงอย่างเดียว และไอศกรีมสูตรควบคุม ซึ่งมีค่าโอเวอร์รันต่ำกว่าการใช้สารทดแทนไขมันแบบผสมจะส่งผลให้มีอัตราการละลายสูงกว่า และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยจะพบว่า ไอศกรีมลดไขมันที่ใช้ แอลฟา-สตาร์ชเพียงอย่างเดียว จะให้ค่าโอเวอร์รัน เท่ากับ 9.58 เปอร์เซ็นต์ และมีอัตราการละลายต่อ 100 กรัมเท่ากับ 0.58 กรัมต่อนาที รองลงมาคือ การใช้ เอ็มที-01และอะวิเคลซึ่งมีค่าโอเวอร์รันเท่ากับ 18.15 และ 32.27 ตามลำดับ โดยจะมีอัตราการละลายเท่ากับ 0.58 และ 0.06 กรัมต่อนาทีตามลำดับ(ตารางที่ 4.8)

โอเวอร์รัน คือปริมาตรของไอศกรีมที่เพิ่มขึ้นจากปริมาตรของส่วนผสมไอศกรีม รายงานเป็นเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของปริมาตรเนื่องจากอากาศแทรกตัวไปเข้าไปในเนื้อไอศกรีมในระหว่างการตีปั่นให้แข็งตัว จากการทดลองพบว่าไอศกรีมลดไขมันมีค่าโอเวอร์รันอยู่ระหว่าง 9.58-47.57 เปอร์เซ็นต์(ตารางที่ 4.8) ซึ่งพบว่าการใช้สารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรตเพียงอย่างเดียวจะมีเปอร์เซ็นต์โอเวอร์รันต่ำกว่าการใช้สารทดแทนไขมันแบบผสม และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเฉพาะในไอศกรีมลดไขมันที่ทดแทนไขมันด้วย แอลฟา-สตาร์ชเพียงอย่างเดียวที่ให้ค่าโอเวอร์รันเพียง 9.58 เปอร์เซ็นต์(ตารางที่ 4.8) ทั้งนี้เนื่องจาก การใช้แอลฟา-สตาร์ช ซึ่งเป็นแป้งมันสำปะหลังดัดแปร ซึ่งมีความสามารถในการจับตัวกับน้ำในส่วนผสมได้มาก ส่งผลให้ความหนืดของส่วนผสมสูง ซึ่งความข้นหนืดที่มากเกินไปทำให้การตีอากาศทำให้ขึ้นฟูเป็นไปได้ยาก ทำให้มีค่าโอเวอร์รันต่ำ เช่นเดียวกับการทดลองของ Schmidt *et al.* (1993) ทดลองใช้สารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรตในไอศกรีมไขมันต่ำ โดยใช้ N-lite D (FR-C) ได้เปอร์เซ็นต์โอเวอร์รันเท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์และ Simplesse D 100 (FR-P) เป็นสารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนได้โอเวอร์รันเท่ากับ 111.50 เปอร์เซ็นต์ โอเวอร์รันที่ได้แตกต่างกันเนื่องจากไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรตมีความข้นหนืดมากกว่า แต่ความสัมพันธ์ของความข้นหนืดกับโอเวอร์รันไม่สามารถ สรุปแนวโน้มได้เนื่องจากส่วนผสมไอศกรีมที่มีความข้นหนืดเพิ่มขึ้นจะช่วยให้การจับอากาศได้ดีขึ้นแต่ถ้าความข้นหนืดมากเกินไปจะไปขัดขวางการตี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อากาศเข้าไปในเนื้อไอศกรีมทำให้ค่าโอเวอร์รันลดลงได้ ซึ่งค่าโอเวอร์รันสูงจะสอดคล้องกับการขยายตัวของโฟม (Foam expansion) และความคงตัวของโฟม (foam liquid stability) ให้ค่าที่สูงตามไปด้วย และความข้นหนืดมากหรือน้อยเกินไปจะทำให้การตีอากาศเข้าเนื้อไอศกรีมได้ไม่ดีเท่าที่ควร (สุพัฒน์, 2546) แต่ถ้าปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์โอเวอร์รันลดลง (สุพัฒน์, 2546) เช่นเดียวกับการทดลองของ Baer *et al*. (1999) พบว่า ความสามารถในการขึ้นฟูของไอศกรีมขึ้นอยู่กับการกระจายตัวของเซลล์อากาศในไอศกรีม จะคงตัวอยู่ได้ถ้าพื้นที่ผิวประกอบด้วยโปรตีนฟอสโฟไลปิด และอิมัลซิไฟเออร์ ไขมันมีผลในการยับยั้งความสามารถในการขึ้นฟูของไอศกรีมในระหว่างการปั่นไอศกรีมให้แข็งตัวไขมันจะเข้าไปแทนที่โปรตีนที่จับเซลล์อากาศไว้และมีคุณสมบัติเป็นตัวขัดขวางปฏิกิริยาการเกิดโฟม (Foam depressant) ดังนั้นในสิ่งทดลองที่ใช้เวย์โปรตีนร่วมกับอะวิเซลในอัตราส่วน 4:1 ที่มีปริมาณไขมันต่ำที่สุด คือ 2.52 เปอร์เซ็นต์(w/w) จึงให้ไอศกรีมที่มีค่าโอเวอร์รันสูงกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งมีปริมาณไขมัน 7 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับการทดลองของ Guinard *et al*. (1997) พบว่าไอศกรีมที่มีเปอร์เซ็นต์โอเวอร์รันสูงสูตรไอศกรีมวนิลาจะมีปริมาณน้ำตาลสูงและมีปริมาณไขมันต่ำ เช่นเดียวกับการทดลองของ Thrap และ Gottemoller (1990) พบวาไอศกรีมที่มีเปอร์เซ็นต์ไขมัน 2,10 และ 16 เปอร์เซ็นต์ มีเปอร์เซ็นต์โอเวอร์รันเท่ากับ 100, 90 และ 50 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

สำหรับคุณสมบัติทางด้านเนื้อสัมผัส ซึ่งวัดเป็นแรงกดสูงสุด พบว่าไอศกรีมลดไขมันมีค่าความแข็งมากกว่าสูตรควบคุมและมีความแตกต่างจากสูตรควบคุม ซึ่งมีค่าความแข็งเท่ากับ 72.03 กรัม(ตารางที่ 4.8) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันแอลฟา-สตาร์ชเพียงชนิดเดียว มีค่าความแข็งสูงที่สุดคือ 738.09 กรัม(ตารางที่ 4.8)รองลงมาคือไอศกรีมลดไขมันที่ใช้สารทดแทนไขมันเอ็มที-01 เพียงชนิดเดียวมีค่าความแข็งเท่ากับ 642.53 กรัม(ตารางที่ 4.8) ซึ่งมีค่ามากกว่าการใช้สารทดแทนไขมันอะวิเซลเพียงอย่างเดียวที่มีค่าความแข็งเท่ากับ 308.36 กรัม(ตารางที่ 4.8) ทั้งนี้เนื่องจากสายของ modified amylase และ amylopectin สามารถเกิดปฏิกิริยากับน้ำ/น้ำแข็ง และส่วนประกอบอื่นๆในไอศกรีม ซึ่งสายโพลีเมอร์ของแป้ง ในตัวไอศกรีมอาจเกิดปฏิกิริยาการก่อเจลของแป้ง ทำให้ตัวอย่างไม่เปลี่ยนรูปร่างเมื่อสัมผัสลิ้น จึงให้ความแน่นเนื้อมากกว่าในระหว่างการทดสอบทางประสาทสัมผัส (Aime *et al.,* 2001) และการทดสอบเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส ทำให้มีค่าความแข็งค่อนข้างสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ใช้สารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรตทั้งสองประเภท ความแน่นเนื้อของไอศกรีมเกี่ยวข้องกับโครงสร้างของไอศกรีม อากาศในเซลล์จะเปลี่ยนแปลงเนื่องจากมีการลดลงของกลุ่มไขมัน ที่เป็นองค์ประกอบหลักของโครงสร้าง conventional ของไอศกรีม มีการใช้แป้งดัดแปรในการลดไขมันของตัวอย่างซึ่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มีผลกระทบต่อ mimicking ในด้านความแน่นเนื้อของตัวอย่างที่มีไขมันสูง และแป้งดัดแปรสามารถทำให้ไอศกรีมมีเนื้อแน่น ทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดเล็กลง เช่นเดียวกับการทดลองของ Aime *et al.* (2001) พบว่า แป้งดัดแปรสามารถขจัดปัญหาการเพิ่มขึ้นของปริมาตรผลึกน้ำแข็งในไอศกรีมที่ลดปริมาณไขมันลง และทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแน่นเนื้อเท่ากับไอศกรีมปกติ และพบว่าตัวอย่าง LF(Light Fat) และFF (Fat Free) มีค่าความหนืดปรากฏต่ำสุด สอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ชิมที่ผ่านการฝึกฝน ที่พบว่าการใช้แป้งดัดแปรสามารถทดแทนความหนืดที่หายไปจากการลดไขมันบางส่วนของไอศกรีมได้ซึ่งตัวทดแทนไขมันที่มีประสิทธิภาพจะได้ผลดีถ้าโพลีเมอร์ของแป้งทำหน้าที่ในการช่วยกระจายองค์ประกอบอื่นที่เป็นโพลีเมอร์ และผลึกน้ำแข็ง กล่าวโดยรวม มีหลักฐานเพียงพอที่จะสนับสนุนว่าการใช้แป้งดัดแปรสำหรับทดแทนไขมันในไอศกรีมวานิลาจะมีผลต่อโครงสร้างและเนื้อสัมผัสของไอศกรีม ส่วนสิ่งทดลองที่ใช้สารทดแทนไขมันอะวิเซลเพียงชนิดเดียวมีค่าความแข็งเท่ากับ 308.36 กรัม ซึ่งมีค่าต่ำกว่าสิ่งทดลองที่ใช้แอลฟา-สตาร์ทและเอ็มที-01 เพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากอะวิเซล เป็น microcrystalline cellulose ซึ่งมีคุณสมบัติทางเคมีที่ไม่จับตัวกับน้ำ และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิก็ไม่มีผลหรือมีผลเพียงเล็กน้อยกับความข้นหนืดของส่วนผสม ดังนั้น การก่อตัวเป็นโคร่งร่างของ microcrystalline cellulose จึงมีผลกับความหนืดและลักษณะเนื้อสัมผัสของไอศกรีมเพียงเล็กน้อย (William, 1996) เมื่อเทียบกับการใช้แป้งดัดแปรทั้งสองชนิด และจากการทดลองพบว่า การใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนร่วมกับอะวิเซล ในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความแข็งของไอศกรีมมีค่าเพิ่มขึ้น กล่าวคือมีค่าเท่ากับ 353.08, 450.67 และ 569.18 กรัม เมื่อใช้เวย์โปรตีนต่ออะวิเซลในอัตราส่วน 1:4 1:1 และ 1:4 ตามลำดับ(ตารางที่ 4.8) เช่นเดียวกับการใช้เวย์โปรตีนร่วมกับแอลฟา-สตาร์ช จะช่วยลดค่าความแข็งของไอศกรีมให้ต่ำกว่าการใช้แอลฟา-สตาร์ชเพียงชนิดเดียวได้ ซึ่งการใช้ที่อัตราส่วน 1:1 จะให้ค่าความแข็งต่ำที่สุดคือ 265.43 กรัม ในขณะที่การใช้เวย์โปรตีนร่วมกับแอลฟา-สตาร์ชที่ระดับ 4:1 จะมีค่าความแข็งมากขึ้นคือเท่ากับ 542.55 กรัม ส่วนการใช้เวย์โปรตีนร่วมกับเอ็มที-01 พบว่า ค่าความแข็งจะลดลงเมื่อให้เอ็มที-01 มากขึ้น โดยที่ระดับการใช้ 1:1 และ 4:1 มีค่าความแข็งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$)

ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสี L* a* และ b* ของไอศกรีมวนิลาที่ใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนร่วมกับสารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรตทั้ง 3 ชนิด กับสูตรควบคุมพบว่า ค่าสี L* (ความสว่าง)มีค่ามาก คือมีค่าอยู่ระหว่าง 81.54-86.00 (ตารางที่ 4.8) ไอศกรีมที่ได้จึงมีสีขาวนวล โดยไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันอะวิเซล และเอ็มที-01 เพียงชนิดเดียว ให้ค่าความสว่างไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับตัวอย่างควบคุม ในขณะที่ไอศกรีมที่ใช้สารทดแทน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

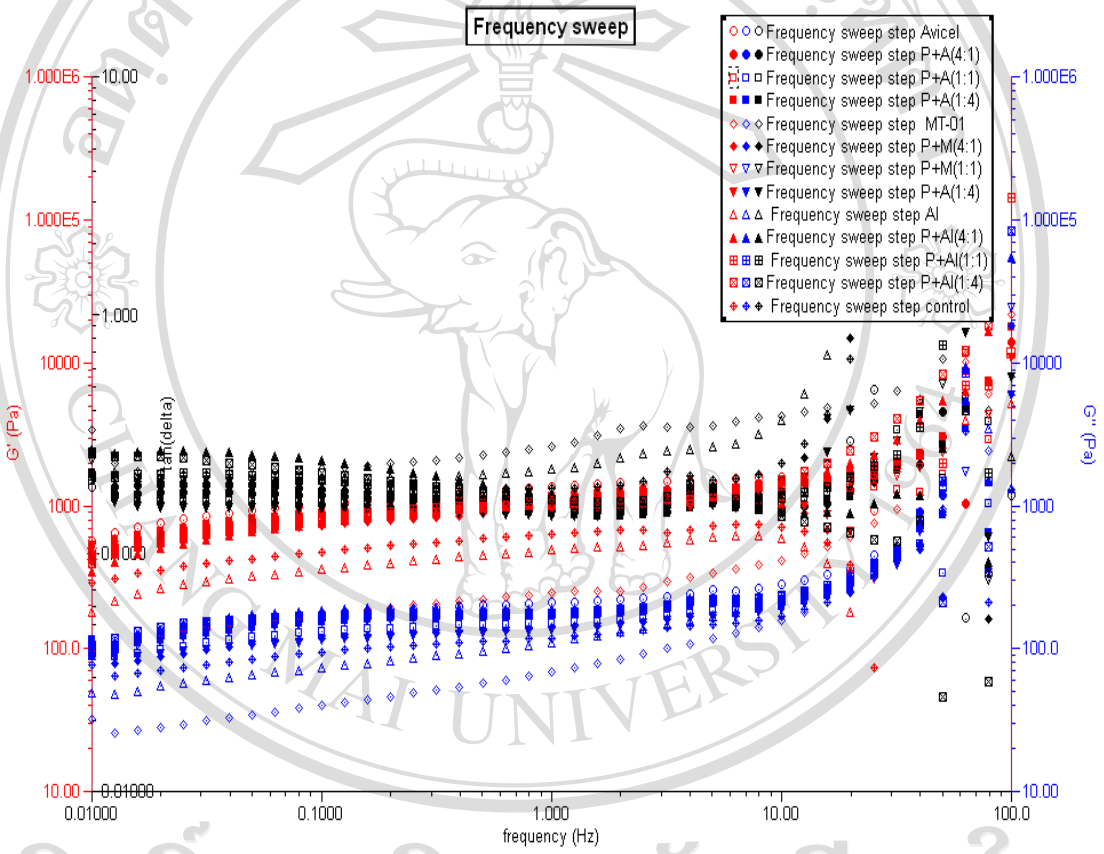
ไขมันแอลฟา-สตาร์ชเพียงชนิดเดียวมีค่าความสว่างเท่ากับ 85.72 ซึ่งมีค่ามากกว่าตัวอย่างควบคุม เช่นเดียวกับกับไอศกรีมที่ใช้เวย์โปรตีนร่วมกับเอ็มที-01 ที่อัตราส่วน 1:1 ที่มีค่าความสว่างเท่ากับ 86.00 เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้คือ สารทดแทนไขมันแอลฟา-สตาร์ช และเอ็มที-01 มีลักษณะเป็นผงสีขาว เมื่อนำมาใช้ทดแทนไขมันในไอศกรีม จึงทำให้ไอศกรีมที่ได้มีค่าความสว่างมากกว่าสูตรควบคุม ส่วนสิ่งทดลองอื่น ๆมีค่าความสว่างไม่แตกต่างจากสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ส่วนค่าสี a* (สีแดง-สีเขียว) พบว่า ค่า a* เป็นค่าสีเขียว(ค่าเป็นลบ) พบว่า ไอศกรีมลดไขมันทุกสูตรมีค่าอยู่ระหว่าง -1.01 ถึง -2.98 (ตารางที่ 4.8) ซึ่งไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันอะวิเซลและเอ็มที-01 เพียงชนิดเดียวและไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนร่วมกับแอลฟา-สตาร์ชที่อัตราส่วน 1:1 มีค่า a เท่ากับ -2.14, -2.11 และ -2.47 ตามลำดับ(ตารางที่ 4.8) ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับตัวอย่างควบคุมที่มีค่าเท่ากับ -2.33 ส่วนไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนร่วมกับอะวิเซล เอ็มที-01 และแอลฟา-สตาร์ช ทั้ง 3 อัตราส่วน ให้ค่า a* ลดลง ต่ำกว่าการใช้สารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรตเพียงชนิดเดียว และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเมื่อใช้อัตราส่วนของสารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรตเพิ่มมากขึ้น และมีค่า a* ต่ำกว่าสูตรควบคุม ยกเว้นไอศกรีมที่ใช้เวย์โปรตีนร่วมกับ แอลฟา-สตาร์ช ที่อัตราส่วน 4:1 ที่มีค่า a* มากว่ากว่าสูตรควบคุมคือมีค่าเท่ากับ -2.98

ส่วนค่าสี b* (สีเหลือง-น้ำเงิน) พบว่า ค่า b* เป็นค่าของสีเหลือง(ค่าเป็นบวก) จากการทดลองพบว่าไอศกรีมวนิลาลดไขมันทุกสิ่งทดลองมีค่ามากกว่าตัวอย่างควบคุมคือมีค่าอยู่ระหว่าง +13.08 ถึง +17.63 (ตารางที่ 4.8) ทั้งนี้เนื่องจากสารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนมีลักษณะเป็นผงสีเหลืองเข้ม เมื่อนำมาใช้ทดแทนไขมันในสูตรไอศกรีมจึงส่งผลให้ไอศกรีมลดไขมันมีสีเหลืองมากกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมมีค่าเท่ากับ +12.05 แต่มีค่าไม่แตกต่างกับไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันอะวิเซลเพียงชนิดเดียว ไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนร่วมกับอะวิเซลและเอ็มที-01 ที่อัตราส่วน 4:1 และการใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนร่วมกับแอลฟา-สตาร์ชที่อัตราส่วน 1:1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจาก สารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรตทั้งสามชนิดมีลักษณะที่เป็นผงสีขาว ดังนั้นเมื่อนำมาใช้ทดแทนไขมันร่วมกับเวย์โปรตีนในอัตราส่วนที่มากขึ้น ทำให้สัดส่วนของการใช้เวย์โปรตีนลดลงจึงส่งผลให้ไอศกรีมวนิลาลดไขมันที่ได้มีค่าลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลของสารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนต่อคุณสมบัติทางรีโอโลยีของไอศกรีมวนิลาลดไขมันที่ใช้สารทดแทนไขมันแบบผสม จากการผลิตไอศกรีมวนิลาลดไขมันโดยใช้สารทดแทนไขมันแบบผสม เพื่อศึกษาผลของสารทดแทนไขมันแบบผสมต่อคุณสมบัติทางรีโอโลยีของไอศกรีมวนิลาลดไขมัน โดยเลือกค่าของสมบัติทางรีโอโลยีที่ความถี่ 1 เฮิร์ซ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบและการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ แสดงดังภาพที่ 4.4 4.5 และตารางที่ 4.9

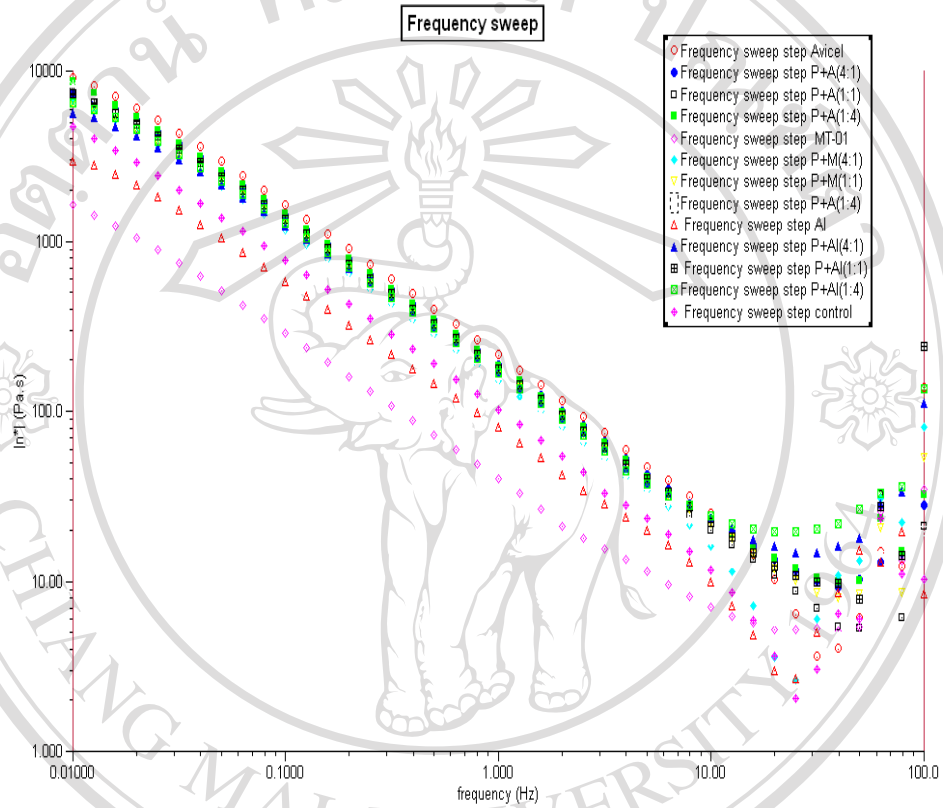


ภาพที่ 4.4 ค่า elastic modulus (G′) ค่า viscous modulus (G″) และloss tangent (tanδ) ของไอศกรีมวนิลาลดไขมันที่ใช้สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนและสูตรควบคุม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 4.4 แสดงค่า elastic modulus (G′) มีค่าสูงกว่า viscous modulus (G″) ในทุก ๆ ความถี่ แสดงถึงลักษณะเด่นของสมบัติของแข็งยืดหยุ่น (elastic) ของไอศกรีมวนิลา และพบว่า ค่า elastic modulus (G′) และ viscous modulus (G″) มีค่าเพิ่มขึ้นตามความถี่ที่เปลี่ยนไปแสดงถึงการเพิ่มขึ้นของส่วนที่เป็นน้ำแข็ง ทำให้ความแข็งของไอศกรีมเพิ่มขึ้น หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงการเรียงตัวของโครงสร้างภายในไอศกรีม (Granger *et al.*, 2005)

แต่ก็เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และจะเริ่มเสียสภาพ เมื่อความถี่มากกว่า 10 เฮิร์ซ อาจเนื่องมากจาก ผลึกน้ำแข็งเกิดการละลายหรือโครงสร้างอื่น เช่น ฟองอากาศ, โครงสร้างของไขมัน, โปรตีน หรือ stabilizer เกิดการเปลี่ยนแปลงหรือถูกทำลายจากความถี่มากเกินไป



ภาพที่ 4.5 ค่า complex viscosity (η*) ของไอศกรีมวนิลาลดไขมันที่ใช้สารทดแทนไขมันแบบผสมและสูตรควบคุม

จากภาพที่ 4.5 แสดงค่า ค่าความหนืดเชิงซ้อน complex viscosity (η*) ของไอศกรีมวนิลาที่ใช้สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนสองชนิด เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม พบว่า ค่าความหนืดเชิงซ้อน complex viscosity (η*) ของไอศกรีมวนิลาที่ใช้สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนทั้งสองชนิดมีค่า ค่าความหนืดเชิงซ้อน complex viscosity (η*) สูงกว่าตัวอย่างควบคุมในทุก ๆ ความถี่ และมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ และลดลงอย่างรวดเร็วตามความถี่ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากที่ความถี่สูงไม่มีเวลานานพอที่จะทำให้โพลิเมอร์ที่ประสานกันได้แยกจากกันอย่างสมบูรณ์ และเกิดการคลาย cross-link แสดงถึงไอศกรีมวนิลาเป็นพันธะที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไม่แข็งแรง และแสดงลักษณะการไหลแบบ Non-newtonian liquid แบบ shear thinning (pseudoplastic)

ตารางที่ 4.9 ผลของสารทดแทนไขมันต่อคุณสมบัติทางรีโอโลยีของไอศกรีมวนิลาลดไขมันที่ใช้สารทดแทนแบบผสม และสูตรควบคุมที่ความถี่ 1 เฮริซ์ท

สิ่งทดลอง	G' (Pa.)	G" (Pa.)	tan δ	η* (Pa.s)
A	1332.32 ^{h} ± 103.04	238.15 ^{h} ± 22.11	0.15 ^{ab} ± 0.02	211.90 ^{d} ± 15.22
P+A(4:1)	1093.28 ^{f} ± 65.07	132.63 ^{bc} ± 11.17	0.14 ^{a} ± 0.01	183.85 ^{cd} ±13.08
P+A(1:1)	984.27 ^{de} ± 96.71	159.58 ^{ef} ± 15.39	0.15 $^{a\,b}$ ± 0.02	163.75 ^{c}± 23.21
P+A(1:4)	1254.62 ^{gh} ± 50.52	170.13 ^{f} ± 18.25	0.15 ^{ab}± 0.00	185.75^{cd} ± 19.96
M	251.55 ^{a}± 17.17	67.49 ^{a} ± 4.16	0.28 ^{f}± 0.01	40.50 ^{a} ± 4.75
P+M(4:1)	939.93 ^{d} ± 70.86	136.63 ^{bcd} ± 6.11	0.15 $^{a\,b}$ ± 0.00	151.23 ^{c} ± 11.37
P+M(1:1)	1212.12 ^{g} ± 49.20	159.97 ^{ef} ± 17.07	0.17 ^{abcd} ± 0.00	168.72 ^{c} ±28.96
P+M(1:4)	937.35 ^{d} ± 88.81	141.72 ^{cde} ± 4.91	0.14 ^{a} ± 0.01	150.72 ^{c}± 14.22
Al	343.07 ^{b} ± 33.87	84.26 ^{a} ± 6.74	0.25 ^{e} ± 0.04	80.36 ^{b} ± 8.25
P+Al(4:1)	1063.77 ^{ef} ± 82.55	190.72 ^{g} ± 20.01	0.17 ^{bcd} ± 0.01	171.75 ^{c} ± 13.58
P+Al(1:1)	1230.37 ^{g} ± 104.97	151.45 ^{def} ± 27.11	0.16 ^{abc} ± 0.00	179.48 ^{cd} ±19.18
P+Al(1:4)	943.48 ^{d} ± 15.01	159.58 ^{ef} ± 5.0	0.18 ^{cd} ± 0.02	147.23 ^{c}±10.89
Control	649.02 ^{c}± 38.66	121.27 ^{b}±9.28	0.19 ^{d}±0.00	105.09 ^{b} ±6.31

หมายเหตุ : - ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

- W = Whey protein A=Avicel M= MT-01 Al=Alpha-starch

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากตารางที่ 4.9 แสดงค่า elastic modulus (G′) ค่า viscous modulus (G″) loss tangent (tan δ) และ complex viscosity (η*) พบว่า ค่า elastic modulus (G′) ของไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันแบบผสมมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับตัวอย่างควบคุม

โดยจะมีค่ามากกว่าตัวอย่างควบคุมในทุก ๆ ตัวอย่างซึ่งตัวอย่างควบคุมมีค่า elastic modulus (G′) เท่ากับ 649.02 Pa. ส่วนไอศกรีมที่ใช้ เอ็มที-01 เพียงอย่างเดียวจะมีค่า elastic modulus (G′) ต่ำที่สุดคือ 251.55 Pa. รองลงมาคือ ไอศกรีมวนิลาลดไขมันที่ใช้ แอลฟา-สตาร์ชเพียงชนิดเดียว ที่มีค่า elastic modulus (G′) เท่ากับ 343.07 Pa. (ตารางที่ 4.9) ในขณะที่ไอศกรีมวนิลาลดไขมันที่ใช้อะวิเซลเพียงชนิดเดียวจะให้ค่า elastic modulus (G′) สูงที่สุดคือ 1332.32 Pa. และมีค่าไม่แตกต่างกับไอศกรีมวนิลาลดไขมันที่ใช้เวย์โปรตีนร่วมกับอะวิเซลที่อัตราส่วน 1:4 ที่มีค่าเท่ากับ 1254.62 Pa. (ตารางที่ 4.9) ในขณะที่การใช้ร่วมกับเวย์โปรตีนที่อัตราส่วน 1:1 มีค่าเท่ากับ 984.27 Pa. และ 4:1 มีค่าเท่ากับ 1093.28 Pa. (ตารางที่ 4.9) การใช้เวย์โปรตีนร่วมกับเอ็มที-01 และแอลฟา-สตาร์ช ทำให้มีค่า elastic modulus (G′) สูงกว่าการใช้เอ็มที-01 และแอลฟา-สตาร์ช เพียงชนิดเดียวในทุก ๆ อัตราส่วน

ส่วนค่า viscous modulus (G″) ของไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันแบบผสมมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับตัวอย่างควบคุม แต่พบว่า การใช้เวย์โปรตีนร่วมกับอะวิเซลและเอ็มที-01 ที่อัตราส่วน 4:1 จะมีค่า viscous modulus (G″)ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับตัวอย่างควบคุม และพบว่าการใช้อะวิเซลเพียงชนิดเดียวจะมีค่า viscous modulus (G″) สูงที่สุดคือ 238.15 Pa. (ตารางที่ 4.9) ซึ่งสูงกว่าการใช้ร่วมกับเวย์โปรตีนในทุก ๆ อัตราส่วน ในขณะที่ไอศกรีมวนิลาลดไขมันที่ใช้เอ็มที-01 เพียงชนิดเดียวจะมีค่า viscous modulus (G″) ต่ำที่สุดคือ 67.49 Pa. (ตารางที่ 4.9) และมีค่าต่ำกว่าการใช้ร่วมกับเวย์โปรตีนในทุกอัตราส่วน เช่นเดียวกับการใช้ แอลฟา-สตาร์ชเพียงชนิดเดียวที่มีค่า viscous modulus (G″) เท่ากับ 84.26 Pa. (ตารางที่ 4.9) มีค่าต่ำกว่าการใช้ร่วมกับเวย์โปรตีนในทุกอัตราส่วนเช่นกัน

ส่วนค่า loss tangent (tan δ) มีค่าต่ำ แสดงสถานะยืดหยุ่น(elastic)สูง และวัสดุไหล(viscous)ต่ำ และพบว่าการใช้เอ็มที-01 และแอลฟา-สตาร์ชเพียงชนิดเดียวมีค่า loss tangent (tan δ) เท่ากับ 0.28 และ 0.25 (ตารางที่ 4.9) ซึ่งแสดงว่าไอศกรีมวนิลาลดไขมันที่ใช้ เอ็มที-01 และแอลฟา-สตาร์ชเพียงชนิดเดียว แสดงสมบัติวัสดุไหล(viscous) ที่มากกว่าตัวอย่างอื่น ๆ หรือกล่าวได้ว่าเป็นอะมอร์ฟอสโพลิเมอร์ที่มีค่า loss tangent (tan δ) เท่ากับ 0.2-0.3 (อรุณี, 2548)ซึ่งการที่มีค่า elastic modulus (G′)สูง ในขณะที่ค่า loss tangent (tan δ) มีค่าต่ำแสดงถึงการมีโครงสร้างที่ดีของไอศกรีม (Granger *et al.*, 2005)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ส่วนค่าความหนืดเชิงซ้อน หรือcomplex viscosity (η*) พบว่าไอศกรีมวนิลาลดไขมันที่ใช้สารทดแทนไขมันแบบผสมมีค่า หรือcomplex viscosity (η*)มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับตัวอย่างควบคุม โดยจะมีค่าสูงกว่าสูตรควบคุมซึ่งมีค่าเท่ากับ 105.09 Pa. (ตารางที่ 4.9)ในขณะที่ไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันแบบผสมมีค่าความหนืดเชิงซ้อนหรือ complex viscosity (η*)ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)ในทุก ๆ อัตราส่วน คือมีค่าอยู่ระหว่าง 147.23-185.75 Pa. และไอศกรีมที่ใช้เอ็มที-01 เพียงชนิดเดียวมีค่าความหนืดเชิงซ้อนหรือ complex viscosity (η*)ต่ำที่สุดคือ 40.50 Pa. (ตารางที่ 4.9)

จากการวิเคราะห์สมบัติทางรีโอโลยี แสดงให้เห็นว่า ไอศกรีมวนิลาลดไขมันที่ใช้สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนทั้งสองชนิด จะมีค่า elastic modulus (G′)สูงกว่าค่า viscous modulus (G″) และมีค่า loss tangent (tan δ) ต่ำในทุกหน่วยการทดลอง แสดงว่าพฤติกรรมของของแข็งมากกว่าพฤติกรรมของของเหลวซึ่งการที่มีค่า elastic modulus (G′)สูง ในขณะที่ค่า loss tangent (tan δ)มีค่าต่ำแสดงถึงการมีโครงสร้างที่ดีของไอศกรีม(Granger *et al.,* 2005)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของไอศกรีมวนิลาลดไขมันที่ใช้สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนผสมสารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรต

สิ่งทดลอง	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (เปอร์เซ็นต์ Brix)	ปริมาณไขมัน (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณโปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	น้ำตาลทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)
A	26.63 ^{b} ± 0.08	4.19 ^{cd} ± 0.43	2.57 ^{a} ± 0.03	32.03 ^{cd} ± 0.22
P+A(4:1)	28.33 ^{e} ± 0.10	2.52 ^{a} ± 0.29	3.26 ^{cde} ± 0.22	31.95 ^{cd} ± 0.06
P+A(1:1)	27.90 ^{d} ± 0.55	3.26 ^{b} ± 0.58	3.08 ^{c} ± 0.02	31.93 ^{cd} ± 0.31
P+A(1:4)	27.60 ^{cd} ± 0.44	4.18 ^{cd} ± 0.69	2.90 ^{b} ± 0.05	31.95 ^{cd} ± 0.25
M	27.50 ^{c} ± 0.21	4.39 ^{cd} ± 0.43	2.63 ^{a} ± 0.06	31.91 ^{cd} ± 0.08
P+M(4:1)	28.90 ^{fg} ± 0.11	4.01 ^{c} ± 0.13	3.36 ^{e} ± 0.21	31.99 ^{cd} ± 0.16
P+M(1:1)	28.40 ^{e} ± 0.66	4.21 ^{cd} ± 0.32	3.34 ^{de} ± 0.27	31.98 ^{cd} ± 0.01
P+M(1:4)	27.60 ^{cd} ± 0.18	4.31 ^{cd} ± 0.13	3.27 ^{de} ± 0.03	31.91 ^{cd} ± 0.11
Al	29.13 ^{g} ± 0.16	4.59 ^{d} ± 0.28	2.57 ^{a} ± 0.06	31.50 ^{b} ± 0.19
P+Al(4:1)	28.67 ^{ef} ± 0.33	4.07 ^{c} ± 0.06	3.17 ^{cd} ± 0.05	31.73 ^{bc} ± 0.40
P+Al(1:1)	28.57 ^{ef} ± 0.20	4.12 ^{c} ± 0.22	2.91 ^{b} ± 0.08	32.13 ^{d} ± 0.41
P+Al(1:4)	27.47 ^{c} ± 0.16	4.27 ^{cd} ± 0.44	2.60 ^{a} ± 0.05	32.01 ^{cd} ± 0.17
สูตรควบคุม	26.00 ^{a} ± 0.00	7.02 ^{e} ± 0.02	3.43 ^{e} ± 0.30	33.91 ^{d} ± 0.30

หมายเหตุ : - ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ
± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญสถิติโดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

- W = Whey protein A=Avicel M= MT-01 Al=Alpha-starch

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้พบว่า ไอศกรีมที่ทดแทนไขมันด้วยสารทดแทนไขมันแบบผสมมีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดในสูตรเพิ่มขึ้นจากสูตรควบคุมและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรควบคุม โดยพบว่าไอศกรีมลดไขมันที่ใช้สารทดแทนไขมันแอลฟา-สตาร์ช มีผลทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดในสูตรเพิ่มขึ้นมากที่สุด รองลงมาคือ การใช้เอ็มที-01 และ อะวิเซล ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาไอศกรีมลดไขมันที่ใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนร่วมกับอะวิเซล ซึ่งมีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดใกล้เคียงกับสูตรควบคุมมากที่สุดจะมีแนวโน้มว่า เมื่อเพิ่มสัดส่วนของการใช้อะวิเซลเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดในสูตรจะมีค่าลดลง เช่นเดียวกับการใช้เอ็มที-01 และแอลฟา-สตาร์ช ซึ่งปริมาณของแข็งทั้งหมดของไอศกรีมได้มาจากสัดส่วนของการใช้สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีน และคาร์โบไฮเดรตมีค่าอยู่ระหว่าง 26.63-29.13 (ตารางที่ 4.10) ซึ่งปริมาณของแข็งทั้งหมดที่สูงจะได้รับอิทธิพลจากปริมาณสารทดแทนไขมันที่เพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ไอศกรีมวนิลาลดไขมันที่ใช้สารทดแทนไขมันด้วยสารทดแทนไขมัน แอลฟา-สตาร์ช 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีปริมาณไขมันอยู่ 4.59 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณของแข็งสูงที่สุดเท่ากับ 29.13 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.10) เช่นเดียวกับการทดลองของ Guinard *et al.* (1997) พบว่า ไอศกรีมวนิลาที่มีเปอร์เซ็นต์ของแข็งทั้งหมดมากที่สุดคือไอศกรีมสูตรที่ใช้ระดับน้ำตาล และไขมันสูงที่สุด

ปริมาณไขมันพบว่าการใช้สารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรตเพียงอย่างเดียวให้ปริมาณไขมันสูงกว่าและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับการใช้สารทดแทนไขมันแบบผสม และพบว่าการใช้อะวิเซลเพียงอย่างเดียวจะให้ปริมาณไขมันต่ำที่สุด รองลงมาคือการใช้เอ็มที-01 และ แอลฟา-สตาร์ช ตามลำดับ เนื่องจาก อะวิเซล มีปริมาณไขมันต่ำที่สุด รองลงมาคือ เอ็มที-01 และ แอลฟา-สตาร์ช ตามลำดับ และมีแนวโน้มว่าปริมาณไขมันของการใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนร่วมกับอะวิเซล จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของการใช้อะวิเซล โดยพบว่าสูตรที่ใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนร่วมกับอะวิเซลที่อัตราส่วน 4:1 มีปริมาณไขมันต่ำที่สุดคือ 2.52 เปอร์เซ็นต์ และเพิ่มขึ้นเป็น 3.26 และ 4.18 เปอร์เซ็นต์เมื่อเพิ่มอัตราส่วนการใช้เวย์โปรตีนร่วมกับอะวิเซล เป็น 1:1และ 1:4 ตามลำดับ(ตารางที่ 4.10) การใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนร่วมกับเอ็มที-01พบว่าการใช้เอ็มที-01 ในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้มีปริมาณไขมันในสูตรเพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกับการใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนร่วมกับอะวิเซล แต่กลับพบว่าการใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนร่วมกับเอ็มที-01 มีปริมาณไขมันสูงกว่าการใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนร่วมกับอะวิเซลในทุก ๆ อัตราส่วน ทั้งนี้เนื่องจากสารทดแทนไขมันเอ็มที-01 มีปริมาณไขมันสูงกว่าอะวิเซล เมื่อนำไปใช้ร่วมกับสารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนจึงส่งให้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มีปริมาณไขมันในสูตรเพิ่มขึ้น และเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของการใช้สารทดแทนไขมันเอ็มที-01 แต่การใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีน ร่วมกับแอลฟา-สตาร์ชนั้นมีแนวโน้มว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของการใช้แอลฟา-สตาร์ชมากขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณไขมันในสูตรลดลงแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ระหว่างการใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนร่วมกับแอลฟา-สตาร์ช ที่อัตราส่วน 4:1 และ 1:1 และการใช้สารทดแทนไขมันแอลฟา-สตาร์ช 100 เปอร์เซ็นต์ กล่าวได้ว่าการเพิ่มอัตราส่วนของแอลฟา-สตาร์ชไม่มีผลต่อปริมาณไขมันในสูตร แต่จะสามารถลดปริมาณไขมันในสูตรได้หากเพิ่มอัตราส่วนของการใช้ เวย์โปรตีนร่วมกับแอลฟา-สตาร์ชเป็น 1:4

ปริมาณโปรตีน พบว่าการใช้สารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรตทั้ง 3 ชนิดเพียงอย่างเดียวจะให้ปริมาณโปรตีนต่ำกว่าสูตรควบคุม และสูตรที่ใช้สารทดแทนไขมันแบบผสมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) และมีแนวโน้มว่าการใช้สารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรตในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณโปรตีนในสูตรลดลงและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ยกเว้นในสูตรที่ใช้เวย์โปรตีนร่วมกับเอ็มที-01 ที่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ในทุก ๆ อัตราส่วน ทั้งนี้เนื่องจาก สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนที่ใช้ มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าสารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรต ทำให้ปริมาณโปรตีนลดลง และพบว่าการใช้เวย์โปรตีน ร่วมกับเอ็มที-01 ทั้ง 3 อัตราส่วนให้ค่าปริมาณโปรตีนลดลงเพียงเล็กน้อยกล่าวคือ มีปริมาณโปรตีน 3.36, 3.34 และ 3.28 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับการใช้เวย์โปรตีนร่วมกับเอ็มที-01 ที่อัตราส่วน 4:1, 1:1 และ 1:4 ตามลำดับ(ตารางที่ 4.10) ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ส่วนการใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนร่วมกับเอ็มที-01 จะมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าการใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนร่วมกับอะวิเซลและแอลฟา-สตาร์ช ในทุกอัตราส่วน โดยการใช้เอ็มที-01 ที่อัตราส่วน 1:4 จะให้ค่าปริมาณโปรตีนเท่ากับ 3.26 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.10) ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) กับสูตรควบคุม การใช้เวย์โปรตีนร่วมกับแอลฟา-สตาร์ชจะให้ปริมาณโปรตีนต่ำกว่าสูตรควบคุมในทุก ๆ อัตราส่วน และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) แสดงให้เห็นว่าการใช้เอ็มที-01 มีผลทำให้ปริมาณโปรตีนในไอศกรีมลดไขมันมีปริมาณลดลงน้อยที่สุด รองลงมาคือการใช้อะวิเซลและแอลฟา-สตาร์ช ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำตาลทั้งหมด พบว่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของไอศกรีมวนิลาลดไขมันที่ใช้สารทดแทนไขมันแบบผสมมีค่าต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) กับตัวอย่างควบคุม และพบว่าการใช้ อะวิเซล และเอ็มที-01 เพียงอย่าง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เดียวและใช้ร่วมกับเวย์โปรตีนในทุกอัตราส่วน จะให้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมากกว่าการใช้แอลฟา-สตาร์ช เพียงอย่างเดียวและการใช้ เวย์โปรตีน ร่วมกับ แอลฟา-สตาร์ช ที่ระดับ 4:1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งเมื่อพิจารณาร่วมกับคุณสมบัติด้านความเรียบเนียน พบว่าไอศกรีมที่มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดสูงกว่าจะได้รับคะแนนความเรียบเนียนสูงกว่า ซึ่งปริมาณน้ำตาล มีอิทธิพลต่อเนื้อสัมผัสของไอศกรีม เช่นเดียวกับ Arbuckle (1986) รายงานว่าไอศกรีมที่มีปริมาณน้ำตาล 12 เปอร์เซ็นต์ จะมีขนาดผลึกน้ำแข็งเป็น 67.5 × 51.0 ไมโครเมตร ไอศกรีมที่มีปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้นเป็น 18 เปอร์เซ็นต์ จะมีขนาดผลึกน้ำแข็งลดลงเป็น 48.8×35.5 ไมโครเมตร ดังนั้นปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น ผลึกน้ำแข็งของไอศกรีมมีขนาดเล็กลง และทำให้เนื้อสัมผัสไอศกรีมมีความเรียบเนียนเพิ่มขึ้นและสอดคล้องกับการทดลองของ Guinard *et al*. (1997) เมื่อเพิ่มปริมาณไขมัน และน้ำตาลหรือทั้งสองอย่าง มีผลทำให้ขนาดของผลึกน้ำแข็งในไอศกรีมมีขนาดเล็กลง และเนื้อสัมผัสของไอศกรีมเรียบเนียนขึ้น (สุพัฒน์, 2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.11 ค่าคะแนนสัดส่วนเฉลี่ยของแต่ละลักษณะจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมวนิลาที่ใช้สารทดแทนไขมันแบบผสมที่ได้จากสัดส่วนเวย์โปรตีน และอวิเซล

สิ่งทดลอง	ลักษณะทางประสาทสัมผัส						
	ความเรียบเนียน	สี	กลิ่นวนิลา	ความมัน ns	ความเหนียวหนืด ns	การละลายในปาก	ความชอบรวม
Whey protein + Avicel อัตราส่วน 4:1	6.96 ^{ab} ± 1.46	7.04 ^{ab} ± 1.27	6.36 ^{a} ± 1.22	7.08 ± 1.38	6.96 ± 1.21	7.00 ^{ab} ± 1.54	7.08 ^{ab} ± 1.15
Whey protein + Avicel อัตราส่วน 1:1	7.56 ^{b} ± 0.87	7.40 ^{b} ± 1.00	7.16 ^{b} ± 1.34	7.36 ± 1.11	7.20 ± 1.08	7.48 ^{b} ± 0.87	7.64 ^{b} ± 0.91
Whey protein + MT-01 อัตราส่วน 4:1	6.56 ^{a} ± 1.46	6.80 ^{a} ± 1.08	6.56 ^{ab} ± 1.36	6.92 ± 1.29	6.64 ± 1.15	6.88 ^{b} ± 1.01	6.64 ^{a} ± 1.44
Whey protein + MT-01 อัตราส่วน 1:4	7.20 ^{ab} ± 1.38	7.28 ^{b} ± 1.06	6.88 ^{ab} ± 1.09	7.20 ± 1.26	6.92 ± 1.12	7.04 ^{ab} ± 0.84	7.16 ^{ab} ± 1.07
Whey protein + Alpha starch อัตราส่วน 1:4	6.60 ^{a} ± 1.38	6.8 ^{a} ± 1.04	6.72 ^{ab} ± 1.17	7.20 ± 1.19	6.80 ± 0.96	7.12 ^{ab} ± 0.88	6.96 ^{a} ± 0.93
สูตรควบคุม	7.20 ^{ab} ± 1.19	7.40 ^{b} ± 1.08	7.08 ^{b} ± 1.38	7.20 ± 1.12	6.96 ± 1.02	7.24 ^{ab} ± 0.93	7.24 ^{ab} ± 1.01

หมายเหตุ : - ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดสอบชิมของผู้บริโภคจำนวน 50 คน ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยวิธี DMRT ที่ระดับความ เชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

- ns = ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คะแนนความเรียบเนียนของไอศกรีมที่ทดแทนไขมันด้วยสารทดแทนไขมันแบบผสมทั้ง 5 สูตร พบว่าให้ค่าคะแนนความเรียบเนียนไม่แตกต่างกับสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)กล่าวคือ มีคะแนนความเรียบเนียนมีค่าอยู่ระหว่าง 6.60 - 7.56 คะแนน(ตารางที่ 4.11) เมื่อพิจารณาร่วมกับคุณสมบัติทางกายภาพด้านปริมาณไขมันพบว่า ค่าคะแนนสัดส่วนความเรียบเนียนจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อมีปริมาณไขมันเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการทดลองของ สุพัฒน์ (2546) ที่พบว่า ค่าคะแนนสัดส่วนเฉลี่ยความเรียบเนียนเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณน้ำตาล และไขมันเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากปริมาณไขมันมีอิทธิพลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของไอศกรีมโดยจะไปช่วยลดขนาดของผลึกน้ำแข็ง ทำให้เนื้อสัมผัสไอศกรีมมีความเรียบเนียน และลื่นในปาก และสอดคล้องกับการทดลองของ Arbuckle (1986) ที่รายงานว่า เมื่อปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นจาก 10 เปอร์เซ็นต์เป็น 16 เปอร์เซ็นต์ผลึกน้ำแข็งจะมีขนาดลดลงจาก 82.6 ×60.8 ไมโครเมตร เป็น 47.2× 38.0 ไมโครเมตร เนื่องจากไอศกรีมที่มีปริมาณไขมันมากขึ้นจะทำให้มีปริมาณน้ำในสูตรลดลง ผลึกน้ำแข็งจึงมีขนาดเล็กลงได้ ไอศกรีมที่มีปริมาณไขมันต่ำกว่า จะมีลักษณะเกร็ดน้ำแข็งและร่วน (crumbly) มากกว่า ทำให้มีความเรียบเนียนน้อยกว่า (Roland *et al.,* 1999) ไขมันช่วยให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสเรียบเนียน (Marshall และ Arbuckle, 1996) การลดปริมาณไขมันทำให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสหยาบขึ้นได้ แต่การทดลองนี้พบว่า ไอศกรีมลดไขมันมีคะแนนความชอบด้านความเรียบเนียนใกล้เคียงกับสูตรควบคุม ซึ่งมีปริมาณไขมันสูงถึง 7 เปอร์เซ็นต์ได้ เนื่องจากสูตรลดไขมัน ใช้สารทดแทนไขมันซึ่งเป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรตจึงสามารถมีพันธะกับน้ำทำให้น้ำที่แข็งตัวเป็นผลึกน้ำแข็งมีน้อยลง (Miller-Livney และ Hartel, 1997) ไอศกรีมที่ได้จึงยังคงมีความเรียบเนียนเป็นที่พึงพอใจ ดังนั้นสารทดแทนไขมันจึงมีส่วนในการช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมลดไขมันได้

คะแนนความชอบด้านสี พบว่า มีค่าคะแนนความชอบด้านสีเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 6.80-7.40 คะแนน(ตารางที่ 4.11) อยู่ในเกณฑ์ชอบเล็กน้อยถึงชอบมาก โดยการใช้เวย์โปรตีนร่วมกับอะวิเซล ในอัตราส่วน 4:1และ 1:1 และการใช้เวย์โปรตีนร่วมกับ เอ็มที-01 ในอัตราส่วน 1:4 จะมีคะแนนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรควบคุม แต่เมื่อเทียบกับ การใช้ เวย์โปรตีนร่วมกับ เอ็มที-01 ที่อัตราส่วน 4:1 และเวย์โปรตีนร่วมกับแอลฟา-สตาร์ชที่อัตราส่วน 1:4 จะมีคะแนนความชอบด้านสีต่ำกว่าและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$) กับสูตรควบคุม โดยพบว่า การใช้เวย์โปรตีนร่วมกับ อะวิเซลที่อัตราส่วน 1:1 จะมีคะแนนเฉลี่ยยอมรับสีที่ปรากฏสูงที่สุดเท่ากับ 7.40 คะแนน เท่ากับสูตรควบคุมเนื่องจากไอศกรีมนมมีสีเหลืองอ่อนเนื่องจากวัตถุดิบ นมผง และเนยสดที่ใช้มีสีเหลือง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ส่วนคะแนนด้านกลิ่นวนิลาพบว่าคะแนนความชอบของไอศกรีมในสูตรที่ใช้เวย์โปรตีนร่วมกับอะวิเซลในอัตราส่วน 1:1 เวย์โปรตีนร่วมกับ เอ็มที-01 อัตราส่วน 4:1 และ เวย์โปรตีนร่วมกับ แอลฟา-สตาร์ชอัตราส่วน 1:4 มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$) กับสูตรควบคุม แต่พบว่าไอศกรีมลดไขมันที่ใช้เวย์โปรตีนร่วมกับอะวิเซลในอัตราส่วน 4:1 มีคะแนนด้านกลิ่นวนิลาลดลงและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$) ซึ่งเมื่อพิจารณาร่วมกับปริมาณไขมันซึ่งไอศกรีมที่ใช้เวย์โปรตีนร่วมกับอะวิเซลในอัตราส่วน 4:1 มีปริมาณไขมันต่ำที่สุด จึงส่งผลให้มีคะแนนด้านกลิ่นวนิลาต่ำที่สุด เช่นเดียวกับการทดลองของ Li *et al*. (1997) ซึ่งได้ศึกษาผลของไขมันในไอศกรีมที่มีต่อกลิ่นรสของไอศกรีมกลิ่นวนิลาโดยทดสอบความชอบด้านกลิ่นรสทางประสาทสัมผัสของผู้ชิมพบว่าตัวอย่างไอศกรีมที่มีเปอร์เซ็นต์ไขมันเพิ่มขึ้น มีคะแนนด้านกลิ่นรสดีขึ้น เนื่องจากไขมันให้กลิ่นรสแก่ผลิตภัณฑ์ และเป็นตัวพาสารให้กลิ่นรสที่เติมลงไปในไอศกรีม ระหว่างไอศกรีมละลายในปาก ระดับของไขมันมีผลต่อช่วงเวลาการปลดปล่อยกลิ่นรสและระยะเวลาการรับรู้กลิ่นรสของไอศกรีม (Roos, 1997) จึงทำให้ผู้ชิมไอศกรีมวนิลาลดไขมันรับรู้กลิ่นวนิลาเร็วรุนแรงกว่ากลิ่นวนิลาในไอศกรีมที่มีไขมันมากกว่า และไอศกรีมสูตรควบคุม และจางไปเร็วกว่า เป็นเหตุให้คะแนนด้านความชอบด้านกลิ่นวนิลาต่ำกว่า

สำหรับคะแนนด้านความมัน และความเหนียวหนืด ของทุกตัวอย่างและสูตรควบคุมมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$) เนื่องจากการใช้สารทดแทนไขมันในกลุ่มคาร์โบไฮเดรตและไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส ช่วยปรับปรุงคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ได้และทำให้เกิดความแตกต่างเพียงเล็กน้อย หรือไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อพิจารณาคะแนนความเรียบเนียน การละลายในปาก และความชอบรวม พบว่ามีคะแนนความชอบไม่แตกต่างจากสูตรควบคุมแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$) ซึ่งการลดไขมันในสูตรแล้วทดแทนด้วยสารทดแทนไขมัน ช่วยให้ลักษณะการละลายในปาก และความเรียบเนียนของไอศกรีมไม่แตกต่างกันมากนัก (พัชรินทร์, 2544) ผู้ทดสอบจึงไม่สามารถบอกความแตกต่างในด้านความเร็ว-ช้าของการละลายในปากของไอศกรีมได้ เช่นเดียวกับการทดลองของ Ohmes *et al.* (1998) ที่พบว่าผู้ทดสอบไม่สามารถบอกความแตกต่างของการละลายในปากของไอศกรีมสูตรควบคุมและสูตรลดไขมันที่ใช้ Simpless เป็นสารทดแทนไขมัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และทางประสาทสัมผัสข้างต้น แสดงให้เห็นว่า การใช้สารทดแทนไขมันแบบผสมในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมลดไขมัน ส่งผลให้คุณสมบัติทางกายภาพ, เคมี และทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมเปลี่ยนแปลงไป จากการพิจารณาโดยรวมในการศึกษาครั้งต่อไป จึงสามารถคัดเลือกได้ว่าการใช้เวย์โปรตีน ร่วมกับอะวิเซลที่อัตราส่วน 4:1 มีความเหมาะสมที่จะใช้ในการผลิตไอศกรีมวนิลาสูตรลดไขมันและลดพลังงาน เนื่องจากมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับสูตรควบคุมมากที่สุด ทั้งยังมีปริมาณไขมันต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับสูตรอื่น คือ 2.52 เปอร์เซ็นต์ และยังให้ค่าโอเวอร์รันสูงกว่าสูตรควบคุมแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เป็นสูตรพื้นฐานในการผลิตไอศกรีมวนิลาลดไขมันและลดพลังงาน ได้รับการยอมรับมากที่สุดจากการประเมินผลทางด้านคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่มีค่าใกล้เคียงกับสูตรควบคุมมากที่สุด และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากที่สุดอีกด้วย

4.4 ผลของสารทดแทนไขมันแบบผสม และผลของสารทดแทนความหวานต่อคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัสไอศกรีมวนิลาลดไขมันและพลังงานต่ำ

ผลิตเป็นไอศกรีมวนิลาสูตรลดไขมัน โดยเลือกชนิดและระดับของสารทดแทนไขมันแบบผสมที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับสูตรควบคุมมากที่สุดจากตอนที่ 3 ตามกรรมวิธีการผลิตไอศกรีมวนิลาที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นมาผันแปรระดับของสารทดแทนความหวานมอลติทอล (maltitol) 3 ระดับคือ 10, 12 และ 14 เปอร์เซ็นต์(w/w) ใช้แผนการทดลองแบบ CRD ทำการทดลองชุดละ 3 ซ้ำ ไอศกรีมทุกสิ่งทดลองของแต่ละชุดการทดลองนำไปตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัส เพื่อคัดเลือกสิ่งทดลองที่มีปริมาณไขมันต่ำที่สุดและมีคุณภาพใกล้เคียงกับสูตรควบคุมมากที่สุด ส่วนในกรณีการการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค (Consumer test) ใช้แผนการทดลองแบบ RCBD

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของไอศกรีมวนิลาลดไขมันที่ใช้สารทดแทนไขมันแบบผสม และสารให้ความหวานมอลติตอล 3 ระดับคือ 10, 12 และ 14 เปอร์เซ็นต์ (w/w)

สิ่งทดลอง	พีเอช (pH)	ความหนืด (เซนติพอยด์)	อัตราการละลายต่อ100 กรัม (กรัมต่อนาที)	โอเวอร์รัน (เปอร์เซ็นต์)	เนื้อสัมผัส (แรงกดสูงสุด : กรัม)	ค่าสี		
						L*	a*	b*
สารให้ความหวานมอลติตอล 10 เปอร์เซนต์(w/w)	6.33 ^{a} ± 0.00	98.58 ^{a} ± 2.28	0.53 ^{c} ± 0.09	33.88 ^{b} ±1.29	231.35 ^{b} ± 22.82	81.97 ^{a} ± 1.89	- 0.85 ^{a} ±0.19	+15.59 ^{c} ± 1.30
สารให้ความหวานมอลติตอล 12 เปอร์เซนต์(w/w)	6.33 ^{a} ± 0.00	109.12 ^{b} ± 7.28	0.34 ^{b} ± 0.05	44.52 ^{c} ±2.23	230.09 ^{b} ± 15.15	83.44 ^{b} ± 1.15	- 0.82 ^{a} ±0.27	+14.18 ^{b} ±0.44
สารให้ความหวานมอลติตอล 14 เปอร์เซนต์(w/w)	6.33 ^{a} ± 0.00	154.12 ^{c} ± 9.45	0.07 ^{a} ± 0.01	45.88 ^{c} ±0.36	238.98 ^{b} ± 21.48	84.17 ^{b} ± 1.13	- 1.22 ^{b} ±0.11	+15.20 ^{c} ± 0.54
สูตรควบคุม	6.50 ^{b} ± 0.00	94.78 ^{a} ± 0.74	0.60 ^{d} ± 0.00	31.44 ^{a} ±2.80	72.03 ^{a} ± 3.72	83.34 ^{b} ± 0.66	- 2.33 ^{c} ±0.07	+12.05 ^{a} ± 0.79

หมายเหตุ : - ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

- L* = ค่าความสว่าง; a* = - ค่าสีเขียว; b* = + สีเหลือง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อพิจารณาค่าพีเอชของไอศกรีมวนิลาลดไขมัน และลดพลังงานพบว่า ค่าพีเอชของไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันแบบผสมร่วมกับสารทดแทนความหวานมอลติตอลทั้ง 3 ระดับ มีค่าพีเอชที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) คือมีค่าเท่ากับ 6.33(ตารางที่ 4.12) กล่าวได้ว่า การใช้สารทดแทนความหวานมอลติตอลในระดับที่แตกต่างกันทั้ง 3 ระดับไม่มีผลต่อค่าพีเอชของไอศกรีมเหลว และพบว่าค่าพีเอชของส่วนผสมไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนความหวานมอลติตอลมีค่าต่ำกว่าส่วนผสมของไอศกรีมสูตรควบคุมที่มีค่าเท่ากับ6.50 (ตารางที่ 4.12) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากไอศกรีมวนิลาสูตรลดไขมันและลดพลังงานที่ใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีน จึงส่งผลให้ค่าพีเอชของส่วนผสมลดลงกว่าสูตรควบคุม

ด้านความข้นหนืดพบว่า ค่าความข้นหนืดของไอศกรีมจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารทดแทนความหวานมอลติตอลมากขึ้น และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)กับตัวอย่างควบคุม ยกเว้นสิ่งทดลองที่มีปริมาณของสารทดแทนความหวานมอลติตอล 10 เปอร์เซ็นต์(w/w) ที่มีความข้นหนืดเท่ากับ 98.58 เซนติพอยส์ ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) กับตัวอย่างควบคุมที่มีความข้นหนืดเท่ากับ 94.78 เซนติพอยส์(ตารางที่ 4.12) และมีความความข้นหนืดต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับส่วนผสมไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนความหวานมอลติตอลที่ระดับ 12 และ 14 เปอร์เซ็นต์(w/w) ที่มีความข้นหนืดเท่ากับ 109.12 และ 154.12 เซนติพอยส์ตามลำดับ(ตารางที่ 4.12) เช่นเดียวกับการทดลองของ Akin *et al.* (2006) ที่พบว่า ความหนืดของตัวอย่างไอศกรีมจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

อัตราการละลายต่อ 100 กรัมของไอศกรีมวนิลาลดไขมันจะมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารทดแทนความหวานมอลติตอลมีค่าเพิ่มขึ้น และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) กับสูตรควบคุม ซึ่งไอศกรีมวนิลาลดไขมันที่มีปริมาณน้ำตาล 14 เปอร์เซ็นต์(w/w) มีอัตราการละลายต่อ 100 กรัมต่ำที่สุด คือมีค่าเท่ากับ 0.07 กรัมต่อนาที(ตารางที่ 4.12) ซึ่งปริมาณของสารทดแทนความหวานที่เพิ่มขึ้นช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางด้านการละลายของไอศกรีมได้ เช่นเดียวกับการทดลองของ Akin *et al.* (2006) ที่พบว่า ระยะเวลาที่ตัวอย่างเริ่มละลายของไอศกรีมจะยาวนานขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำตาล อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) และพบว่าอัตราการละลายของไอศกรีมมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำตาลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) กล่าวคือความเข้มข้นของน้ำตาลมีผลต่อการละลายของตัวอย่างไอศกรีมในทิศทางตรงกันข้ามกัน คือ ถ้ามีปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น อัตราการละลายจะลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ด้านค่าโอเวอร์รันพบว่า ค่าโอเวอร์รันของไอศกรีมจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารทดแทนความหวานมอลติตอลมีค่าเพิ่มขึ้นและมีค่าสูงกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือ ไอศกรีมที่ใช้มอลติตอลที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์(w/w)มีค่าโอเวอร์รันเท่ากับ 33.88 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.13) ในขณะที่ไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนความหวานมอลติตอลที่ระดับ 12 และ 14 เปอร์เซ็นต์(w/w) มีค่าโอเวอร์รันเท่ากับ 44.52 และ 45.88 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ(ตารางที่ 4.13) ซึ่งทั้งสองสูตรไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมมีค่าโอเวอร์รันเท่ากับ 31.44 เปอร์เซ็นต์(ตารางที่ 4.12) ซึ่งกล่าวได้ว่า การใช้สารทดแทนความหวานมอลติตอลในไอศกรีมวนิลาลดไขมันและลดพลังงาน มีส่วนช่วยปรับปรุงคุณสมบัติด้านโอเวอร์รันให้ดีขึ้นได้ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเพิ่มระดับของให้ทดแทนความหวานมากขึ้น จะส่งผลให้มีความข้นหนืดของส่วนผสมมากขึ้น ทำให้การตีอากาศเข้าไปในส่วนผสมขณะปั่นเกิดได้ดีขึ้น และช่วยให้การจับอากาศของไอศกรีมเกิดได้ดีขึ้น ทั้งยังทำให้การกระจายของเซลล์อากาศมีความสม่ำเสมอ สามารถกักเก็บฟองอากาศไว้ได้มากกว่าทำให้มีค่าโอเวอร์รันเพิ่มขึ้น และส่งผลให้มีอัตราการละลายช้าลง เช่นเดียวกับการทดลองของ Akin *et al.* (2006) พบว่าค่าโอเวอร์รันของไอศกรีมเพิ่มขึ้นจาก 34 ถึง 37 เปอร์เซ็นต์ เมื่อมีปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้นเป็น 15 และ 21 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$)

เนื้อสัมผัสพบว่า ไอศกรีมลดไขมันที่ใช้สารทดแทนความหวานมอลติตอลทั้ง 3 ระดับมีค่าความแข็ง เท่ากับ 230.09 ถึง 238.98 กรัม (ตารางที่ 4.12) และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กล่าวได้ว่า ระดับการใช้สารทดแทนความหวานมอลติตอลที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลกระทบต่อค่าความแข็งของไอศกรีมลดไขมัน และพบว่า มีค่ามากกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจาก การใช้สารทดแทนไขมันในสูตรไอศกรีมมีผลกระทบต่อเนื้อสัมผัสของไอศกรีมอย่างเด่นชัดมากกว่าปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นทำให้เมื่อเพิ่มระดับของการใช้สารทดแทนความหวานจึงไม่ทำให้ค่าความแข็งของไอศกรีมเปลี่ยนแปลงไปมากนัก รวมทั้ง น้ำหนักโมเลกุลของน้ำตาลซูโครสที่มากว่าสารทดแทนความหวานมอลติตอล ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิเดียวกันไอศกรีมที่ทำให้ปริมาณน้ำแข็งตัวน้อยกว่า นั่นก็คือ มีปริมาณน้ำที่ยังไม่แข็งตัวอยู่มากกว่า ดังนั้นไอศกรีมสูตรที่ใช้น้ำตาลซูโครส จึงมีเนื้อสัมผัสนุ่มกว่าไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนความหวานมอลติตอล

ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าสี L* a* และ b* ของไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนความหวานมอลติตอลทั้ง 3 ระดับ กับสูตรควบคุมพบว่า ไอศกรีมมีสีขาวนวลเนื่องจากมีค่า L* ซึ่งแสดงถึง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

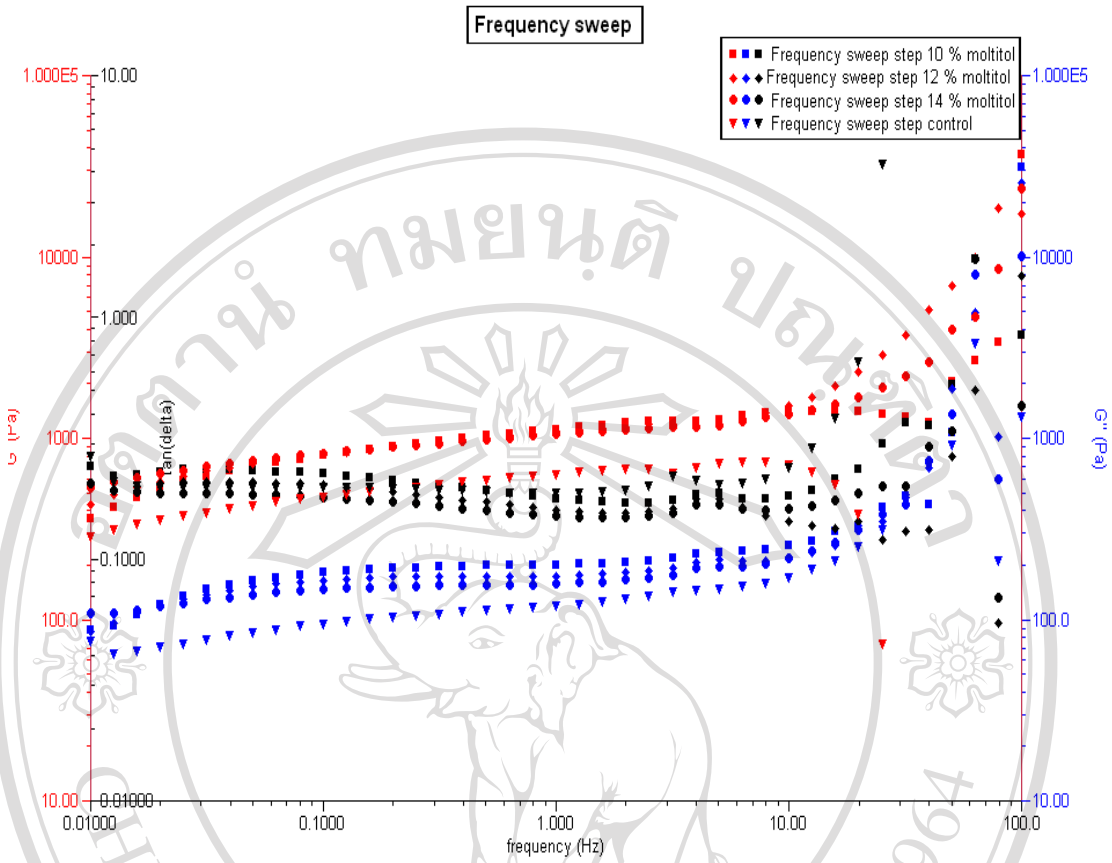
ระดับความสว่างของไอศกรีมมีค่ามาก โดยไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนความหวานมอลติตอลที่ระดับ 12 และ 14 เปอร์เซ็นต์(w/w) มีค่าความสว่างไม่ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p\leq0.05$) กับตัวอย่างควบคุม และมีแนวโน้มว่า ค่าความสว่างจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับของการใช้มอลติตอล และพบว่า การใช้สารทดแทนความหวานมอลติตอลมีส่วนช่วยปรับปรุงค่าความสว่างของไอศกรีมให้มีค่าไม่แตกต่างจากสูตรควบคุมได้ ถึงแม้ว่าจะมีปริมาณไขมันที่ต่ำกว่าสูตรควบคุมก็ตาม

ค่าสี a* (สีแดง-สีเขียว) พบว่า ค่า a* เป็นค่าของสีเขียว (ค่าเป็นลบ) พบว่าไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนความหวานมอลติตอลทั้ง 3 ระดับ มีค่า a* ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p\leq0.05$) คือมีค่าอยู่ระหว่าง -0.85 ถึง -1.22 (ตารางที่ 4.12) ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมมีค่าเท่ากับ -2.33 (ตารางที่ 4.12)

ส่วนค่าสี b* (สีเหลือง-น้ำเงิน) พบว่า ค่า b* เป็นค่าของสีเหลือง(ค่าเป็นบวก) ของไอศกรีมวนิลาที่ใช้สารทดแทนความหวานมอลติตอลทุกระดับมีค่ามากกว่าตัวอย่างควบคุมและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยพบว่ามีค่ามากกว่าตัวอย่างควบคุม คือมีค่าเท่ากับ +14.18 ถึง + 15.59 (ตารางที่ 4.13) ในขณะที่ไอศกรีมสูตรควบคุมมีค่าเท่ากับ +12.05 (ตารางที่ 4.12) ซึ่งเป็นผลมาจากตัวอย่างควบคุมมีปริมาณไขมันสูงกว่าจึงมีค่าสี b* ที่ต่ำกว่า และสีของเวย์โปรตีนที่มีสีเหลือง จึงส่งผลให้ไอศกรีมลดไขมันที่ได้มีค่าสีเหลืองมากกว่าตัวอย่างควบคุม

ผลของสารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนต่อคุณสมบัติทางรีโอโลยีของไอศกรีมวนิลาลดไขมันที่ใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนร่วมกับอะวิเซลที่อัตราส่วน 4:1 และการใช้มอลติตอลทดแทนการใช้น้ำตาลซูโครส ที่ระดับ 10, 12 และ 14 เปอร์เซ็นต์ (w/w) จากการผลิตไอศกรีมวนิลาลดไขมัน โดยใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนร่วมกับอะวิเซลที่อัตราส่วน 4:1 และการใช้มอลติตอลทดแทนการใช้น้ำตาลซูโครส ที่ระดับ 10, 12 และ 14 เปอร์เซ็นต์ (w/w) เพื่อศึกษาผลของสารทดแทนไขมันแบบผสมต่อคุณสมบัติทางรีโอโลยีของไอศกรีมวนิลาลดไขมัน โดยเลือกค่าของสมบัติทางรีโอโลยีที่ความถี่ 1 เฮิซ์ท เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบและการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ แสดงดังภาพที่ 4.6 4.7 และตารางที่ 4.13

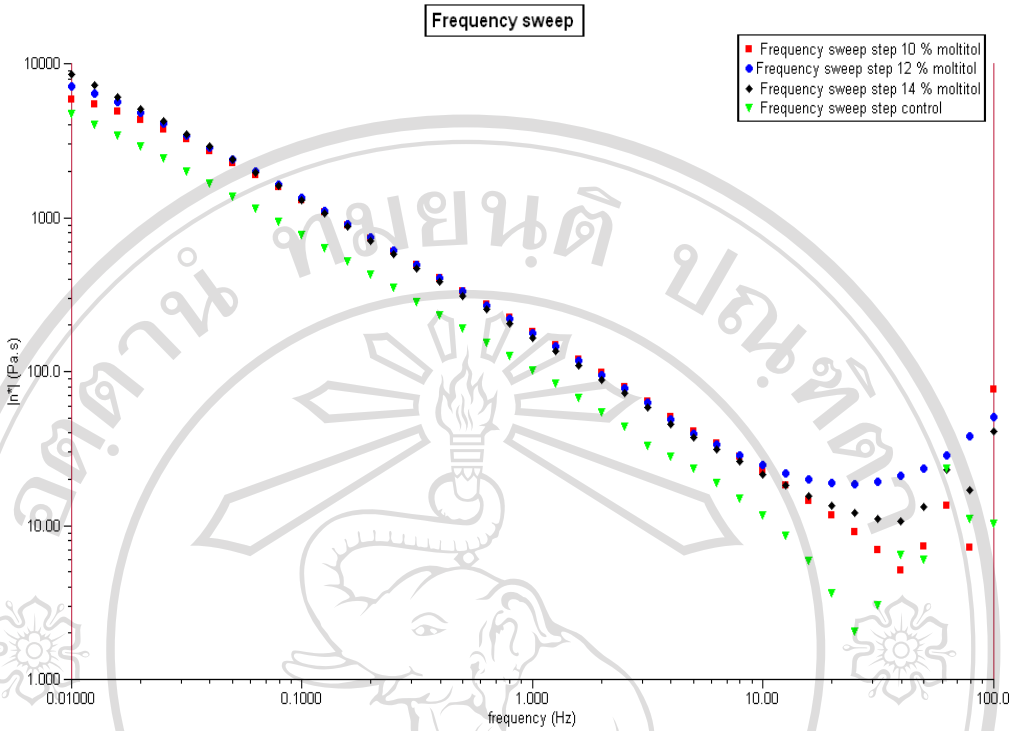
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.6 ค่า elastic modulus (G′) ค่า viscous modulus (G″) และloss tangent (tanδ) ของไอศกรีมวนิลาลดไขมันที่ใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนร่วมกับอะวิเซลที่อัตราส่วน 4:1 และการใช้มอลติตอลทดแทนการใช้น้ำตาลซูโครส ที่ระดับ 10, 12 และ 14 เปอร์เซ็นต์ (w/w) และสูตรควบคุม

จากภาพที่ 4.6 แสดงค่า elastic modulus (G′) มีค่าสูงกว่า viscous modulus (G″)ในทุก ๆ ความถี่ แสดงถึงลักษณะเด่นของสมบัติของแข็งยืดหยุ่น (elastic) ของไอศกรีมวนิลา และพบว่า ค่า elastic modulus (G′) และ viscous modulus (G″) มีค่าเพิ่มขึ้นตามความถี่ที่เปลี่ยนไปแสดงถึงการเพิ่มขึ้นของส่วนที่เป็นน้ำแข็ง ทำให้ความแข็งของไอศกรีมเพิ่มขึ้น หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงการเรียงตัวของโครงสร้างภายในไอศกรีม (Granger *et al.*, 2005) แต่ก็เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และจะเริ่มเสียสภาพ เมื่อความถี่มากกว่า 10 เฮิร์ซ อาจเนื่องมากจาก ผลึกน้ำแข็งเกิดการละลายหรือโครงสร้างอื่น เช่น ฟองอากาศ, โครงสร้างของไขมัน, โปรตีน หรือ stabilizer เกิดการเปลี่ยนแปลงหรือถูกทำลายจากความถี่มากเกินไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.7 ค่า complex viscosity (η*) ของไอศกรีมวนิลาลดไขมันที่สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนร่วมกับอะวิเซลที่อัตราส่วน 4:1 และการใช้มอลติตอลทดแทนการใช้น้ำตาลซูโครส ที่ระดับ 10, 12 และ 14 เปอร์เซ็นต์ (w/w) และสูตรควบคุม

จากภาพที่ 4.7 แสดงค่า ค่าความหนืดเชิงซ้อน complex viscosity (η*) ของไอศกรีมวนิลาที่ใช้สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนสองชนิด เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม พบว่า ค่าความหนืดเชิงซ้อน complex viscosity (η*) ของไอศกรีมวนิลาที่ใช้สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนทั้งสองชนิดมีค่า ค่าความหนืดเชิงซ้อน complex viscosity (η*) สูงกว่าตัวอย่างควบคุมในทุก ๆ ความถี่ และมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ และลดลงอย่างรวดเร็วตามความถี่ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากที่ความถี่สูงไม่มีเวลานานพอที่จะทำให้โพลิเมอร์ที่ประสานกันได้แยกจากกันอย่างสมบูรณ์ และเกิดการคลาย cross-link แสดงถึงไอศกรีมวนิลาเป็นพันธะที่ไม่แข็งแรง และแสดงลักษณะการไหลแบบ Non-newtonian liquid แบบ shear thinning (pseudoplastic)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.13 ผลของสารทดแทนไขมันต่อคุณสมบัติทางรีโอโลยีของไอศกรีมวนิลาลดไขมันที่ใช้สารทดแทนไขมันเวย์โปรตีนร่วมกับอะวิเซลที่อัตราส่วน 4:1 และการใช้มอลติตอลทดแทนการใช้น้ำตาลซูโครส ที่ระดับ 10, 12 และ 14 เปอร์เซ็นต์ (w/w) และสูตรควบคุมที่ความถี่ 1 เฮริซ์ท

สิ่งทดลอง	G' (Pa.)	G" (Pa.)	tan δ	η* (Pa.s)
สารให้ความหวานมอลติตอล 10 เปอร์เซนต์ (w/w)	974.37 ^{b} ±20.70	171.10 ^{bc} ±20.83	0.18 ^{b} ±0.01	165.08 ^{b} ±26.35
สารให้ความหวานมอลติตอล 12 เปอร์เซนต์ (w/w)	1055.18 ^{c} ±66.31	181.53 ^{c} ±13.74	0.16 ^{a} ±0.01	173.80 ^{b} ± 8.98
สารให้ความหวานมอลติตอล 14 เปอร์เซนต์ (w/w)	1002.72 ^{bc} ±61.97	154.97 ^{b} ±13.18	0.15 ^{a} ±0.01	176.70 ^{b} ±13.75
สูตรควบคุม	649.02 ^{a} ± 38.66	121.27 ^{a} ± 9.28	0.19 ^{d} ±0.00	105.09 ^{a} ±6.31

หมายเหตุ : - ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ
± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.13 แสดงค่า elastic modulus (G′) ค่า viscous modulus (G″) loss tangent (tan δ) และ complex viscosity (η*) พบว่า ค่า elastic modulus (G′) ของไอศกรีมที่ใช้มอลติตอลทั้ง 3 ระดับมีค่ามากกว่าตัวอย่างควบคุมและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยไอศกรีมที่ใช้มอลติตอลที่ระดับ 12 และ 14 เปอร์เซ็นต์(w/w) ที่มีค่า elastic modulus (G′) เท่ากับ 1055.18 และ 1002.72 Pa. ตามลำดับ (ตารางที่ 4.13) ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$)และมีค่ามากกว่าไอศกรีมที่ใช้มอลติตอลที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ (w/w) ที่มีค่า elastic modulus (G′) เท่ากับ 974.37 Pa. (ตารางที่ 4.13) ส่วนค่า viscous modulus (G″) พบว่า ค่า viscous modulus (G″) ของไอศกรีมที่ใช้มอลติตอลทั้ง 3 ระดับมีค่ามากกว่าตัวอย่างควบคุมและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยไอศกรีมที่ใช้มอลติตอลที่ระดับ 10 และ 12 เปอร์เซ็นต์(w/w) ที่มีค่า viscous modulus (G″) เท่ากับ 171.10 และ 154.97 Pa. ตามลำดับ(ตารางที่4.14) ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และมี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ค่ามากกว่าไอศกรีมที่ใช้มอลติตอลที่ระดับ 14 เปอร์เซ็นต์(w/w) ที่มีค่า viscous modulus (G″) เท่ากับ 154.97 Pa. (ตารางที่ 4.13)

ส่วนค่า loss tangent (tan δ) มีค่าต่ำ คือ 0.15-0.19 Pa. (ตารางที่ 4.13) แสดงสถานะยืดหยุ่น (elastic)สูงและวัสดุไหล(viscous)ต่ำ ซึ่งไอศกรีมที่ใช้มอลติตอลทั้งสามระดับ จะมีค่า loss tangent (tan δ) ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม และไอศกรีมวนิลาลดไขมันที่ใช้มอลติตอลที่ระดับ 12 และ 14 เปอร์เซ็นต์(w/w) มีค่า loss tangent (tan δ) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ค่าความหนืดเชิงซ้อนหรือ complex viscosity (η*) ของไอศกรีมวนิลาลดไขมัน พบว่าการใช้มอลติตอลทั้ง 3 ระดับมีค่า ความหนืดเชิงซ้อนหรือ complex viscosity (η*) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คือมีค่าอยู่ระหว่าง 165.08-176.70 Pa.s(ตารางที่ 4.13) แต่ไอศกรีมวนิลาลดไขมันที่ใช้มอลติตอลทั้ง 3 ระดับมีค่า complex viscosity (η*) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับตัวอย่างควบคุม และมีค่าสูงกว่าตัวอย่างควบคุมที่มีค่า complex viscosity (η*) เท่ากับ 105.09 Pa.s(ตารางที่ 4.13)

จากการวิเคราะห์สมบัติทางรีโอโลยี แสดงให้เห็นว่า ไอศกรีมวนิลาลดไขมันที่ใช้สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนทั้งสองชนิด จะมีค่า elastic modulus (G′) สูงกว่าค่า viscous modulus (G″) และมีค่า loss tangent (tan δ) ต่ำ ในทุกหน่วยการทดลอง แสดงว่าพฤติกรรมของของแข็งมากกว่าพฤติกรรมของของเหลวซึ่งการที่มีค่า elastic modulus (G′)สูง ในขณะที่ค่า loss tangent (tan δ) มีค่าต่ำแสดงถึงการมีโครงสร้างที่ดีของไอศกรีม (Granger *et al.*, 2005)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.14 คุณสมบัติทางเคมีของไอศกรีมวนิลาลดไขมันที่ใช้สารทดแทนไขมันแบบผสมและสารให้ความหวานมอลติตอลที่ระดับ 10, 12 และ 14 เปอร์เซ็นต์ (w/w)

สิ่งทดลอง	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (เปอร์เซ็นต์ Brix)	ปริมาณไขมัน (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณโปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (เปอร์เซ็นต์)	ค่าพลังงาน (กิโลแคลอรี่ต่อ 100 กรัม)
สารให้ความหวานมอลติตอล 10 เปอร์เซนต์(w/w)	26.57 ^{a} ± 0.26	2.21 ^{a} ± 0.26	3.34 ± 0.06	4.445 ^{d} ± 1.92	448.966 ^{a} ± 2.94
สารให้ความหวานมอลติตอล 12 เปอร์เซนต์(w/w)	28.83 ^{b} ± 0.08	2.21 ^{a} ± 0.14	3.33 ± 0.05	4.252 ^{c} ± 0.136	467.057 ^{b} ± 1.47
สารให้ความหวานมอลติตอล 14 เปอร์เซนต์(w/w)	30.57 ^{c} ± 1.29	2.26 ^{b} ±0.27	3.31 ± 0.10	3.848 ^{a} ± 4.67	480.692 ^{c} ± 6.57
สูตรควบคุม	26.00 ^{a} ± 0.00	7.02 ^{b} ± 0.02	3.43 ± 0.30	3.958 ^{b} ± 0.00	499.149 ^{d} ± 8.71

หมายเหตุ : - ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยวิธี DMRT ที่ระดับ ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)
- ns = ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อพิจารณาคุณสมบัติทางเคมี พบว่า การใช้สารทดแทนความหวานมอลติตอลที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์(w/w) มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) กับตัวอย่างควบคุม คือมีค่าเท่ากับ 26.57 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมมีค่าเท่ากับ 26.00 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าต่ำกว่าตัวอย่างที่ใช้สารทดแทนความหวานมอลติตอลที่ระดับ 12 และ 14 เปอร์เซ็นต์(w/w) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 28.83 และ 30.57 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.13) ตามลำดับ และมีแนวโน้มว่า เมื่อเพิ่มระดับของการใช้สารทดแทนความหวานมอลติตอล จะส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในไอศกรีมมีค่าเพิ่มขึ้น ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดจึงได้รับอิทธิพลจากปริมาณสารทดแทนความหวานมอลติตอลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) เช่นเดียวกับการทดลองของ Guinard *et al.* (1997) พบว่า ไอศกรีมวนิลาที่มีเปอร์เซ็นต์ของแข็งมากที่สุด คือสูตรไอศกรีมที่ใช้ระดับน้ำตาลและไขมันสูงที่สุดและ การทดลองของ Specter และ Setser (1994) พบว่า น้ำตาลและไขมันเป็นตัวเพิ่มปริมาณของแข็งในส่วนผสมไอศกรีมทำให้ความข้นหนืดเพิ่มขึ้น และช่วยปรับปรุงเนื้อ (body) และเนื้อสัมผัสของไอศกรีมได้

เมื่อพิจารณาร่วมกับอัตราการละลาย และความข้นหนืดพบว่า สูตรที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ต่ำกว่า จะมีอัตราการละลายเร็วกว่าสูตรที่มีปริมาณของแข็งมากกว่า ทั้งนี้เนื่องจาก ทำให้มีปริมาณน้ำอิสระน้อยกว่า เนื่องจากน้ำตาลจะไปลดจุดเยือกแข็งของไอศกรีม ซึ่งตามหลักการแล้วอัตราการละลายของไอศกรีมเกี่ยวข้องกับจุดเยือกแข็ง โดยไอศกรีมที่มีจุดเยือกแข็งต่ำมีอัตราการละลายเร็วกว่า (Marshall และ Arbuckle, 1996)

ปริมาณไขมัน พบว่าปริมาณไขมันของไอศกรีมลดไขมันที่ใช้สารทดแทนความหวานมอลติตอลทั้ง 3 ระดับ มีปริมาณไขมันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) คือมีค่าอยู่ระหว่าง 2.21– 2.26 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.9) ซึ่งมีค่าต่ำกว่าสูตรควบคุมซึ่งมีไขมัน 7 เปอร์เซ็นต์ (w/w) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณโปรตีน พบว่าไอศกรีมลดไขมันทุกสิ่งทดลองมีปริมาณโปรตีนไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p\leq0.05$) กับตัวอย่างควบคุม คือมีค่าอยู่ระหว่าง 3.31-3.43 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.14) และไอศกรีมสูตรควบคุมมีปริมาณโปรตีนอยู่เทากับ 3.43 เปอร์เซ็นต์ กล่าวได้ว่าระดับความเข้มข้นของน้ำตาลไม่มีผลต่อปริมาณโปรตีนในไอศกรีมลดไขมัน

ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ พบว่าจะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มระดับของสารทดแทนความหวานมอลติตอล และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p\leq0.05$) กล่าวคือ ที่ระดับการใช้มอลติตอล 10, 12 และ 14 เปอร์เซ็นต์ (w/w) มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 4.45, 4.25 และ 3.85 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 4.14) และมีค่ามากกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ซึ่งตัวอย่างควบคุมมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 3.96 เปอร์เซ็นต์

ค่าพลังงานพบว่า ไอศกรีมลดไขมันที่ใช้สารทดแทนความหวานมอลติตอลทั้ง 3 ระดับมีค่าพลังงานอยู่ระหว่าง 448.97-480.69 กิโลแคลอรี่ต่อ 100 กรัม (ตารางที่ 4.13) และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p\leq0.05$) กล่าวคือมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ระดับของสารทดแทนความหวานเพิ่มขึ้น คือที่ระดับการใช้สารทดแทนความหวานมอลติตอลที่ระดับ 10, 12 และ 14 เปอร์เซ็นต์(w/w) จะมีค่าพลังงาน เท่ากับ 448.97, 467.06 และ 480.69 กิโลแคลอรี่ต่อ 100 กรัม ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมมีค่าพลังงานเท่ากับ 499.15 กิโลแคลอรี่ต่อ 100 กรัม(ตารางที่ 4.13) กล่าวได้ว่าการใช้สารทดแทนความหวานมอลติตอลทดแทนการใช้น้ำตาลซูโครสสามารถช่วยลดพลังงานในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมลดไขมันได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.15 ค่าคะแนนสัดส่วนเฉลี่ยของแต่ละลักษณะจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมวนิลาที่ใช้สารทดแทนไขมันแบบผสมร่วมกับการใช้สารทดแทนความหวานมอลติตอล 3 ระดับคือ 10, 12 และ 14 เปอร์เซ็นต์ (w/w)

สิ่งทดลอง	ความเรียบเนียน	สี	กลิ่นวนิลา	ความมัน	ความเหนียวหนืด	การละลายในปาก	ความชอบรวม
ระดับของสารให้ความหวานมอลติตอล 10 เปอร์เซนต์(w/w)	7.54 ^{bc} ± 0.76	7.40 ^{ab} ± 0.95	6.50 ^{a} ±1.27	6.96 ^{a} ±1.03	7.02 ^{a} ±1.20	7.22 ^{a} ± 0.86	7.02 ^{b} ± 0.80
ระดับของสารให้ความหวานมอลติตอล 12 เปอร์เซนต์(w/w)	7.44 ^{b} ± 1.03	7.64 ^{c} ±0.90	6.72 ^{a} ±1.43	6.84 ^{a} ±1.46	6.96 ^{a} ±1.38	7.00 ^{a} ±0.26	6.72 ^{ab} ± 1.11
ระดับของสารให้ความหวานมอลติตอล 14 เปอร์เซนต์(w/w)	6.76 ^{a} ± 1.62	7.24 ^{a} ±1.00	6.66 ^{a} ±1.15	6.74 ^{a} ±1.08	6.68 ^{a} ±1.52	6.92 ^{a} ±1.25	6.62 ^{a} ± 0.92
สูตรควบคุม	7.92 ^{c} ± 0.83	7.92 ^{c} ±0.85	7.48 ^{b} ±1.11	7.58 ^{b} ±0.86	7.64 ^{b} ±0.87	7.68 ^{b} ± 0.94	7.90 ^{c} ± 0.61

หมายเหตุ : - ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดสอบชิมของผู้บริโภคจำนวน 50 คน ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า คะแนนความเรียบเนียน มีระดับคะแนนความชอบอยู่ในช่วง 7.54-6.76 คะแนน (ตารางที่ 4.15) ซึ่งอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ซึ่งการใช้สารทดแทนความหวาน มอลติตอล 10 เปอร์เซ็นต์(w/w) ได้รับคะแนนความเรียบเนียนสูงที่สุดเท่ากับ 7.54 คะแนน ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) กับตัวอย่างควบคุม และตัวอย่างที่ให้สารทดแทนความหวานมอลติตอลที่ระดับ 12 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่ระดับ 12 เปอร์เซ็นต์(w/w) ได้คะแนนความชอบด้านความเรียบเนียนเท่ากับ 7.44 คะแนน ส่วนที่ระดับ 14 เปอร์เซ็นต์(w/w) ได้คะแนนความเรียบเนียนต่ำที่สุดคือ 6.76 คะแนน คะแนนความชอบด้านสีที่ปรากฏพบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 7.24-7.64 คะแนน (ตารางที่ 4.15) อยู่ในระดับชอบปานกลาง โดยตัวอย่างที่มีระดับของสารทดแทนความหวานมอลติตอล 12 เปอร์เซ็นต์(w/w) มีคะแนนความชอบด้านสีที่ปรากฏสูงที่สุด และไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) กับตัวอย่างควบคุม

คะแนนด้านกลิ่นวนิลา, ความมัน, ความเหนียวหนืด และการละลายของทุกตัวอย่างไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) แต่มีคะแนนต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม โดยคะแนนความชอบด้านกลิ่นวนิลา พบว่า ไอศกรีมใช้สารทดแทนความหวานมอลติตอลที่ระดับ 12 เปอร์เซ็นต์ (w/w) จะมีคะแนนความชอบใกล้เคียงกับสูตรควบคุมมากที่สุด สำหรับคุณสมบัติด้านความเหนียวหนืด และการละลายในปาก พบว่าไอศกรีมสูตรที่ใช้สารทดแทนความหวานมอลติตอลที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ (w/w) มีคะแนนความชอบใกล้เคียงกับสูตรควบคุมมากที่สุด

คะแนนความชอบรวม พบว่า คะแนนความชอบจะลดลงเมื่อเพิ่มระดับของการใช้สารทดแทนความหวานมอลติตอลและมีค่าน้อยกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) แต่พบว่า ไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนความหวานมอลติตอล 10 และ 12 เปอร์เซ็นต์(w/w) มีคะแนนความชอบรวมไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ซึ่งตัวอย่างที่ใช้สารทดแทนความหวานมอลติตอล 10 เปอร์เซ็นต์(w/w) มีคะแนนความชอบรวมใกล้เคียงกับสูตรควบคุมมากที่สุด และไอศกรีมวนิลาลดไขมันที่ใช้สารทดแทนความหวานมอลติตอลที่ระดับ 12 และ 14 เปอร์เซ็นต์(w/w) ได้รับคะแนนความชอบรวม ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ปริมาณน้ำตาลเป็นปัจจัยสำคัญต่อการยอมรับของไอศกรีมและการใช้สารทดแทนความหวานต่างชนิดกันมีผลต่อกลิ่นรสของไอศกรีม ซึ่งระดับของสารให้ความหวานมอลติตอลที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์(w/w) ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมมากที่สุด และมีคะแนนความชอบด้านต่าง ๆ ใกล้เคียงกับสูตรควบคุมมากที่สุดเมื่อเทียบกับ ที่ระดับ 12 และ 14 เปอร์เซ็นต์(w/w)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved