บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1. ผลของอัตราส่วนระหว่างข้าวก่ำต่อน้ำ ต่อสมบัติของน้ำข้าวก่ำ

การศึกษาผลของอัตราส่วน (โดยน้ำหนัก) ระหว่างข้าวก่ำต่อน้ำ ที่มีต่อสมบัติของน้ำนมข้าวก่ำที่ได้ โดยทำการผันแปรอัตราส่วนดังกล่าว 3 ระดับ ได้แก่ 1:2, 1:4 และ 1:10 ที่แต่ละอัตราส่วนทำการแช่เป็นเวลา 4 ชั่วโมงแล้วนำไปปั่นผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องปั่นผสมอาหาร จากนั้นกรองแยกเอาส่วนกากและน้ำออกจากกันโดยใช้ผ้าขาวบาง นำน้ำนมข้าวก่ำที่ได้นำไปวิเคราะห์สมบัติด้านต่างๆ ต่อไป

จากการสังเกตพบว่าในระหว่างการแช่ข้าวก่ำ เกิดการละลายของสารสีม่วงแดงกลุ่มแอนโธไซยานินที่อยู่บริเวณเยื่อหุ้มเมล็ดของข้าวก่ำ ที่สามารถละลายได้ดีในน้ำ ทำให้สารละลายน้ำข้าวก่ำมีสีม่วงแดงและการดูดซับน้ำทำให้เม็ดข้าวนุ่มขึ้น ง่ายต่อการนำมาปั่นผสมเพื่อเตรียมน้ำข้าวก่ำและน่าจะส่งผลให้สามารถสกัดสารสำคัญที่อยู่ในข้าวก่ำได้ง่ายขึ้น ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของน้ำข้าวก่ำ ที่ผ่านการแช่น้ำในอัตราส่วนที่ต่างกันทั้ง 3 ระดับได้ผลดังแสดงตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลของอัตราส่วน (โดยน้ำหนัก) ระหว่างข้าวก่ำต่อน้ำที่ใช้ในขั้นตอนการเตรียมน้ำข้าวก่ำ ต่อสมบัติทางกายภาพของน้ำข้าวก่ำ

อัตราส่วน ข้าวก่ำ : น้ำ (w/w)	L*	a*	b*	ความหนืด (centipoint)	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (^{o}Brix)	ค่า pH
1:2	30.68±0.56^{a}	16.20±0.14^{a}	-5.44±0.14^{c}	3.12±0.97^{a}	6.55±0.16^{a}	6.44±0.16^{c}
1:4	27.48±0.35^{b}	16.05±0.10^{b}	-3.80±0.31^{b}	2.42±0.64^{b}	1.85±0.83^{b}	6.56±0.08^{b}
1:10	23.31±0.35^{c}	15.46±0.10^{c}	-2.06±0.16^{a}	2.29±0.67^{c}	0.67±0.08^{c}	6.85±0.00^{a}

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ
ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.1 พบว่าค่าสีของน้ำข้าวก่ำที่แต่ละอัตราส่วนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือ ค่าความสว่างของสี (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีน้ำเงิน (b*) ของน้ำข้าวก่ำลดลงตามปริมาณน้ำในส่วนผสมที่เพิ่มขึ้น น้ำข้าวก่ำที่เตรียมได้มีสีม่วงแดงจากสีของแอนโธไซยานินที่ละลายออกมาจากข้าวก่ำ การเพิ่มปริมาณน้ำในอัตราส่วนทำให้

น้ำข้าวก่ำเจือจางลง ทำให้โทนสีแดงลดลงในขณะที่โทนสีเขียวเพิ่มขึ้น ประกอบกับน้ำข้าวก่ำมีโทนสีน้ำเงิน (ค่า b* มีค่าเป็นลบ) จึงส่งผลให้ค่าความสว่างของสีของน้ำข้าวก่ำลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยน้ำข้าวก่ำที่เตรียมจากอัตราส่วนระหว่างข้าวก่ำกับน้ำเท่ากับ 1:2 มีค่าความสว่าง ความเป็นสีแดงและความเป็นสีน้ำเงินมากที่สุด

นอกจากจะส่งผลต่อโทนสีของน้ำข้าวก่ำที่ได้แล้วยังส่งผลต่อความข้นหนืดและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้อย่างมีนัยสำคัญ ความข้นหนืดและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตามปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นในส่วนผสม เนื่องจากน้ำข้าวก่ำถูกทำให้เจือจางลง ทำให้ความเข้มข้นของตัวถูกละลายลดลงส่งผลให้ความข้นหนืดของน้ำข้าวก่ำลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tanteeratram และคณะ (1997) ที่ได้รายงานถึงองค์ประกอบของน้ำนมถั่วเหลืองที่ได้จากการปั่นโดยใช้อัตราส่วนถั่วเหลืองต่อน้ำที่ระดับต่างกัน พบว่าการใช้อัตราส่วนระหว่างถั่วเหลืองแห้งต่อน้ำในขั้นตอนการสกัดที่ต่ำ (มีปริมาณน้ำน้อย) มีผลทำให้น้ำนมถั่วเหลืองที่ได้มีปริมาณของแข็งทั้งหมดรวมถึงองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ที่มีค่าสูงกว่าการใช้อัตราส่วนระหว่างถั่วเหลืองแห้งต่อน้ำที่สูง (มีปริมาณน้ำมาก)

จากตารางที่ 4.1 พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำข้าวก่ำเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตามปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำที่ใช้มีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 7.74 ± 0.03 ดังนั้นการเพิ่มปริมาณน้ำจึงทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำข้าวก่ำมีค่าใกล้เคียงกับความเป็นกลางมากที่สุด สอดคล้องกับรายงานของ สุนันทาและคณะ (2549) ที่กล่าวว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำข้าวที่ได้จากแป้งข้าวมีค่าประมาณ 7.10

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของน้ำข้าวก่ำ ที่แต่ละอัตราส่วนระหว่างข้าวก่ำต่อน้ำ ที่ใช้ในการเตรียมน้ำข้าวก่ำ ได้ผลดังแสดงตารางที่ 4.2

การเพิ่มปริมาณน้ำในส่วนผสมส่งผลต่อการลดลงขององค์ประกอบทางเคมีในน้ำข้าวก่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ที่ใช้อัตราส่วนในการเตรียมที่ต่างกัน 3 ระดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าอัตราส่วน 1:2 มีปริมาณโปรตีน ไขมัน ของแข็งทั้งหมดและเถ้ามากที่สุดคือ 1.09, 1.47, 7.58 และ 0.87 กรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจากน้ำข้าวก่ำถูกเจือจางน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับอัตราส่วน 1:4 และ 1:10 ซึ่งงานวิจัยของคุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดข้าวก่ำพันธุ์ลืมผัวจาก กรมการข้าว (2556) พบว่า มีปริมาณโปรตีน ไขมันและเถ้า ในปริมาณ 9.46, 4.30 และ 2.33 กรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 ผลของอัตราส่วน (โดยน้ำหนัก) ระหว่างข้าวก่ำต่อน้ำที่ใช้ในขั้นตอนการเตรียมน้ำข้าวก่ำ ต่อสมบัติทางเคมีของน้ำข้าวก่ำ (ต่อน้ำหนักข้าว 100 กรัม)

อัตราส่วน	องค์ประกอบทางเคมี			
ข้าวก่ำ:น้ำ (w/w)	โปรตีน	ไขมัน	ของแข็งทั้งหมด	เถ้า
1:2	1.09 ± 0.42^{a}	1.47 ± 0.03^{a}	7.58 ± 0.06^{a}	0.87 ± 0.08^{a}
1:4	0.42 ± 0.26^{b}	0.58 ± 0.01^{b}	2.72 ± 0.01^{b}	0.63 ± 0.05^{b}
1:10	0.15 ± 0.10^{c}	0.13 ± 0.01^{c}	1.28 ± 0.03^{c}	0.23 ± 0.05^{c}

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ
ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ผลของอัตราส่วนระหว่างข้าวก่ำต่อน้ำ ที่มีต่อปริมาณแอนโธไซยานิน สารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านออกซิเดชันของน้ำข้าวก่ำ แสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลของอัตราส่วน (โดยน้ำหนัก) ระหว่างข้าวก่ำต่อน้ำที่ใช้ในขั้นตอนการเตรียมน้ำข้าวก่ำ ต่อปริมาณแอนโธไซยานิน สารประกอบฟีนอลิก และสมบัติการต้านออกซิเดชัน ของน้ำข้าวก่ำ

อัตราส่วน ข้าวก่ำ:น้ำ (w/w)	ปริมาณแอนโธไซยานิน (Cyanidin-3-glucoside มก. /มล.)	ปริมาณฟีนอลิก (gallic acid equil มก./มล.)	สมบัติการต้านออกซิเดชัน		
			DPPH (%inhibition)	Reducing power (gallic acid equil มก./มล.)	Metal Chelating (%inhibition)
1:2	0.032 ± 0.006^{c}	0.218 ± 0.011^{a}	66.38 ± 0.48^{c}	0.076 ± 0.002^{a}	60.95 ± 2.14^{a}
1:4	$0.048.\pm0.002^{b}$	0.135 ± 0.011^{b}	76.08 ± 0.23^{b}	0.059 ± 0.002^{b}	50.06 ± 2.84^{b}
1:10	0.087 ± 0.003^{a}	0.086 ± 0.007^{c}	83.14 ± 0.49^{a}	0.036 ± 0.003^{c}	37.27 ± 2.46^{c}

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ
ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

จากการตารางที่ 4.3 พบว่า อัตราส่วนของข้าวก่ำต่อน้ำมีผลต่อทั้งปริมาณแอนโธไซยานินและสารกลุ่มฟีนอลิก โดยการเพิ่มปริมาณน้ำในอัตราส่วนส่งผลให้ปริมาณของแอนโธไซยานินและสารกลุ่มฟีนอลิกลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยปริมาณสารแอนโธไซ

ยานินและสารกลุ่มฟีนอลิกในอัตราส่วนข้าว:น้ำ ที่อัตราส่วน 1:2 ให้ปริมาณแอนโธไซยานินและสารกลุ่มฟีนอลิกเท่ากับ 0.032 และ0.218 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งงานวิจัยของคุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดข้าวก่ำพันธุ์ลืมผัวจาก กรมการข้าว (2556) พบว่า ปริมาณแอนโธไซยานินและสารกลุ่มฟีนอลิก 46.56 และ 833.77 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ

การลดลงของปริมาณสารสำคัญมีผลสอดคล้องกับสมบัติการต้านออกซิเดชันที่วัดในรูปของ reducing power และ metal chelating ability ที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตาม DPPH inhibiting activity ของน้ำข้าวก่ำกลับมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตามปริมาณที่เพิ่มขึ้นของน้ำในอัตราส่วนที่ใช้ แสดงให้เห็นถึงความซับซ้อนในการประเมินสมบัติการต้านออกซิเดชันของตัวอย่างอาหาร รายงานการศึกษาวิจัยหลายฉบับที่แสดงถึงความไม่สอดคล้องกันของผลการประเมินกิจกรรมต้านออกซิเดชันเมื่อประเมินด้วยวิธีที่ต่างกัน (Deepa *et al.*, 2006; Stratil *et al.*, 2006) ความไม่สอดคล้องกันของผลการประเมินกิจกรรมต้านออกซิเดชันในการศึกษาครั้งนี้อาจเนื่องมาจากการทดสอบกลไกการต้านออกซิเดชันที่ต่างกันของวิธีการประเมิน (Prior *et al.*, 2005) นอกจากนี้แล้วยังมีรายงานการวิจัยที่แสดงให้เห็นว่าสมบัติการต้านออกซิเดชันมีความสัมพันธ์น้อยมากกับปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิกในตัวอย่าง (Chu *et al.*, 2002; Sun & Ho, 2005) ทั้งนี้อาจเนื่องจากหลายสาเหตุ ประการแรกนอกจากสารกลุ่มฟีนอลิกที่เป็นสารต้านออกซิเดชันหลักที่ได้จากการสกัดโดยหยาบนั้นอาจมีสารต้านออกซิเดชันอื่นๆ รวมถึง แคโรทีนอยด์ วิตามินอีและเกลือแร่ต่างๆ ในสารสกัด ซึ่งอาจจะส่งผลต่อการวัดสมบัติการต้านออกซิเดชันทั้งหมดได้ ประการที่สอง สมบัติการต้านออกซิเดชันนั้นไม่ได้ขึ้นกับเพียงปริมาณของสารกลุ่มฟีนอลิกอย่างเดียว แต่ยังขึ้นกับโครงสร้างทางเคมีของสารฟีนอลิกอีกด้วย (Heim *et al.*, 2002; Rice-Evans *et al.*, 1996) ประการที่สาม การทำงานร่วมกันของสารต้านออกซิเดชันในสารสกัดหยาบที่ได้ ทำให้เกิดกิจกรรมต้านออกซิเดชันได้ดี ถึงแม้ว่าสารต้านออกซิเดชันแต่ละตัวจะมีปริมาณไม่มาก

4.2 ผลของปริมาณกะทิและน้ำตาลในส่วนผสมพื้นฐานไอศกรีมที่มีต่อสมบัติของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำ

การศึกษาเพื่อการพัฒนาสูตรพื้นฐานโดยทำการผันแปร ทำการผันแปรปริมาณกะทิ 3 ระดับ คือ ร้อยละ 30, 40 และ 50 (โดยน้ำหนัก) และผันแปรปริมาณของน้ำตาล 2 ระดับ คือ ร้อยละ 10 และ 15 (น้ำหนัก/ปริมาตร) ของส่วนผสม โดยส่วนของน้ำข้าวก่ำเตรียมจากอัตราส่วนระหว่างข้าวก่ำต่อน้ำ 3 อัตราส่วน (1:2, 1:4 และ 1:10 โดยน้ำหนัก) ทำให้ได้สูตรพื้นฐาน (สำหรับส่วนผสม 100 กรัม) ที่แต่ละอัตราส่วนระหว่างข้าวก่ำต่อน้ำที่ใช้ในการเตรียมน้ำข้าวก่ำ ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ปริมาณส่วนประกอบของส่วนผสมไอศกรีมข้าวก่ำที่ใช้น้ำข้าวก่ำที่เตรียมจากอัตราส่วนระหว่างข้าวก่ำต่อน้ำ 3 อัตราส่วน (1:2, 1:4 และ 1:10 โดยน้ำหนัก) เป็นส่วนผสมหลัก

อัตราส่วนข้าว:น้ำ (โดยน้ำหนัก)	กะทิ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	น้ำตาล (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
1:2	30	10
		15
	40	10
		15
	50	10
		15
1:4	30	10
		15
	40	10
		15
	50	10
		15
1:10	30	10
		15
	40	10
		15
	50	10
		15

ตารางที่ 4.5 ผลของปริมาณกะทิและน้ำตาลในส่วนผสมไอศกรีมข้าวก่ำที่ใช้น้ำข้าวก่ำที่เตรียมจากอัตราส่วนระหว่างข้าวก่ำต่อน้ำ 3 อัตราส่วน (1:2, 1:4 และ 1:10 โดยน้ำหนัก) เป็นส่วนผสมหลักที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของส่วนผสมไอศกรีม และไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำ

อัตราส่วนข้าว:น้ำ (w/w)	ปริมาณกะทิ (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำตาล (ร้อยละ)	ค่าความหนืด* (centipoint)	โอเวอร์รัน (ร้อยละ)	อัตราการละลาย (กรัม/นาที)	ค่าแรงกดสูงสุด (กิโลกรัม)
1:2	30	10	139.13±36.08^{d}	22.95 ±1.20^{b}	0.10 ± 0.03^{g}	3.474 ±0.314^{h}
	30	15	384.78±1.51^{c}	17.61 ±1.41^{c}	0.07 ± 0.01^{j}	4.246 ±0.152^{g}
	40	10	412.82±10.28^{c}	12.80 ±0.91^{fgh}	0.09 ± 0.02^{h}	5.336 ±0.428^{de}
	40	15	922.93±58.61^{a}	13.38 ±2.41^{fg}	0.10 ± 0.04^{g}	5.537 ±0.398^{d}
	50	10	632.42±9.68^{b}	17.66 ±0.90^{c}	0.05 ± 0.01^{l}	4.103 ±0.410^{g}
	50	15	636.59±18.82^{b}	11.02 ±1.67^{j}	0.07 ± 0.01^{j}	5.543 ±0.264^{d}
1:4	30	10	45.52±3.45^{fg}	10.39 ±0.74^{i}	0.06 ± 0.00^{k}	5.687 ±0.154^{d}
	30	15	65.82±4.11^{efg}	25.68 ±0.40^{a}	0.10 ± 0.01^{g}	2.468 ±0.287^{j}
	40	10	75.40±1.07^{ef}	11.37 ±2.88^{hi}	0.12 ± 0.01^{f}	5.529 ±0.293^{d}
	40	15	91.48±6.56^{e}	10.94 ±0.93^{i}	0.19 ± 0.07^{b}	5.001 ±0.287^{ef}
	50	10	159.63±17.20^{d}	11.65 ±0.26^{ghi}	0.13 ± 0.03^{e}	4.899 ±0.475^{f}
	50	15	172.00±18.04^{d}	15.97 ±1.88^{d}	0.15 ± 0.09^{d}	4.293 ±0.236^{g}
1:10	30	10	30.45±5.61^{g}	14.14 ±1.14^{ef}	0.08 ± 0.01^{i}	4.473 ±0.423^{g}
	30	15	36.32±3.35^{fg}	6.96 ±0.96^{j}	0.07 ± 0.00^{j}	6.299 ±0.399^{bc}
	40	10	35.82±2.80^{fg}	15.50 ±0.40^{de}	0.13 ± 0.04^{e}	6.094 ±0.316^{c}
	40	15	42.93±3.73^{fg}	12.09 ±1.21^{ghi}	0.19 ± 0.10^{b}	6.447 ±0.177^{abc}
	50	10	42.90±5.81^{fg}	13.31 ±0.47^{fg}	0.16 ± 0.11^{c}	6.539 ±0.253^{ab}
	50	15	47.87±1.47^{fg}	12.87 ±1.11^{fgh}	0.25 ± 0.11^{a}	6.717 ±0.165^{a}

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ
ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
* สมบัติของส่วนผสมไอศกรีมข้าวก่ำ

ตารางที่ 4.6 ผลของปริมาณกะทิและน้ำตาลในส่วนผสมไอศกรีมข้าวก่ำที่ใช้น้ำข้าวก่ำที่เตรียมจากอัตราส่วนระหว่างข้าวก่ำต่อน้ำ 3 อัตราส่วน (1:2, 1:4 และ 1:10 โดยน้ำหนัก) เป็นส่วนผสมหลักที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของส่วนผสมไอศกรีม และไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำ

อัตราส่วนข้าว:น้ำ (w/w)	ปริมาณกะทิ (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำตาล (ร้อยละ)	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (°Brix)	L*	a*	b*
1:2	30	10	20.5 ±0.0^{i}	49.41 ± 1.10^{def}	10.35 ± 0.64^{b}	3.47 ±0.36^{e}
	30	15	23.2 ±0.2^{d}	47.57 ±0.75^{def}	10.73 ±0.30^{b}	3.61 ±0.27^{e}
	40	10	19.4 ± 0.2^{j}	50.58 ±1.66^{de}	10.44 ±0.50^{b}	4.22 ±0.18^{d}
	40	15	23.6 ±0.1^{ab}	47.54 ±3.14	10.57 ±6.53^{b}	4.44 ±0.27^{d}
	50	10	21.3 ±0.1^{f}	52.54 ±1.90^{cd}	11.48 ±0.34^{a}	5.44 ±0.28^{bc}
	50	15	23.6 ±0.0^{a}	52.44 ±0.93^{cd}	11.79 ±0.30^{a}	5.24 ±0.16^{c}
1:4	30	10	18.8 ±0.0^{l}	44.73 ±1.11^{ef}	10.87 ±0.20^{b}	6.02 ±0.12^{a}
	30	15	21.9 ±0.1^{e}	45.62 ±0.73^{def}	11.54 ±0.23^{a}	4.35 ±0.33^{d}
	40	10	19.1 ±0.1^{k}	45.78 ±3.20^{def}	10.52 ±0.28^{b}	2.67 ±0.29^{f}
	40	15	23.5 ±0.1^{bc}	48.07 ±1.32^{def}	10.57 ±0.22^{b}	3.19 ±0.49^{e}
	50	10	19.1 ±0.1^{k}	51.00 ±1.19^{de}	10.36 ±0.34^{b}	5.50 ±0.26^{bc}
	50	15	23.4 ±0.1^{c}	43.27 ± 19.62^{f}	10.36 ±0.15^{b}	5.38 ±0.43^{bc}
1:10	30	10	16.8 ±0.1^{m}	58.67 ±1.61^{abc}	8.83 ±0.97^{d}	5.68 ±0.36^{abc}
	30	15	21.0 ±0.0^{h}	57.50 ±2.46^{bc}	9.34 ±0.39^{c}	5.80 ±0.23^{ab}
	40	10	16.5 ±0.1^{n}	59.90 ±4.40^{ab}	8.30 ± 0.29^{e}	5.19 ±0.68^{c}
	40	15	21.1 ±0.1^{g}	62.17 ±2.93^{ab}	7.76 ±0.38^{f}	5.60 ±0.21^{abc}
	50	10	16.5 ±0.1^{n}	63.86 ±4.00^{ab}	6.19 ±0.10^{g}	4.68 ±0.61^{d}
	50	15	21.1 ±0.1^{g}	64.84 ±4.11^{a}	5.62 ±0.37^{h}	4.53 ±0.75^{d}

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

*สมบัติของส่วนผสมไอศกรีมข้าวก่ำ

ตารางที่ 4.7 ผลของปริมาณกะทิและน้ำตาลในส่วนผสมไอศกรีมข้าวก่ำที่ใช้น้ำข้าวก่ำที่เตรียมจากอัตราส่วนระหว่างข้าวก่ำต่อน้ำ 3 อัตราส่วน (1:2, 1:4 และ 1:10 โดยน้ำหนัก) เป็นส่วนผสมหลักที่มีต่อสมบัติทางเคมีของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำ

อัตราส่วนข้าว : น้ำ (w/w)	ปริมาณกะทิ (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำตาล (ร้อยละ)	ของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ)	ค่า pH	ปริมาณแอนโธไซยานิน (Cyanidin-3-glucoside mg/L)	ปริมาณฟีนอลิก (gallic acid equil mg/mL)
1:2	30	10	25.89 ±1.34^{cdefg}	6.29 ±0.09^{a}	24.53 ±1.84^{h}	0.184 ±0.002^{a}
	30	15	29.51 ±3.15^{abcd}	6.18 ±0.05^{g}	24.36 ±0.67^{h}	0.182 ±0.002^{a}
	40	10	21.36 ±6.59^{gh}	6.18 ±0.05^{g}	22.81 ±0.62^{hi}	0.174 ±0.003^{b}
	40	15	30.64 ±3.01^{abc}	6.18 ±0.05^{g}	22.47 ±0.99^{hi}	0.155 ±0.007^{c}
	50	10	24.85 ±3.75^{defgh}	6.28 ±0.19^{b}	19.65 ±0.94^{i}	0.123 ±0.013^{d}
	50	15	31.67 ±3.06^{a}	6.14 ±0.01^{j}	19.03 ±0.45^{i}	0.105 ±0.022^{f}
1:4	30	10	22.36 ±2.64^{efgh}	6.29 ±0.05^{a}	48.40 ±0.74^{f}	0.111 ±0.003^{e}
	30	15	26.32 ±2.24^{bcdef}	6.17 ±0.05^{h}	48.66 ±0.44^{f}	0.109 ±0.003^{ef}
	40	10	21.80 ±2.57^{fgh}	6.19 ±0.05^{f}	46.33 ±1.12^{f}	0.096 ±0.007^{g}
	40	15	29.09 ±2.53^{abcd}	6.17 ±0.05^{h}	34.98 ±2.31^{g}	0.095 ±0.001^{g}
	50	10	26.75 ±2.43^{bcde}	6.27 ±0.05^{c}	26.31 ±1.17^{h}	0.080 ±0.002^{h}
	50	15	31.09 ±1.64^{ab}	6.12 ±0.00^{k}	24.85 ±1.11^{h}	0.072 ±0.003^{i}
1:10	30	10	20.18 ±2.05^{h}	6.24 ±0.05^{d}	124.06 ±5.70^{c}	0.052 ±0.002^{j}
	30	15	28.02 ±7.32^{abcd}	6.24 ±0.00^{d}	128.48 ±5.02^{b}	0.050 ±0.002^{jk}
	40	10	23.31 ±2.57^{efgh}	6.20 ±0.05^{f}	114.05 ±9.53^{a}	0.045 ±0.002^{kh}
	40	15	30.95 ±5.60^{ab}	6.23 ±0.05^{e}	95.74 ±3.72^{d}	0.043 ±0.002^{h}
	50	10	22.18 ±2.30^{efgh}	6.24 ±0.00^{d}	78.05 ±1.41^{e}	0.037 ±0.001^{i}
	50	15	28.08 ±3.03^{abcd}	6.24 ±0.05^{d}	74.35 ±3.41^{e}	0.035 ±0.004^{i}

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.8 ผลของปริมาณกะทิและน้ำตาลในส่วนผสมไอศกรีมข้าวก่ำที่ใช้น้ำข้าวก่ำที่เตรียมจากอัตราส่วนระหว่างข้าวก่ำต่อน้ำ 3 อัตราส่วน (1:2, 1:4 และ 1:10 โดยน้ำหนัก) เป็นส่วนผสมหลักที่มีต่อสมบัติการต้านออกซิเดชันของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำ

อัตราส่วน ข้าว : น้ำ (w/w)	ปริมาณ กะทิ (ร้อยละ)	ปริมาณ น้ำตาล (ร้อยละ)	DPPH (%inhibition)	Reducing power (gallic acid equil mg/mL)	Metal chelating (%inhibition)
1:2	30	10	54.69 ±0.37^{k}	0.087±0.008^{ab}	52.90 ±1.39^{ab}
	30	15	46.04 ±1.82^{m}	0.090±0.138^{a}	52.96 ±2.13^{ab}
	40	10	51.56 ±1.78^{l}	0.089 ±0.147^{a}	52.29 ±2.45^{ab}
	40	15	56.84 ±8.60^{j}	0.084 ±0.133^{abc}	54.55 ±4.39^{a}
	50	10	58.38 ±0.32^{i}	0.083±0.140^{abc}	54.80 ±2.07^{a}
	50	15	60.26 ±1.00^{h}	0.083 ±0.015^{abc}	53.20 ±2.32^{ab}
1:4	30	10	68.71 ±0.64^{g}	0.092 ±0.001^{a}	51.31 ±1.44^{b}
	30	15	70.99 ±1.04^{de}	0.092 ±0.001^{a}	54.34 ±0.33^{a}
	40	10	70.50 ±2.38^{ef}	0.094 ±0.003^{a}	47.67 ±2.97^{c}
	40	15	72.20 ±2.23^{d}	0.090 ±0.002^{a}	46.19 ±1.33^{c}
	50	10	68.04 ±1.00^{g}	0.092 ±0.002^{a}	47.22 ±2.77^{c}
	50	15	69.28 ±1.19^{fg}	0.092 ±0.008^{a}	46.86 ±1.51^{c}
1:10	30	10	80.21 ±0.17^{c}	0.072 ±0.008^{bcd}	41.78 ±2.01^{d}
	30	15	79.85 ±0.79^{c}	0.072 ±0.012^{bcd}	36.97 ±1.57
	40	10	82.29 ±1.15^{b}	0.063 ±0.030^{d}	39.92 ±1.64^{d}
	40	15	81.06 ±2.20^{bc}	0.069 ±0.008^{cd}	33.23 ±1.88^{e}
	50	10	80.48 ±1.38^{c}	0.065 ±0.100^{d}	27.11 ±3.07^{f}
	50	15	83.90 ±0.84^{a}	0.062 ±0.011^{d}	23.07 ±1.60^{g}

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.9 ผลสรุปของปริมาณส่วนประกอบ (โดยน้ำหนัก) ซึ่งเป็นส่วนผสมหลักของส่วนผสมไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำต่อคุณลักษณะด้านต่างๆ

คุณลักษณะทางกายภาพ, เคมี, กิจกรรมการต้านออกซิเดชัน	เพิ่มปริมาณอัตราส่วนข้าว:น้ำ	เพิ่มปริมาณกะทิ	เพิ่มปริมาณน้ำตาล
ความหนืด*	ลดลง	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น
โอเวอร์รัน	ลดลง	ลดลง	ลดลง
อัตราการละลาย	เพิ่มขึ้น	ลดลง	เพิ่มขึ้น
ค่าแรงกดสูงสุด	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	ลดลง
ค่าสี L*	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	คงที่
ค่าสี a*	ลดลง	ลดลง	คงที่
ค่าสี b*	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	คงที่
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ)	ลดลง	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น
ของแข็งที่ละลายได้ ($^{\circ}$Brix)	ลดลง	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น
Anthocyanin (cyanidin-3-glucoside mg/L)	เพิ่มขึ้น	ลดลง	คงที่
Phenolic (gallic acid equil mg/mL)	ลดลง	ลดลง	คงที่
ค่า pH	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	คงที่
DPPH (%Inhibition)	เพิ่มขึ้น	ลดลง	คงที่
Reducing power (gallic acid equil mg/mL)	ลดลง	ลดลง	คงที่
Metal chelating (%Inhibition)	ลดลง	คงที่	คงที่

หมายเหตุ *การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของส่วนผสมไอศกรีม

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของส่วนผสมไอศกรีมและไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำที่เตรียมได้แสดงในตารางที่ 4.5-4.6 ส่วนสมบัติทางเคมีของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำแสดงในตารางที่ 4.7 และตารางที่ 4.8 แสดงสมบัติการต้านออกซิเดชันของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำ

4.2.1 ผลของอัตราส่วนระหว่างข้าวต่อน้ำที่มีต่อสมบัติของส่วนผสมไอศกรีมและไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำ

จากตารางที่ 4.9 อัตราส่วนระหว่างข้าวต่อน้ำที่ใช้ในขั้นตอนการเตรียมน้ำข้าวก่ำส่งผลต่อสมบัติของส่วนผสมไอศกรีมและไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) การเพิ่มปริมาณน้ำในอัตราส่วนทำให้มีของแข็งที่ไม่รวมมันเนยอยู่ในส่วนผสมไอศกรีมน้อย ทำให้

ไอศกรีมจับตัวกันได้ไม่ดี ความหนืดของส่วนผสมไอศกรีมจึงลดลง ส่งผลให้การเก็บกักฟองอากาศในระหว่างการปั่นไอศกรีมลดลง การขึ้นฟูของไอศกรีมที่ประมาณจากค่าโอเวอร์รันจึงลดลง สอดคล้องกับอัตราการละลาย และค่าแรงกดสูงสุดของเนื้อสัมผัสไอศกรีมที่เพิ่มมากขึ้น อัตราการละลายที่เพิ่มมากขึ้นนี้เป็นผลเนื่องมาจากส่วนผสมที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ต่ำจะมีองค์ประกอบที่เป็นน้ำอยู่ในส่วนผสมเป็นจำนวนมาก จึงเกิดผลึกน้ำแข็งได้มากกว่า ซึ่งการนำความร้อนผ่านผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำอยู่ในสถานะที่เป็นของแข็งจะเกิดได้เร็วกว่า ประกอบกับมีอากาศอยู่ในโครงสร้างน้อยความเป็นฉนวนความร้อนจึงลดลงด้วยสอดคล้องกับการทดลองของ Schmidt และคณะ (1993) ที่พบว่าไอศกรีมเกล็ดน้ำแข็ง (ice milk) สูตรที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดต่ำ จะมีอัตราการละลายสูงกว่าสูตรที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดสูงกว่า อัตราส่วนที่มีปริมาณน้ำมากส่งผลให้ความสว่างของสีไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากโทนสีแดงมีแนวโน้มลดลงในขณะที่โทนสีเหลืองมีค่าเพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากส่วนผสมมีความเจือจางเพิ่มมากขึ้น

ปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นในอัตราส่วนทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดและของแข็งที่ละลายได้ในไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพของทั้งส่วนผสมไอศกรีมและไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำดังกล่าวข้างต้น ปริมาณแอนโธไซยานินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตามปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นในส่วนผสม สอดคล้องกับความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH (DPPH radical scavenging activity) ของผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตามปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิกมีแนวโน้มลดลงสอดคล้องกับ reducing power และ metal chelating activity ตามปริมาณของน้ำที่เพิ่มขึ้น

4.2.2 ผลของปริมาณกะทิต่อสมบัติของส่วนผสมไอศกรีมและไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำ

จากตารางที่ 4.9 กะทิมีผลต่อสมบัติของส่วนผสมไอศกรีมและไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อปริมาณของกะทิในส่วนผสมเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่าความหนืดของส่วนผสมไอศกรีมเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าโอเวอร์รัน และอัตราการละลายของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำมีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจากความข้นหนืดของส่วนผสมที่เพิ่มขึ้นอาจส่งผลต่อการแทรกตัวของฟองอากาศในระหว่างการตีปั่นไอศกรีมและชะลอการละลายของไอศกรีม อย่างไรก็ตามค่าแรงกดสูงสุดของเนื้อไอศกรีมมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นสอดคล้องกับค่า โอเวอร์รัน ที่ลดลง ในกะทิมีองค์ประกอบของไขมันอยู่ร้อยละ 32.2-40.0 (Seow & Gwee, 1997) นอกจากนี้ในน้ำกะทิยังมีโปรตีนละลายอยู่และทำหน้าที่เป็นตัวอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) โดยดูดซับอยู่บริเวณพื้นผิวระหว่างน้ำมันและน้ำ เป็นการช่วยลดแรงตึงผิว (interfacial tension) ทำให้อนุภาคขนาดเล็กกระจายตัวอยู่เป็นเฟสกระจาย (dispersed phase) ได้ และนอกจากนั้น

ในน้ำกะทิยังมีสารพวกฟอสฟอลิปิดซึ่งทำให้อิมัลชันมีความคงตัวเพิ่มขึ้นด้วย (Hagenmaier *et al.*,1972) อย่างไรก็ตามปริมาณกะทิส่งผลต่อความข้นหนืดของส่วนผสมไอศกรีมและการมีปริมาณไขมันที่มากเกินไปอาจส่งผลให้ค่าโอเวอร์รัน ของไอศกรีมลดลงได้ (Marshall & Arbuckle, 1996) ปริมาณของกะทิที่เติมลงในส่วนผสมทำให้ค่าความสว่างของสีและโทนสีเหลืองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณกะทิที่เติมสอดคล้องกับโทนสีแดงที่ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของน้ำกะทิที่มีสีขาวขุ่น

ปริมาณของแข็งในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำเพิ่มขึ้นตามปริมาณกะทิที่เติมในส่วนผสมไอศกรีม โดยเฉพาะปริมาณของแข็งทั้งหมด ส่งผลให้ค่า pH สูงขึ้นด้วย จึงทำให้ปริมาณสารสำคัญในผลิตภัณฑ์โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณแอนโธไซยานินลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า pH ที่มีค่าเป็นกรดจะสามารถสกัดสารแอนโธไซยานินได้ดีมากกว่าในสภาวะที่เป็นเบส กิจกรรมการต้านออกซิเดชันของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณกะทิที่เพิ่มขึ้นในส่วนผสม อย่างไรก็ตามปริมาณกะทิส่งผลต่อ reducing power น้อยมาก

4.2.3 ผลของปริมาณน้ำตาลต่อสมบัติของส่วนผสมและไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำ

จากตารางที่ 4.9 การเติมน้ำตาลลงในส่วนผสมไอศกรีมมีผลต่อสมบัติทางกายภาพของส่วนผสมและไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือปริมาณน้ำตาลทำให้ความหนืดของส่วนผสมและอัตราการละลายของไอศกรีมเพิ่มมากขึ้น แต่ค่า โอเวอร์รัน และค่าแรงกดสูงสุดของไอศกรีมลดลง Güven & Karaca (2002) รายงานผลของการเพิ่มปริมาณน้ำตาลในส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตรสวานิลลาจากร้อยละ 18 เป็นร้อยละ 22 ทำให้ค่าระยะทางที่เจาะได้ (penetrometer value) เพิ่มขึ้นจาก 4.28 เป็น 5.83 มิลลิเมตร แสดงว่าไอศกรีมโยเกิร์ตมีโครงสร้างที่นุ่มขึ้น เมื่อปริมาณน้ำตาลเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากน้ำตาลทรายขาวหรือน้ำตาลซูโครสที่ผ่านการฟอกสีเวลาละลายจะมีสีตามธรรมชาติที่อ่อนมาก ดังนั้นการเติมน้ำตาลลงในส่วนผสมไอศกรีมจึงส่งผลต่อค่าสีของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำน้อยมาก ($p > 0.05$)

การเพิ่มปริมาณน้ำตาลในส่วนผสมช่วยเพิ่มปริมาณของแข็งทั้งหมดและของแข็งที่ละลายได้อย่างมีนัยสำคัญ ส่งผลให้จุดเยือกแข็ง (freezing point) ของไอศกรีมลดต่ำลงจึงช่วยลดปริมาณน้ำแข็ง (frozen water) ที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ (Marshall & Arbukle, 1996) การศึกษาของ Muse & Hartel (2004) แสดงให้เห็นว่าหลังการแช่แข็งไอศกรีมที่เติมน้ำตาลทรายขาวจะมีผลึกน้ำแข็งมีขนาดเล็กกว่าการเติมคอร์นไซรัป ดังนั้นเนื้อสัมผัสของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำจึงมีแนวโน้มนิ่มลงเมื่อมีปริมาณน้ำตาลในส่วนผสมเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตาม

ปริมาณน้ำตาลมีผลต่อสารสำคัญในไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำน้อยมาก ($p>0.05$) ส่งผลให้กิจกรรมการต้านออกซิเดชันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเช่นเดียวกัน

เพื่อการคัดเลือกส่วนผสมพื้นฐานไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำที่มีความเหมาะสมที่แต่ละอัตราส่วนข้าวก่ำต่อน้ำ สำหรับการศึกษาลักษณะทางประสาทสัมผัสต่อไป จึงทำการพิจารณาจากสมบัติด้านต่างๆ ของไอศกรีมทั้งสมบัติด้านกายภาพ เคมี และกิจกรรมการต้านออกซิเดชัน โดยให้ความสำคัญกับ การมีค่าการขึ้นฟูสูง มีค่าแรงกดสูงสุดที่ต่ำ มีปริมาณสารสำคัญ และกิจกรรมการต้านออกซิเดชันที่สูง ผลการพิจารณาแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ส่วนผสมพื้นฐานไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำที่คัดเลือกสำหรับการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส

สูตรไอศกรีม	อัตราส่วนข้าว:น้ำ (โดยน้ำหนัก)	น้ำนมข้าว (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ปริมาณกะทิ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ปริมาณน้ำตาล (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
1	1:2	60	30	10
8	1:4	55	30	15
15	1:10	50	40	10

ผลการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมทั้ง 3 สูตร โดยใช้วิธี 9 point hedonic scale โดยผู้ทดสอบชิมจำนวน 20 คนจำนวน 2 ครั้ง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในการศึกษาปัจจัยร่วมของไอศกรีมดัดแปลงข้าว

สูตรไอศกรีม	สี	ลักษณะปรากฏ	ความแน่นแข็ง	ความเรียบเนียน	รสหวาน	กลิ่นรส	คุณลักษณะโดยรวม
1	5.71±1.81^{b}	6.12±1.60^{b}	5.45±1.38^{b}	5.81±1.37^{b}	5.26±0.96^{c}	5.50±1.25^{c}	5.48±1.19^{c}
8	6.95±0.97^{a}	7.29±0.78^{a}	6.90±1.03^{a}	6.98±1.02^{a}	7.10±0.96^{a}	7.29±0.71^{a}	7.36±0.76^{a}
15	6.74±1.53^{a}	7.12±1.09^{a}	6.45±1.27^{a}	6.83±1.15^{a}	5.79±1.33^{b}	6.38±1.10^{b}	6.62±0.96^{b}

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ
ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

การทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสพบว่าไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำ สูตรที่ 8 (ใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:4 กะทิ ร้อยละ 30 และน้ำตาล ร้อยละ 15) ได้รับคะแนนความชอบในทุกด้าน ได้แก่ ด้านสี ลักษณะปรากฏ ความแน่นแข็ง ความเรียบเนียน รสหวานและกลิ่นรสสูงสุด นอกจากนี้ยังมีคุณลักษณะโดยรวมสูงสุดเช่นเดียวกัน โดยได้รับคะแนนคุณลักษณะโดยรวมเท่ากับ 7.36 คะแนน ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกใช้สูตรไอศกรีมนี้ ในการศึกษาตอนต่อไปเพื่อศึกษาถึงผลของชนิดและปริมาณของสารเพิ่มความคงตัวที่มีต่อคุณสมบัติของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำ

4.3 ผลของชนิดและปริมาณสารเพิ่มความคงตัวต่อสมบัติของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำ

การศึกษาในตอนนี้ ทำการเตรียมไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำตามสูตรพื้นฐานที่ได้จากการทดลองตอนที่ 4.2 ซึ่งประกอบด้วย น้ำข้าวก่ำ (เตรียมจากอัตราส่วนข้าวก่ำต่อน้ำเท่ากับ 1:4 โดยน้ำหนัก) กะทิ และน้ำตาล เท่ากับร้อยละ 55, 30 และ 15 (โดยน้ำหนัก) ตามลำดับ ที่ไม่มีและมีการเติมสารเพิ่มความคงตัว (เจลาติน, คาราจีแนน, แซนแทนกัม และแป้งมันสำปะหลัง โดยผันแปรปริมาณสารเพิ่มความคงตัวแต่ละชนิด ที่ระดับร้อยละ 0.1, 0.2 และ0.3 โดยน้ำหนัก) จากนั้นทำการวิเคราะห์สมบัติของส่วนผสม และไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำ เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลของชนิดและปริมาณของสารเพิ่มความคงตัวต่อสมบัติดังกล่าว

ชนิดและปริมาณของสารเพิ่มความคงตัวมีผลต่อความหนืดของส่วนผสมไอศกรีมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) การเติมเจลาตินและคาราจีแนน ทำให้ส่วนผสมไอศกรีมมีความหนืดมากกว่าการเติม แซนแทนกัมและแป้งมันสำปะหลัง ($p \geq 0.05$) รวมทั้งตัวอย่างควบคุม อย่างไรก็ตามตัวอย่างควบคุมมีความหนืดของส่วนผสมมากกว่าส่วนผสมที่เติมแซนแทนกัม

และแป้งมันสำปะหลังในทุกระดับความเข้มข้น แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนระหว่างองค์ประกอบของส่วนผสมไอศกรีมที่ทำการศึกษา สารให้ความคงตัวที่เป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ประเภทพอลิแซกคาร์ไรด์ เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการพองตัวป้องกันการแยกเฟสระหว่างน้ำและไขมันช่วยให้เกิดอิมัลชันได้ดีและเพิ่มความหนืดให้ส่วนผสมไอศกรีม (Soukoulis *et al.*, 2008) กรณีของเจลลาตินนั้น เป็นส่วนผสมของพอลิเปปไทด์ที่มีมวลโมเลกุลสูง (high-molecular-weight polypeptide) ที่ได้จากคอลลาเจนจากจากกระดูกสัตว์ และนิยมใช้เป็นสารก่อเจล (gelling agent) และสารเพิ่มความข้นหนืด (thickening agent) ในปัจจุบันนิยมใช้ทดแทนการใช้สารเพิ่มความคงตัวสังเคราะห์ (Clarke, 2004) เนื่องจากเป็นสารประกอบโปรตีนจึงให้กรดอะมิโนที่มีคุณค่าทางอาหาร (Arbuckle, 1986) เมื่อเจลาตินละลายน้ำ จะแสดงสมบัติความหนืดเป็นสัดส่วนกับ pH ความแรงของไอออนและความหนืดจำเพาะของตัวเจลาตินเองโดยมีความหนืดต่ำสุด ณ จุด ไอโซอิเลคตริค (isoelectric point) และความหนืดเพิ่มขึ้นขณะที่ประจุรวมของโมเลกุลทั้งหมดเพิ่มขึ้น (Harris, 1993) เจลลาตินสามารถเกิดเจลในไอศกรีมมิกซ์ในระหว่างการบ่ม การแช่แข็งรวมทั้งการเก็บแช่แข็งในช่วง hardening จึงช่วยป้องกันการเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ในไอศกรีม มีแนวโน้มทำให้ได้การขึ้นฟูสูง ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสเรียบเนียน (Arbuckle, 1986) ส่วนคาราจีแนนมีคุณสมบัติที่ละลายน้ำและเกิดเจลได้ที่อุณหภูมิสูง โดยเจลที่ได้สามารถคงอยู่ได้ที่อุณหภูมิห้อง โดยส่วนมากจะใช้คาราจีแนนเป็นสารเพิ่มความหนืด สารให้ความคงตัวและสารที่ก่อให้เจลในอาหาร (Imeson, 1997) แซนแทนกัมมีคุณสมบัติเป็นซูโดพลาสติก (pseudoplastic) คือ เมื่อมีการเพิ่มแรงในการกวนสารละลายที่มีแซนแทนกัมอยู่ด้วย จะทำให้ความหนืดของสารละลายนั้นยิ่งลดลง (นิธิยา, 2545) การที่ความหนืดของส่วนผสมของไอศกรีมที่เติมแซนแทนกัมมีค่าลดลงอาจเป็นผลการจากขั้นตอนการโฮโมจิไนเซอร์ในการเตรียมส่วนผสมของไอศกรีมที่มีการเพิ่มความเค้น (stress) ให้แก่ส่วนผสมที่อาจส่งผลต่อพฤติกรรมการไหลของส่วนผสมได้ ในกรณีของการเติมแป้งมันสำปะหลังลงในส่วนผสมของไอศกรีมนั้น ในขั้นตอนการให้ความร้อนแก่ส่วนผสม พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลายและโมเลกุลของน้ำจะเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ เม็ดแป้งจะเกิดการพองตัว ทำให้ละลายและมีความหนืดเพิ่มขึ้น (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546; Whistler & BeMiller, 1999) อย่างไรก็ตามส่วนผสมของไอศกรีมที่เติมแป้งมันสำปะหลังเมื่อผ่านการบ่มจะเกิด syneresis (การแยกตัวของของเหลวหลังจากการละลาย) (Eliasson & Gudmundsson, 1996) ทำให้เมื่อผ่านการบ่มแล้วทำให้ความหนืดของส่วนผสมของไอศกรีมมีค่าที่ต่ำ

สารให้ความคงตัวที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโดยทั่วไปนิยมเติมในระดับความเข้มข้นที่ต่ำในช่วงร้อยละ 0.2-0.3 (Marshall & Arbuckle, 1996) และในการใช้สารให้ความคงตัวต้อง

ใช้ที่ระดับความเข้มข้นเหมาะสม การเติมสารให้ความคงตัวแบ่งได้เป็น 3 ระบบ คือ ระบบที่เติมสารให้ความคงตัวไม่เพียงพอ สารให้ความคงตัวไม่สามารถล้อมรอบผิวหน้าของโมเลกุลโปรตีนได้รอบทำให้สารให้ความคงตัวบางส่วนทำหน้าที่เป็นเหมือนสะพานเชื่อมโมเลกุลโปรตีน 2 โมเลกุลเข้าด้วยกัน เรียกสภาพเช่นนี้ว่า "bridging flocculation" มีผลให้เกิดการตกตะกอนของโปรตีนในระหว่างการเก็บรักษาได้ง่าย ในระบบที่มีการใช้สารให้ความคงตัวอย่างเหมาะสม โมเลกุลสารให้ความคงตัวสามารถโอบล้อมโมเลกุลโปรตีนได้ทั้งหมด ทำให้ระบบอยู่ในสภาพสมดุลที่เรียกว่า "steric stabilization" และในระบบที่มีการเติมสารให้ความคงตัวมากเกินพอจนทำให้สารให้ความคงตัวเกิดสภาพเหมือนโครงตาข่ายโอบล้อมส่วนโมเลกุลโปรตีนไว้ทั้งหมด (Dickinson, 1998)

การศึกษาครั้งนี้พบว่าชนิดและปริมาณของสารเพิ่มความคงตัวมีอิทธิพลต่อค่าโอเวอร์รัน ของไอศกรีม โดยภาพรวมค่าโอเวอร์รัน ของไอศกรีมจะสอดคล้องกับความหนืดของส่วนผสมไอศกรีม โดยเมื่อความหนืดเพิ่มมากขึ้นค่าโอเวอร์รัน ของไอศกรีมก็มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นด้วย โดยค่าโอเวอร์รันและความหนืดที่ได้จาการทดลองมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 13.67-35.34 และ 20.05-76.30 เซนติพอทซ์ โดยการศึกษาในครั้งนี้การเติมเจลาตินที่ระดับความเข้มข้นที่ร้อยละ 0.3 ให้ความหนืดของส่วนผสมและค่าโอเวอร์รัน ที่สูงที่สุด นอกจากนี้แล้วชนิดและปริมาณของสารเพิ่มความคงตัวยังมีผลต่ออัตราการละลายของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำเช่นกันจากผลการทดลองพบว่าการเพิ่มปริมาณสารให้ความคงตัวในส่วนผสมช่วยทำให้อัตราการละลายของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ซึ่งการลดลงของอัตราการละลายนี้ยังสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของค่าความหนืดของส่วนผสมไอศกรีมอีกด้วย

ชนิดและปริมาณสารเพิ่มความคงตัวมีผลต่อความแข็งของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำเช่นเดียวกับสมบัติด้านกายภาพอื่น ส่วนผสมที่มีการเติมคาราจีแนน ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 โดยน้ำหนัก จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่มีเนื้อสัมผัสแข็งที่สุด ผลการศึกษาพบว่าเมื่อระดับของสารเพิ่มความคงเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าแรงกดสูงสุดของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น และค่าแรงกดสูงสุดมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับค่าโอเวอร์รัน ของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำสอดคล้องกับงานวิจัยของ Muse & Hartel (2004) ซึ่งศึกษาผลของลักษณะโครงสร้างที่มีผลต่อค่าแรงกดสูงสุดของไอศกรีมและรายงานความสัมพันธ์ระหว่างค่าโอเวอร์รันกับค่าแรงกดสูงสุดของไอศกรีม โดยไอศกรีมที่มีค่าโอเวอร์รันสูงจะมีโครงสร้างที่นุ่มหรือความแข็งของไอศกรีมลดลง ไอศกรีมที่ค่าโอเวอร์รันมากจะมีปริมาตรของอากาศในโครงสร้างจำนวนมาก ทำให้ความต้านทานต่อแรงกระทำลดลง Sofjana & Hartel (2004) ศึกษาผลของค่าโอเวอร์รันที่มีต่อลักษณะทางภาพของไอศกรีมและพบว่าไอศกรีมที่มีค่าโอเวอร์รันต่ำจะมีความแข็งและละลายเร็วกว่าไอศกรีมที่มีการขึ้นฟูสูงสอดคล้องกับงานวิจัยของ Marshall และคณะ (2003) ที่รายงานว่า ค่าโอเวอร์รันของ

ไอศกรีมความสัมพันธ์กับแรงกดสูงสุดของเนื้อสัมผัสและอัตราการละลายของไอศกรีม โดยไอศกรีมที่มีค่าโอเวอร์รันน้อยจะมีเนื้อสัมผัสที่แน่นแข็งมากและมีอัตราการละลายที่สูงเช่นกัน เช่นเดียวกับผลการทดลองในการศึกษาครั้งนี้ เมื่อมีการเติมแป้งมันสำปะหลังที่ระดับร้อยละ 0.2 ทำให้ได้ไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำที่มีค่าโอเวอร์รันต่ำที่สุด ซึ่งไอศกรีมดังกล่าวจะมีค่าแรงกดสูงสุดสูงมากและยังมีอัตราการละลายที่สูงมากเช่นกัน ชนิดและปริมาณสารเพิ่มความคงตัวส่งผลต่อสีของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำน้อยมาก ทั้งนี้อาจเนื่องจากสีที่อ่อนของสารเพิ่มความคงตัว เมื่อเทียบกับสีของน้ำข้าวก่ำ อย่างไรก็ตามความแตกต่างของโครงสร้างเนื่องจากปริมาณฟองอากาศที่แทรกตัวอยู่ในผลิตภัณฑ์ (ค่าโอเวอร์รัน) อาจส่งผลต่อการสะท้อนแสงของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำได้ ทำให้ค่าสีโดยเฉพาะโทนสีแดง (a*) มีความแตกต่างกันได้ (ตารางที่ 4.13) ซึ่งผลการทดลองทางกายภาพของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำทั้งหมดที่ได้สอดคล้องกับ (Boonterm *et al.*, 2012) ได้ศึกษาผลของชนิดข้าวต่อคุณสมบัติต่างๆ ของไอศกรีมข้าวก่ำงอก โดยให้ค่าทางกายภาพที่ดีที่สุด คือ โอเวอร์รัน, ความหนืด, ค่าแรงกดสูงสุด และอัตราการละลาย เท่ากับ 17.56, 66.36, 3.08 และ 0.21 ตามลำดับ

เนื่องจากตัวอย่างควบคุมที่นำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองในตอนที่ 4.3 นำผลการทดลองของตัวอย่างควบคุมมาจากตอนที่ 4.2 จึงอาจมีผลการทดลองที่แตกต่างกันเนื่องมาจากการใช้วัตถุดิบในการผลิตไอศกรีมที่แตกต่างกันในการทดลอง เช่น ระยะเวลาของการเก็บรักษาข้าวก่ำที่เพิ่มมากขึ้น เป็นต้น จึงส่งผลทำให้ข้อมูลที่ได้อาจเปรียบเทียบกันไม่ได้

ตารางที่ 4.12 ผลของชนิดและปริมาณสารเพิ่มความคงตัว ที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำ

สารให้ความคงตัว	ปริมาณ (w/w)	ความหนืด* (centipoint)	โอเวอร์รัน (ร้อยละ)	อัตราการละลาย (กรัม/นาที)	ค่าแรงกดสูงสุด (กิโลกรัม)
สูตรควบคุม	0	65.82 ± 4.11^{b}	25.68 ± 0.40^{f}	0.10 ± 0.01^{f}	2.468 ± 0.287^{g}
เจลาติน	0.1	38.47 ± 6.10^{cd}	26.99 ± 0.78^{f}	0.39 ± 0.01^{ab}	3.378 ± 0.332^{de}
	0.2	38.47 ± 6.10^{c}	28.16 ± 0.98^{e}	0.39 ± 0.04^{ab}	3.353 ± 0.440^{de}
	0.3	76.30 ± 37.81^{a}	35.34 ± 0.10^{a}	0.32 ± 0.02^{d}	2.652 ± 0.253^{fg}
คาราจีแนน	0.1	40.78 ± 14.11^{cd}	20.35 ± 1.03^{h}	0.43 ± 0.05^{a}	3.209 ± 0.171^{e}
	0.2	53.08 ± 17.70^{c}	17.18 ± 0.84^{j}	0.38 ± 0.05^{abc}	4.613 ± 0.170^{b}
	0.3	77.00 ± 29.77^{a}	22.05 ± 1.07^{g}	0.26 ± 0.04^{e}	4.431 ± 0.295^{a}
แซนแทนกัม	0.1	28.67 ± 7.24^{d}	30.08 ± 0.71^{d}	0.40 ± 0.07^{ab}	2.659 ± 0.152^{fg}
	0.2	24.23 ± 1.57^{d}	32.84 ± 1.29^{c}	0.33 ± 0.03^{cd}	2.401 ± 0.326^{g}
	0.3	29.82 ± 3.50^{d}	34.22 ± 0.90^{b}	0.37 ± 0.04^{bcd}	2.815 ± 0.123^{f}
แป้งมัน	0.1	20.05 ± 0.63^{d}	22.89 ± 1.01^{g}	0.36 ± 0.09^{bcd}	3.593 ± 0.096^{cd}
	0.2	22.98 ± 1.23^{d}	13.67 ± 0.29^{k}	0.32 ± 0.08^{d}	4.593 ± 0.336^{a}
	0.3	28.32 ± 3.57^{d}	19.03 ± 0.66^{i}	0.26 ± 0.06^{e}	3.807 ± 0.103^{c}

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

*สมบัติทางกายภาพของส่วนผสมไอศกรีม

ตารางที่ 4.13 ผลของชนิดและปริมาณสารเพิ่มความคงตัว ที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำ

สารให้ความคงตัว	ปริมาณ(w/w)	L^{*ns}	a*	b^{*ns}
สูตรควบคุม	0	45.62 ±0.73	11.54 ±0.23^{d}	4.35 ±0.33
เจลาติน	0.1	41.40±1.13	12.30±0.40^{cd}	2.30±0.92
	0.2	41.26±0.58	12.40±0.56^{bcd}	2.19±0.82
	0.3	41.09±2.49	11.76±1.02^{d}	2.14±0.55
คาราจีแนน	0.1	41.11±2.85	12.04±0.55^{cd}	1.88±0.26
	0.2	41.67±1.57	12.45±0.80^{bcd}	1.92±0.77
	0.3	42.89±1.03	13.68±0.99^{a}	2.00±0.64
แซนแทนกัม	0.1	42.28±0.83	13.75±0.57^{a}	2.19±0.48
	0.2	42.85±1.07	13.52±0.57^{a}	2.06±0.67
	0.3	42.90±0.79	13.71±0.34^{a}	2.12±0.59
แป้งมันสำปะหลัง	0.1	48.26±0.23	12.73±0.52^{bc}	1.88±0.34
	0.2	41.16±0.48	13.16±0.32^{ab}	2.20±0.69
	0.3	41.55±0.80	13.17±0.39^{ab}	2.44±0.21

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ
ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำ แสดงในตารางที่ 4.14 การเติมแป้งมันสำปะหลังในส่วนผสมทำให้ไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำมีปริมาณของแข็งและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับการเติมสารเพิ่มความคงตัวชนิดอื่นการเพิ่มปริมาณสารเพิ่มความคงตัวมีแนวโน้มทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเติมสารเพิ่มความคงตัวในระดับร้อยละ 0.3 อย่างไรก็ตามปริมาณการเติมสารเพิ่มความคงตัวมีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้น้อยมาก ($p > 0.05$) ปริมาณของแข็งทั้งหมดในไอศกรีมช่วยเพิ่มคุณค่าทางอาหาร ให้ความหนืด ปรับปรุงรูปร่างและเนื้อสัมผัสของไอศกรีม เมื่อปริมาณของแข็งเพิ่มมากขึ้น ปริมาณน้ำที่จะแข็งตัวเป็นน้ำแข็งจะลดลง ทำให้ไอศกรีมนุ่มขึ้น (Mashall & Arbuckle, 1996) ในขณะที่ Donhowe และคณะ (1991) รายงานว่าเมื่อปริมาณของแข็งทั้งหมดในส่วนผสมไอศกรีมลดลงจะทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาด

ใหญ่ขึ้นทำให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสที่หยาบและแข็งขึ้น อย่างไรก็ตามการศึกษาในครั้งนี้พบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดสอดคล้องกับความข้นหนืดของส่วนผสมไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำ แต่ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่มากมีแนวโน้มที่จะทำให้เนื้อสัมผัสของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำแน่นแข็งมากขึ้น ชนิดของสารเพิ่มความคงตัวที่ศึกษามีผลต่อค่า pH และปริมาณสารสำคัญในไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามปริมาณการเติมสารเพิ่มความคงตัวไม่มีผลต่อค่าpH และมีผลเพียงเล็กน้อยต่อปริมาณสารสำคัญในไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำ โดยสารสำคัญมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณการเติมสารเพิ่มความคงตัวเพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 4.14 ผลของชนิดและปริมาณสารเพิ่มความคงตัว ที่มีต่อสมบัติทางเคมีของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำ

สารให้ความคงตัว	ปริมาณ (w/w)	ของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ)	ของแข็งที่ละลายได้ (^{o}Brix)	ค่า pH	ปริมาณแอนโธไซยานิน (Cyanidin-3-glucoside mg/L)	ปริมาณฟีนอลิก (gallic acid equil mg/mL)
สูตรควบคุม	0	26.32 ±2.24^{cd}	21.9 ±0.1^{a}	6.17 ±0.05^{a}	48.66 ±0.44^{c}	0.109±0.003^{e}
เจลาติน	0.1	26.32±0.60^{cd}	21.7±0.2^{a}	5.98±0.04^{de}	42.28±0.99^{e}	0.144±0.003^{a}
	0.2	26.77±0.09^{bcd}	21.7±0.2^{a}	5.97±0.04^{e}	55.68±2.36^{a}	0.146±0.002^{a}
	0.3	26.78±0.73^{bcd}	21.6±0.2^{a}	5.96±0.04^{e}	51.13±0.88^{b}	0.146±0.002^{a}
คาราจีแนน	0.1	26.93±0.21^{bc}	21.3±0.3^{b}	5.96±0.04^{e}	54.62±2.81^{a}	0.143±0.010^{a}
	0.2	26.13±0.52^{d}	21.9±0.2^{a}	5.98±0.02^{cd}	43.89±1.91^{de}	0.123±0.003^{d}
	0.3	26.60±0.49^{cd}	21.9±0.2^{a}	5.97±0.02^{e}	51.69±1.10^{b}	0.125±0.002^{b}
แซนแทนกัม	0.1	26.31±0.22^{cd}	21.8±0.3^{a}	5.97±0.03^{e}	41.90±0.77^{e}	0.131±0.003^{b}
	0.2	26.88±0.21^{bcd}	21.7±0.2^{a}	5.97±0.02^{e}	45.99±0.90^{cd}	0.129±0.003^{b}
	0.3	27.45±0.24^{b}	21.7±0.2^{a}	6.02±0.01^{b}	46.62±3.06^{c}	0.127±0.003^{b}
แป้งมัน	0.1	26.41±0.36^{cd}	21.9±0.1^{a}	6.01±0.01^{bc}	45.81±1.10^{cd}	0.129±0.003^{b}
	0.2	27.42±1.55^{b}	21.9±0.2^{a}	5.98±0.03^{cd}	47.15±0.97^{c}	0.127±0.004^{bc}
	0.3	29.78±0.16^{a}	21.8±0.1^{a}	6.01±0.02^{bc}	46.69±2.72^{c}	0.125±0.005^{c}

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.15 ผลของชนิดและปริมาณสารเพิ่มความคงตัว ที่มีต่อสมบัติการต้านออกซิเดชันของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำ

สารให้ความคงตัว	ปริมาณ (w/w)	DPPH (%Inhibition)	Reducing Power (gallic acid equil mg / mL)	Metal Chelating (%Inhibition)
สูตรควบคุม	0	70.99 ±1.04^{a}	0.092 ±0.001^{b}	54.34 ±0.33^{b}
เจลาติน	0.1	48.56±0.54^{e}	0.105±0.003^{a}	37.55±4.84^{fg}
	0.2	51.03±1.31^{de}	0.105±0.002^{a}	56.13±3.83^{ab}
	0.3	51.52±0.85^{de}	0.105±0.002^{a}	56.24±8.40^{ab}
คาราจีแนน	0.1	33.29±2.80^{g}	0.070±0.001^{d}	40.15±7.57^{ef}
	0.2	36.72±2.15^{f}	0.074±0.002^{c}	50.35±4.65^{bc}
	0.3	34.47±3.24^{fg}	0.093±0.008^{b}	49.30±4.75^{cd}
แซนแทนกัม	0.1	54.02±3.27^{cd}	0.101±0.001^{a}	33.18±4.62^{g}
	0.2	57.94±2.50^{b}	0.105±0.006^{a}	42.36±7.96^{ef}
	0.3	58.41±4.62^{b}	0.103±0.002^{a}	43.52±3.70^{def}
แป้งมันสำปะหลัง	0.1	56.35±2.61^{bc}	0.105±0.002^{a}	41.93±2.12^{ef}
	0.2	56.07±2.48^{bc}	0.104±0.003^{a}	44.98±4.12^{cde}
	0.3	59.11±1.07^{b}	0.104±0.001^{a}	57.94±2.54^{a}

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ
ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผลของชนิดและปริมาณสารเพิ่มความคงตัว ที่มีต่อสมบัติการต้านออกซิเดชันของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำแสดงในตารางที่ 4.15 ทั้งชนิดและปริมาณของสารเพิ่มความคงตัวที่เติมมีผลต่อสมบัติการต้านออกซิเดชันของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยภาพรวมสมบัติการต้านออกซิเดชันสัมพันธ์กับปริมาณสารสำคัญในไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำ โดยเฉพาะ reducing power และ metal chelating ability การเพิ่มปริมาณสารเพิ่มความคงตัวส่งผลให้คุณสมบัติต้านออกซิเดชันของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับปริมาณสารสำคัญที่มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกัน ค่า pH ของไอศกรีมเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่อาจส่งผล

ต่อปริมาณของแอนโธไซยานิน รายงานการวิจัยของ Abdel-Aal & Hucl (1999) แสดงให้เห็นว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวทำละลายส่งผลต่อปริมาณแอนโธไซยานินที่สกัดได้จากข้าวสาลีพันธุ์สีน้ำเงินและพันธุ์สีม่วง โดยพบว่าเมื่อความเป็นกรด-ด่างของตัวทำละลายในการสกัดเพิ่มขึ้นจาก 1.0 ถึง 4.5 ปริมาณแอนโธไซยานินที่สกัดได้จะลดลงถึงร้อยละ 94 อย่างไรก็ตามผลจากการศึกษาในครั้งนี้ ชนิดและปริมาณสารเพิ่มความคงตัวที่ใช้ส่งผลต่อค่า pH ของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำน้อยมาก

พิจารณาจากสมบัติทางกายภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่า โอเวอร์รัน และลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่า พบว่าไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำที่มีการใช้เจลาตินและแซนแทนกัม เป็นสารเพิ่มความคงตัวในทุกระดับความเข้มข้นของการเติมมีสมบัติทางกายภาพที่ดีกว่าไอศกรีมที่มีการใช้คาราจีแนนและแป้งมันสำปะหลังเป็นสารเพิ่มความคงตัว นอกจากนี้แล้วไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำที่ใช้เจลาตินและแซนแทนกัมเป็นสารเพิ่มความคงตัว โดยรวมแล้วมีสมบัติการต้านออกซิเดชันที่สูงด้วย ดังนั้นจึงทำการทดสอบคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำที่มีการเติมสารเพิ่มความคงตัวทั้งสองชนิด โดยแต่ละชนิดผันแปรระดับความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0.1, 0.2 และ 0.3 โดยใช้ผู้ทดสอบชิมทั้งหมด 20 คน ทำการทดสอบ 2 ครั้งผลการทดสอบพบว่าไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำที่มีการเติมเจลลาตินที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.1, 0.3 และแซนแทนกัมที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ได้รับผลรวมของคะแนนการจัดลำดับความชอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังแสดงใน ตารางที่ 4.16 ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากสมบัติโดยรวมแล้ว จะเห็นได้ว่าการเติมเจลลาตินที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.3 มีความเหมาะสมกับไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำมากที่สุด เนื่องจากไอศกรีมที่ได้มีสมบัติทางกายภาพที่ดี ได้แก่ มีการขึ้นฟูมาก มีความแน่นของเนื้อสัมผัสที่เหมาะสม มีปริมาณสารสำคัญในปริมาณมาก มีสมบัติต้านออกซิเดชันสูงและมีลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ดีอีกด้วย

ตารางที่ 4.16 ผลของชนิดและปริมาณสารเพิ่มความคงตัวต่อสมบัติด้านประสาทสัมผัสของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำ

สิ่งทดลอง	ผลของการจัดลำดับความชอบ
เจลาติน 0.1%	130 ± 6.2 ^{a}
เจลาติน 0.2%	120 ± 7.8 ^{ab}
เจลาติน 0.3%	149 ± 7.5 ^{a}
แซนแทนกัม 0.1%	139 ± 5.4 ^{a}
แซนแทนกัม 0.2%	123 ± 5.8 ^{ab}
แซนแทนกัม 0.3%	95 ± 4.7 ^{b}

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ
ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.4 ผลของปริมาณการเติมน้ำมันรำข้าวก่ำ ที่มีต่อสมบัติของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำ

การศึกษาในตอนนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเติมน้ำมันรำข้าวในส่วนผสมที่มีต่อสมบัติของส่วนผสมไอศกรีมและไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำ โดยทำการผันแปรน้ำมันรำข้าวก่ำในปริมาณร้อยละ 0 (ชุดควบคุม) 10, 20 และ30 (น้ำหนักของน้ำมันรำข้าว/น้ำหนักของส่วนผสมไอศกรีม) โดยทำการเติมเพื่อทดแทนปริมาณของไขมันที่ได้จากกะทิ ในส่วนผสมไอศกรีมพื้นฐานที่ได้จากการศึกษาในตอนก่อนหน้านี้ คือ ประกอบด้วยน้ำข้าวก่ำ (ร้อยละ 55) กะทิ (ร้อยละ 30) น้ำตาล (ร้อยละ 15) และเจลาติน (ร้อยละ0.3) ผลการศึกษาแสดงในตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ผลของปริมาณน้ำมันรำข้าวก่ำต่อสมบัติทางกายภาพของส่วนผสมไอศกรีมและไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำ

น้ำมันรำข้าวก่ำ (w/w)	สมบัติทางกายภาพ			
	ความหนืด (centipoint)	โอเวอร์รัน (ร้อยละ)	อัตราการละลาย (กรัมต่อนาที)	ค่าแรงกดสูงสุด (กิโลกรัม)
0	62.78±1.79^{a}	26.57±0.72^{b}	0.36 ± 0.06^{c}	2.725±0.227^{b}
10	57.64±1.49^{b}	29.29±0.64^{a}	0.36 ± 0.06^{c}	2.494±0.299^{b}
20	46.73±0.50^{c}	25.38±0.81^{c}	0.37 ± 0.08^{b}	0.264±0.292^{b}
30	45.26±2.12^{c}	23.87±0.98^{d}	0.40 ± 0.04^{a}	3.599±0.390^{a}

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ
ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.18 ผลของปริมาณน้ำมันรำข้าวก่ำต่อสมบัติของค่าสีของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำ

น้ำมันรำข้าวก่ำ (%w/w)	L*	a*	b*
0	34.97±0.58^{a}	8.57±0.22^{b}	-0.46±0.55^{a}
10	33.35±0.72^{b}	8.32±0.62^{b}	-1.18±0.47^{b}
20	32.67±0.94^{c}	8.93±0.56^{b}	-1.28±0.68^{b}
30	31.52±0.81^{d}	9.21 ±0.88^{a}	-1.33±0.25^{b}

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ
ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ความหนืดของส่วนผสมของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำอยู่ในช่วง 45.26-62.78 centipoint โดยค่าความหนืดมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันรำข้าวก่ำ ซึ่งแปรผันตามปริมาณน้ำข้าวก่ำที่ลดลงตามสิ่งทดลอง โดยค่าความหนืดที่ต่างกันเป็นผลมาจากจุดหลอมเหลวและองค์ประกอบของกรดไขมัน ซึ่งน้ำมันรำข้าวก่ำที่เติมเป็นน้ำมันพืชที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวในสัดส่วนที่สูงจึงทำให้ค่าความหนืดที่ได้ต่ำ (Adhikari & Arora, 1994) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาผลของการใช้น้ำมันเมล็ดองุ่นแทนไขมันนมต่อคุณภาพทางเคมีกายภาพและคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของไอศกรีม พบว่า น้ำมันเมล็ดองุ่นส่งผลให้ความหนืดของไอศกรีมเหลวลดลง เนื่องจากน้ำมันเมล็ดองุ่นมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส (Nadeem *et al.*, 2010) ผลของปริมาณน้ำมันรำข้าวก่ำต่อค่าโอเวอร์รันของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำค่อนข้าง

ซับซ้อน การเติมน้ำมันรำข้าวก่ำในปริมาณร้อยละ 10 ทำให้ไอศกรีมมีค่าโอเวอร์รันร้อยละ 29.29 ซึ่งเป็นค่าที่มากที่สุด การเติมน้ำมันรำข้าวก่ำในปริมาณมากกว่านี้ส่งผลให้ค่าโอเวอร์รันของไอศกรีมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อค่าโอเวอร์รันของไอศกรีมคือความข้นหนืดของส่วนผสม Kailasapathy & Songvanich (1998) รายงานว่าส่วนผสมที่มีความหนืดสูงมีความสัมพันธ์กับการกักเก็บอากาศไว้ในโครงสร้างไอศกรีม ทำให้ความสามารถเกิดหรือการขยายโฟม (foam expansion) และความคงตัวของโฟม (foam stability) มีค่าสูงสุด ส่งผลให้ไอศกรีมมีการค่าโอเวอร์รันสูงตามไปด้วย อย่างไรก็ตามความข้นหนืดของส่วนผสมไอศกรีมต้องอยู่ในช่วงที่เหมาะสมเพื่อให้ได้การขึ้นฟูที่ดีหากความข้นหนืดมากหรือน้อยเกินไปจะทำให้การตีอากาศเข้าเนื้อไอศกรีมเกิดได้ไม่ดีเท่าที่ควร ซึ่งจากผลการทดลองในครั้งนี้จะเห็นได้ว่าในไอศกรีมที่มีการเติมน้ำมันรำข้าวก่ำในปริมาณร้อยละ 30 ให้ค่าโอเวอร์รันต่ำที่สุด สาเหตุอาจเนื่องมาจากความข้นหนืดของส่วนผสมที่มีค่าน้อยไม่มีความเหมาะสมในการเกิดโครงสร้างของโฟมที่เสถียรพอก็เป็นได้ อัตราการละลายของไอศกรีมดัดแปลงมีความแตกต่างกันตามปริมาณน้ำมันรำข้าวก่ำที่เติม อัตราการละลายขึ้นกับสมบัติด้านต่างๆ ของทั้งส่วนผสมและผลิตภัณฑ์ไอศกรีม ผลการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าความหนืดและค่าโอเวอร์รัน ส่งผลต่ออัตราการละลายของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำ ผลการศึกษาของ สุพัฒน์ (2546) พบว่า ถ้าค่าความหนืดของไอศกรีมเพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการละลายช้าลง ปริมาณไขมันในส่วนผสมมีผลต่อความข้นหนืด ดังนั้นส่วนผสมไอศกรีมที่มีปริมาณไขมันมากจะมีความข้นหนืดมากกว่าจึงละลายได้ช้ากว่า (Arbuckle, 1986) ผลการทดลองในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า ปริมาณของน้ำมันรำข้าวที่เติมในไอศกรีม มีผลในการเพิ่มอัตราการละลายเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณของแข็งทั้งหมดในส่วนผสมมีต่ำกว่าในตัวอย่างควบคุม สอดคล้องกับผลการทดลองของ Schmidtm และคณะ (1993) เกี่ยวกับผลของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่มีต่ออัตราการละลายของไอศกรีมนมเกล็ดหิมะดังกล่าวมาแล้วข้างต้น อย่างไรก็ตามผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันรำข้าวก่ำในส่วนผสม อัตราการละลายของไอศกรีมมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้อาจเนื่องจากปริมาณโครงร่างตาข่ายของน้ำมันรำข้าวก่ำ (fat network) ที่เกิดจากกระบวนการเสียความคงตัว (destabilized) ของเม็ดไขมันทำให้เกิดการจับกับเป็นกลุ่มก้อนบางส่วน (partially-coalesced) ในส่วนผสมไอศกรีมเกิดมากขึ้นส่งผลให้ความสามารถในการคงรูปของโครงสร้างไอศกรีมมีเพิ่มมากขึ้น (Koxholt *et al.*, 2001; Marshall *et al.*, 2003; Muse & Hartel 2004) นอกจากนี้โครงร่างตาข่ายของน้ำมันยังมีส่วนช่วยลดอัตราการถ่ายเทความร้อนภายในโครงสร้างทำให้ผลึกน้ำแข็งละลายได้ช้าลง สอดคล้องกับผลการศึกษาของ (Koxholt *et al.*,2001; Marshall *et al.*, 2003) ซึ่งพบว่าโครงสร้างไอศกรีมที่มีปริมาณโครงร่างตาข่ายของไขมันมากส่งผลให้ไอศกรีมมีอัตราการละลายลดลงโดยโครงร่างตาข่ายของไขมันจะล้อมรอบฟองอากาศและผลึก

น้ำแข็งในโครงสร้างไอศกรีม ทำให้โครงสร้างมีความเสถียรมากขึ้น

ค่าแรงกดสูงสุดของเนื้อสัมผัสไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำสัมพันธ์กับค่าโอเวอร์รันของไอศกรีม โดยพบว่าค่าโอเวอร์รันที่ต่ำจะส่งผลทำให้เนื้อสัมผัสของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำแข็งขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ Roland และคณะ (1999) ที่พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณไขมันในไอศกรีมโดยไม่ใช้สารทดแทนไขมันจะส่งผลให้ความแข็งของเนื้อไอศกรีมเพิ่มมากขึ้น และการเพิ่มค่าโอเวอร์รันให้สูงขึ้นจะเป็นการลดค่าแรงกดสูงสุดของเนื้อไอศกรีมลง ในตัวอย่างที่มีค่าโอเวอร์รันสูงพบว่าในตอนเริ่มต้นฟองอากาศจะมีขนาดใหญ่ เนื่องจากในขณะที่ตีปั่นอากาศเข้าไปต้องใช้แรงกลจำนวนมาก ซึ่งถ้าฟองอากาศได้รับแรงมากขึ้นฟองอากาศก็จะแตกตัว ความหนืดปรากฏ (appearance viscosity) ของไอศกรีมจะเพิ่มขึ้นเมื่อฟองอากาศเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดเล็กลง ดังนั้นโครงสร้างของไอศกรีมที่มีค่าโอเวอร์รันเพิ่มขึ้นจะทำให้เนื้อสัมผัสของไอศกรีมมีความนุ่มขึ้นและละลายได้ช้าลง เนื่องจากการการเกิดการเสียสภาพของไขมัน (fat destabilization) มากกว่าและการมีอากาศมากจะเป็นฉนวนต่อการส่งผ่านความร้อนให้เกิดได้ช้าลง (Rosalina & Richard, 2004)

อุมาพร และคณะ (2556) ได้ศึกษาผลของการเติมไขมันพืชต่อคุณภาพทางกายภาพและประสาทสัมผัสของไอศกรีมดัดแปลง โดยการเติมน้ำมันรำข้าวที่มีปริมาณไขมันร้อยละ 10 โดยศึกษาคุณภาพทางกายภาพ ความหนืด, โอเวอร์รัน, ค่าแรงกดสูงสุด และอัตราการละลาย ให้ค่า 35.57, 12.33, 16.12 และ 0.179 ตามลำดับ

ปริมาณน้ำมันรำข้าวก่ำส่งผลต่อสีของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำอย่างมีนัยสำคัญ โดยค่าความสว่างของสีลดลงตามปริมาณน้ำมันรำข้าวก่ำที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามโทนสีแดงของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมน้ำมันรำข้าวก่ำในปริมาณร้อยละ 30 เช่นเดียวกับโทนสีน้ำเงินที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมน้ำมันรำข้าวก่ำในปริมาณมากกว่าร้อยละ 10 ส่งผลให้ไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำที่มีการเติมน้ำมันรำข้าวก่ำมีโทนสีม่วงแดงเข้มกว่าตัวอย่างควบคุม ทั้งนี้เนื่องมาจากสารแอนโธไซยานินที่มีในน้ำมันรำข้าวก่ำ จึงทำให้น้ำมันรำข้าวก่ำมีโทนสีม่วงแดง

ตารางที่ 4.19 ผลของปริมาณน้ำมันรำข้าวก่ำต่อสมบัติทางเคมีของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำ

น้ำมันรำข้าวก่ำ (%w/w)	ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (^{o}Brix)	ค่า pH	ปริมาณแอนโธไซยานิน (Cyanidin-3-glucoside mg/L)	ปริมาณฟีนอลิก (gallic acid equil mg/mL)
0	26.79±0.31^{a}	22.08±0.97^{a}	5.98±0.01^{bc}	69.50±4.63^{d}	0.159±0.001^{d}
10	25.71±0.17^{bc}	21.19±0.26^{b}	6.02±0.04^{a}	80.49±2.90^{c}	0.174±0.005^{c}
20	25.88±0.78^{b}	21.02±0.16^{b}	5.99±0.02^{ab}	89.19±6.86^{b}	0.198±0.003^{b}
30	25.37±0.40^{c}	20.42±0.35^{c}	5.94±0.50^{c}	95.14±4.18^{a}	0.219±0.006^{a}

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ
ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.20 ผลของปริมาณน้ำมันรำข้าวก่ำต่อสมบัติการต้านออกซิเดชันของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำ

น้ำมันรำข้าวก่ำ (%w/w)	DPPH (%inhibition)	Reducing Power (gallic acid equil mg/mL)	Metal Chelating (%Inhibition)
0	50.28±0.54^{a}	0.968±0.002^{c}	59.66±0.65^{a}
10	40.64±0.54^{b}	0.101±0.001^{b}	41.48±7.39^{b}
20	32.84±0.49^{c}	0.103±0.002^{a}	41.24±4.46^{b}
30	21.08±0.42^{d}	0.103±0.002^{a}	32.02±0.63^{c}

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ
ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผลของการเติมน้ำมันรำข้าวก่ำที่มีต่อสมบัติทางเคมีและสมบัติการต้านออกซิเดชันของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำแสดงในตารางที่ 4.19 และ 4.20 ตามลำดับ ปริมาณของแข็งทั้งหมดและของแข็งที่ละลายได้ในไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำมีค่าต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำมันรำข้าวก่ำที่เติมลงในส่วนผสมส่งผลเพียงเล็กน้อยมีผลต่อปริมาณของแข็งในไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ปริมาณสารแอนโธไซยานินของไอศกรีมที่เติมน้ำมันรำข้าวก่ำมีค่าเพิ่มขึ้นจากชุดควบคุมอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากปริมาณสารสำคัญที่อยู่ในน้ำมันรำข้าวก่ำจึงทำให้ปริมาณของสารสำคัญทั้งสองชนิดในไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำเพิ่มขึ้นตามปริมาณการเติมน้ำมันรำข้าวก่ำ ในขณะที่ปริมาณการเติมน้ำมันรำข้าวก่ำส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม

สมบัติการต้านออกซิเดชันของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำที่เติมน้ำมันรำข้าวก่ำในปริมาณต่างๆ มีค่าต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนระหว่างปริมาณสารสำคัญกับกิจกรรมการต้านออกซิเดชัน รวมทั้งอิทธิพลขององค์ประกอบของส่วนผสมไอศกรีมที่มีต่อกิจกรรมการต้านออกซิเดชัน DPPH scavenging activity และ metal chelating ability ของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตามปริมาณน้ำมันรำข้าวก่ำที่เติมลงในส่วนผสม ในขณะที่ reducing power มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยสอดคล้องกับผลการทดลองของ Carlos และคณะ (2007) ที่ประเมินกิจกรรมต้านออกซิเดชันของตัวอย่างโดยการใช้วิธี Ferric reducing antioxidant power assay (FRAP), Scavenging activity of ABTS (ABTS) และ Oxygen radical absorbance capacity assay (ORAC) และพบทั้ง 3 วิธีให้ผลการประเมินสมบัติการต้านออกซิเดชันที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบอีกว่าสมบัติการต้านออกซิเดชันไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่เพิ่มขึ้น แต่ขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาเคมี ซึ่งยังไม่มีความชัดเจนจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมรวมทั้งการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์อันเป็นผลเนื่องมาจากการรวมกันของสารต้านอนุมูลอิสระด้วยเช่นเดียวกับการศึกษาของ Kahkonen และคณะ (1999) ที่รายงานว่าไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดกับความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากพืช อย่างไรก็ตาม Garcia-Alonso และคณะ (2004) พบความสัมพันธ์เล็กน้อยระหว่างปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดกับความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันในผลไม้ นอกจากนี้ยังมีรายงานการวิจัยที่ระบุว่า สมบัติการต้านออกซิเดชันของสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ คือ quercetin ประเมินโดย DPPH scavenging activity ขึ้นกับตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด โดย quercetin ในเอทานอลมีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ดีที่สุด รองลงมาคือ เมทานอล และน้ำตามลำดับ (Pinelo *et al.*,2004) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเกิดพันธะไฮโดรเจนจะทำให้ความสามารถในการให้อะตอมไฮโดรเจนของสารประกอบฟีนอลิกเปลี่ยนแปลงไป (Valgimigli *et al.*, 1995) สารประกอบฟีนอลิกสามารถเกิดการรวมตัวกับโมเลกุลอื่นๆ เช่น โปรตีน พอลิแซ็กคาไรด์หรืออัลคาลอยด์ได้ และปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นอาจจะสามารถผันกลับได้หรือไม่ได้นั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ในขณะที่เกิดปฏิกิริยา เช่น ออกซิเจน อิออนโลหะ เอนไซม์และกรด เป็นต้น ซึ่งจะเป็นตัวการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมดุลของปฏิกิริยา เช่น ทำให้สารประกอบในภาวะสมดุลรวมตัวกันและตกตะกอนแยกออกมา หรือเกิดพันธะโควาเลนท์รวมกันเป็นสารใหม่ ทำให้

ปฏิกิริยาไม่สามารถผันกลับได้ หากปรากฏการณ์เหล่านี้เกิดขึ้นมีผลทำให้สารประกอบฟีนอลิกมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไป จะทำให้สารประกอบฟีนอลิกเสียสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระได้ (วิวัฒน์ หวังเจริญ, 2545)

คุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำที่เติมน้ำมันรำข้าวก่ำในปริมาณต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมดังแสดงในตารางที่ 4.17 ผลการทดสอบพบว่าการเติมน้ำมันรำข้าวก่ำไม่มีผลต่อคุณลักษณะด้านสีของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำ แต่มีผลต่อคุณลักษณะด้านอื่น ได้แก่ ความแน่นแข็ง ความเรียบเนียน รสหวานและกลิ่นรส รวมทั้งคุณลักษณะโดยรวม การเพิ่มปริมาณน้ำมันรำข้าวก่ำในส่วนผสมส่งผลให้สมบัติด้านประสาทสัมผัสโดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านความเรียบเนียนของผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สอดคล้องกับลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำที่กล่าวมาข้างต้นไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำที่เติมน้ำมันรำข้าวก่ำในปริมาณร้อยละ 10 มีคะแนนความชอบด้านต่างๆ สูงสุด โดยมีคะแนนความชอบรวมเท่ากับ 7.15 และมีสมบัติด้านประสาทสัมผัสใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมมากที่สุด

ผลการศึกษาที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำที่ประกอบด้วย น้ำข้าวก่ำ (มีขั้นตอนการเตรียมน้ำข้าวโดยการใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนัก ระหว่างข้าวก่ำต่อน้ำเท่ากับ 1:4) ร้อยละ 55 กะทิ ร้อยละ 30น้ำตาล ร้อยละ 15 เจลาติน ร้อยละ 0.3 และน้ำมันรำข้าวก่ำ ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก มีสมบัติด้านต่างๆ ได้แก่ กายภาพ เคมี การต้านออกซิเดชัน และประสาทสัมผัส ที่เหมาะสม เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบชิม

ตารางที่ 4.21 ผลของปริมาณน้ำมันรำข้าวก่ำต่อสมบัติด้านประสาทสัมผัสของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำ

น้ำมันรำข้าวก่ำ (%w/w)	สี ^{*ns}	ลักษณะปรากฏ	ความแน่นแข็ง	ความเรียบเนียน	รสหวาน	กลิ่นรส	คุณลักษณะโดยรวม
0	6.55±1.11	6.65±1.21^{a}	6.45±1.26^{ab}	6.70±1.30^{a}	6.77±1.02^{a}	6.80±1.20^{a}	6.90±0.90^{b}
10	7.00±0.88	7.02±1.07^{a}	6.82±1.45^{a}	7.08±1.20^{a}	6.80±1.14^{a}	7.00±1.06^{a}	7.15±1.00^{a}
20	6.92±1.16	6.55±1.28^{a}	6.15±0.98^{b}	5.97±1.53^{b}	6.32±1.23^{ab}	6.48±1.18^{a}	6.30±1.18^{b}
30	6.80±1.40	5.75±1.58^{b}	5.92±1.42^{b}	5.50±1.52^{b}	5.98±1.39^{b}	6.00±1.22^{b}	5.64±1.31^{c}

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$)

4.5 การเปลี่ยนแปลงสมบัติของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -10 และ -20 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 90 วัน

การศึกษาในตอนนี้ต้องการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสมบัติของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำที่ส่วนผสมไม่มีการเติมน้ำมันรำข้าวก่ำ และมีการเติมน้ำมันรำข้าวก่ำในปริมาณ ร้อยละ 10 โดยส่วนผสมอื่นเหมือนกันตามการทดลองตอนที่ 4.4 ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -10 และ -20 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลานาน 0, 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 วัน

4.5.1 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ

การเปลี่ยนแปลงความแน่นแข็งและอัตราการละลายของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -10 และ -20 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลานาน 90 วัน แสดงในตารางที่ 4.22 ผลการทดลองพบว่าระยะเวลาและอุณหภูมิในการเก็บรักษา ไม่มีผลต่อค่าแรงกดสูงสุด และอัตราการละลายของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำที่มีและไม่มีการเติมน้ำมันรำข้าวก่ำ ($p>0.05$) อย่างไรก็ตามไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำที่มีการเติมน้ำมันรำข้าวก่ำจะมีเนื้อสัมผัสที่แข็งกว่าไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำที่ไม่มีการเติมน้ำมันรำข้าวก่ำเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -10 องศาเซลเซียส ในขณะที่ค่าแรงกดสูงสุดของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำทั้งสองสูตรมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ-20 องศาเซลเซียส ในทุกระยะของการเก็บรักษาแสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำในไอศกรีมสามารถเปลี่ยนสถานะกลายเป็นน้ำแข็งได้ใกล้เคียงกันเมื่ออุณหภูมิการเก็บรักษาลดต่ำลง จุดเยือกแข็งของไอศกรีมซึ่งขึ้นกับองค์ประกอบของส่วนผสมและความแตกต่างของอุณหภูมิซึ่งเป็นแรงขับ (driving force) ของการถ่ายเทความร้อนจะส่งผลอย่างมากต่ออัตราการแช่เยือกแข็ง (freezing rate) ของไอศกรีม การแช่เยือกแข็งที่เกิดขึ้นอย่างช้าๆจะทำให้ได้ผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่และจะเกิดที่บริเวณภายนอกเซลล์ เป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่การแช่เยือกแข็งที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ผลึกน้ำแข็งจะเกิดขึ้นทั้งภายในเซลล์และภายนอกเซลล์ได้พร้อมๆ กัน และผลึกของน้ำแข็งที่ได้จะมีขนาดเล็กและกระจายโดยทั่วไป (Paine & Paine, 1992) โครงสร้างของผลึกน้ำแข็งดังกล่าวอาจส่งผลต่อค่าแรงกดสูงสุดของเนื้อสัมผัสไอศกรีม

ตารางที่ 4.22 การเปลี่ยนแปลงค่าแรงกดสูงสุด และอัตราการละลายของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำ ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -10 และ -20 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 3 เดือน

ระยะเวลา (วัน)	ค่าแรงกดสูงสุด (กิโลกรัม)				อัตราการละลาย (กรัม/นาที)			
	อุณหภูมิการเก็บ-10 °C		อุณหภูมิการเก็บ -20 °C		อุณหภูมิการเก็บ-10 °C		อุณหภูมิการเก็บ -20 °C	
	ปริมาณน้ำมันรำข้าวก่ำ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)							
	0^{ns}	10^{ns}	0^{ns}	10^{ns}	0^{ns}	10^{ns}	0^{ns}	10^{ns}
0	2.828±0.13	3.381±0.17	2.781±0.17	2.328±0.15	0.43 ± 0.03	0.48 ± 0.02	0.43 ± 0.07	0.42 ± 0.01
15	2,780±0.13	3.305±0.17	2.721±0.10	2.331±0.23	0.44 ± 0.01	0.53 ± 0.01	0.45 ± 0.05	0.42 ± 0.01
30	2.832±0.08	3.365±0.06	2.696±0.16	2.326±0.10	0.41 ± 0.07	0.59 ± 0.02	0.37 ± 0.03	0.45 ± 0.01
45	2.660±0.12	3.288±0.17	2.626±0.14	2.249±0.13	0.39 ± 0.05	0.56 ± 0.01	0.39 ± 0.04	0.43 ± 0.02
60	2.724±0.18	3.268±0.16	2.742±0.19	2.237±0.14	0.46 ± 0.01	0.56 ± 0.00	0.44 ± 0.04	0.46 ± 0.02
75	2.811±0.14	3.342±0.26	2.666±0.13	2.202±0.13	0.44 ± 0.01	0.54 ± 0.00	0.45 ± 0.05	0.45 ± 0.02
90	2.667±0.08	3.311±0.21	2.678±0.16	2.373±0.08	0.46 ± 0.02	0.53 ± 0.00	0.45 ± 0.04	0.45 ± 0.01

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.23 การเปลี่ยนแปลงค่าสีของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -10 และ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 เดือน

เวลาการเก็บรักษา (วัน)	L*				a*				b*			
	อุณหภูมิการเก็บ -10 °C		อุณหภูมิการเก็บ -20 °C		อุณหภูมิการเก็บ -10 °C		อุณหภูมิการเก็บ -20 °C		อุณหภูมิการเก็บ -10 °C		อุณหภูมิการเก็บ -20 °C	
	ปริมาณน้ำมันรำข้าวก่ำ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)											
	0	10	0	10	0	10	0	10	0	10	0	10
0	50.31±0.18^{a}	43.43±1.37^{c}	50.13±0.29^{b}	41.60±1.59^{bc}	10.23±0.56^{ab}	7.85±0.39^{b}	10.06±0.25^{b}	8.08±0.93^{b}	2.87±0.37^{c}	1.96±0.13^{c}	3.23±0.09^{c}	2.12±0.09^{b}
15	50.38±0.16^{a}	45.86±1.36^{ab}	51.93±1.84^{a}	44.80±1.30^{a}	9.82±0.82^{ab}	8.05±0.27^{b}	10.05±0.24^{b}	8.15±0.35^{b}	3.17±0.32^{bc}	2.17±0.30^{bc}	3.23±0.11^{c}	2.17±0.42^{b}
30	48.81±1.43^{b}	44.52±0.67^{bc}	48.81±1.43^{bc}	42.28±0.81^{b}	9.89±0.60^{ab}	8.01±0.48^{b}	10.08±0.54^{b}	7.93±0.21^{b}	3.09±0.27^{bc}	2.08±0.18^{bc}	3.38±0.15^{bc}	2.41±0.17^{ab}
45	50.28±0.14^{a}	47.16±2.23^{a}	52.27±2.44^{a}	40.52±0.26^{cd}	9.73±0.40^{b}	7.96±0.35^{b}	10.03±0.38^{b}	7.85±0.27^{b}	3.17±0.12^{bc}	2.20±0.09^{bc}	3.50±0.26^{b}	2.33±0.16^{ab}
60	45.76±0.29^{d}	40.08±0.33^{d}	46.03±1.10^{d}	40.03±0.80^{d}	10.11±0.48^{a}	8.34±0.67^{ab}	10.02±0.43^{b}	8.46±0.35^{a}	3.24±0.15^{b}	2.35±0.26^{ab}	3.48±0.22^{b}	2.50±0.13^{a}
75	48.35±1.36^{b}	38.45±0.74^{e}	48.04±1.50^{c}	39.79±1.28^{d}	9.89±0.27^{ab}	8.58±0.15^{a}	10.25±0.52^{ab}	8.38±0.61^{a}	3.32±0.30^{ab}	2.15±0.25^{bc}	3.56±0.28^{b}	2.20±0.20^{ab}
90	47.04±0.67^{c}	39.62±0.11^{de}	47.86±1.11^{c}	40.70±0.30^{cd}	10.47±0.21^{ab}	8.62±0.34^{a}	10.37±0.40^{ab}	8.42±0.45^{a}	3.56±0.19^{a}	2.48±0.21^{a}	3.78±0.06^{a}	2.40±0.26^{ab}

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ความสว่างของสีของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตลอดการเก็บรักษา แสดงในตารางที่ 4.23 ทั้งสองอุณหภูมิการเก็บรักษา ในขณะที่โทนสีแดง และสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำทั้งสองสูตรมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิการเก็บรักษาทั้งสองอุณหภูมิ ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากการเกิดการออกซิเดชันของไขมันหรือการสลายตัวของรงควัตถุที่เป็นองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์แช่แข็ง (Dias *et al.*, 1994)

4.5.2 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี

ในระหว่างการเก็บรักษาปริมาณของแข็งทั้งหมดในไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำทั้งสองสูตรมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในทั้งสองอุณหภูมิการเก็บรักษา โดยปริมาณของแข็งทั้งหมดในไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำที่มีการเติมน้ำมันรำข้าวก่ำมีค่าสูงกว่าไอศกรีมัดแปลงข้าวก่ำที่ไม่มีการเติมน้ำมันรำข้าวในทุกระยะเวลาการเก็บรักษา สอดคล้องกับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ($p<0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เช่นเดียวกับค่าความเป็นกรด-ด่างของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากในระหว่างการเก็บรักษา โดยอุณหภูมิในการเก็บและการเติมน้ำมันรำข้าวก่ำส่งผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำน้อยมาก (ตารางที่ 4.24)สอดคล้องกับผลการทดลองของ Guvenet และคณะ (2003) ที่พบว่าค่า pH ของไอศกรีมวนิลลามีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในระหว่างการเก็บรักษา โดยมีค่า pH เริ่มต้น เท่ากับ 6.40 และมีค่าเปลี่ยนแปลงไปเป็น 6.50 ในวันที่ 60 ของการเก็บรักษา อย่างไรก็ตาม ชัยรัตน์ (2552) รายงานว่าไอศกรีมชุดควบคุม และไอศกรีมที่เติมสารสกัดจากขิงหยาบ มีการเปลี่ยนแปลงค่า pH อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 60 วัน

ตารางที่ 4.24 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ปริมาณของแข็งทั้งหมดและปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -10 และ -20 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 3 เดือน

ระยะเวลาการเก็บ (วัน)	ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ)				ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (°Brix)				ค่า pH			
	อุณหภูมิการเก็บ -10 °C		อุณหภูมิการเก็บ -20 °C		อุณหภูมิการเก็บ -10 °C		อุณหภูมิการเก็บ -20 °C		อุณหภูมิการเก็บ -10 °C		อุณหภูมิการเก็บ -20 °C	
	ปริมาณน้ำมันรำข้าวก่ำ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)											
	0	10	0	10	0	10	0	10	0	10	0	10
0	21.85±0.35^{c}	22.59±1.20^{d}	21.34±0.19^{d}	23.49±0.42	22.1±0.11	21.2±0.05	22.1±0.10	21.1±0.10	6.37±0.01^{b}	6.36±0.01^{c}	6.37±0.01^{c}	6.36±0.01^{d}
15	22.77±0.20^{ab}	23.63±0.09^{bc}	22.01±0.08^{abc}	23.55±0.72	22.1±0.11	21.2±0.05	22.1±0.10	21.1±0.10	6.37±0.01^{b}	6.37±0.01^{bc}	6.36±0.01^{bc}	6.36±0.01^{d}
30	22.94±0.18^{a}	23.55±0.25^{c}	21.80±0.02^{c}	23.68±1.19	22.1±0.11	21.2±0.05	22.1±0.10	21.1±0.10	6.38±0.01^{ab}	6.37±0.01^{bc}	6.37±0.01^{bc}	6.37±0.01^{cd}
45	22.56±0.07^{ab}	24.34±0.19^{ab}	22.15±0.06^{a}	23.44±0.29	22.1±0.11	21.2±0.05	22.1±0.10	21.1±0.10	6.38±0.00^{ab}	6.38±0.01^{ab}	6.38±0.01^{ab}	6.38±0.01^{bc}
60	22.86±0.06^{ab}	24.32±0.16^{ab}	22.05±0.13^{ab}	23.90±0.37	22.1±0.11	21.2±0.05	22.1±0.10	21.1±0.10	6.39±0.01^{a}	6.38±0.02^{abc}	6.38±0.01^{ab}	6.38±0.01^{b}
75	22.45±0.26^{b}	24.43±0.61^{a}	21.91±0.27^{bc}	23.18±0.35	22.1±0.11	21.2±0.05	22.1±0.10	21.1±0.10	6.39±0.00^{a}	6.38±0.01^{abc}	6.38±0.02^{a}	6.39±0.01^{b}
90	22.71±0.70^{ab}	23.88±0.54^{abc}	21.90±0.24^{bc}	23.90±0.42	22.1±0.11	21.2±0.05	22.1±0.10	21.1±0.10	6.39±0.02^{a}	6.39±0.02^{a}	6.39±0.02^{a}	6.40±0.02^{a}

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสารแอนโธไซยานินในไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำในระหว่างการเก็บรักษาแสดงในตารางที่ 4.25 พบว่าที่อุณหภูมิการเก็บรักษาทั้งสองสารประกอบฟีนอลิกมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) โดยในวันที่ 45 ของการเก็บรักษาไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำที่เติมน้ำมันรำข้าวก่ำที่อุณหภูมิ -10 และ -20 องศาเซลเซียส สารประกอบฟีนอลิกในไอศกรีมมีปริมาณลดลงจากค่าเริ่มต้นของการเก็บรักษา (วันที่ 0) เท่ากับร้อยละ 22.07 และ 12.82 ตามลำดับ รายงานการศึกษาของ Srivastava และคณะ (2007) เกี่ยวกับผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษา ต่อการเปลี่ยนแปลงสารประกอบฟีนอลิกในสารสกัดจากผลบลูเบอรี่ โดยทำการเก็บรักษาสารสกัดที่อุณหภูมิ -20.0±1.0, 5.0±1.0, 23.0±1.0 และ 35.0±1.0 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0, 15, 30, 45 และ 60 วัน พบว่า การเก็บรักษาสารสกัดที่อุณหภูมิ -20.0 ±1.0 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0, 15 และ 30 วัน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) หลังจากนั้นจะมีค่าลดลงเล็กน้อย ในขณะที่การเก็บรักษาสารสกัดที่อุณหภูมิ 5.0±1.0, 23.0±1.0 และ 35.0±1.0 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0, 15 และ 30 วัน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่หลังจากนั้นจะมีค่าคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาและสภาวะการเก็บรักษามีผลต่อการลดลงของสารประกอบฟีนอลิกในสารสกัดจากผลบลูเบอรี่ ผลการศึกษายังพบว่าการเก็บรักษาสารสกัดจากผลบลูเบอรี่ที่อุณหภูมิ -20.0±1.0 และ 5.0±1.0 องศาเซลเซียส ทำให้สารประกอบฟีนอลิกมีความคงตัวสูงกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 23.0±1.0 และ 35.0±1.0 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ Pacheco-Palencia และคณะ (2008) ศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษา ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงสารประกอบฟีนอลิกในน้ำมันที่สกัดจากผลปาล์ม Acai (*Euterpe Oleracea* Mart.) โดยทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20.0, 30.0 และ 40.0 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลานาน 10 สัปดาห์ วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสารประกอบฟีนอลิกด้วยHigh Performance Liquid Chromatography (HPLC) พบว่าการเก็บรักษาน้ำมันสกัดเป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ ทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลงเล็กน้อย โดยมีค่าลดลงน้อยกว่าร้อยละ10 ซึ่งการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 และ 30 องศาเซลเซียส ทำให้สารประกอบฟีนอลิกมีความคงตัวสูงกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกันกับรายงานของชัยรัตน์ (2552) ที่ทำการศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อความคงตัวของสารประกอบฟีนอลในสารสกัดหยาบจากขิง เป็นระยะเวลานาน 4 เดือน ที่อุณหภูมิ -20.0±1.0, 4.0±1.0 และ 27.0±1.0 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกมีค่าลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา

ปริมาณแอนโธไซยานินลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยพบว่าการเก็บรักษาไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำที่มีการเติมน้ำมันรำข้าวก่ำที่อุณหภูมิ -10 และ -20 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ปริมาณสารแอนโธไซยานินในไอศกรีมมีปริมาณลดลงจากค่าเริ่มต้นของการเก็บรักษา (วันที่ 0) เท่ากับร้อยละ 13.26 และ 10.67 ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาของ Walkowiak-Tomczak & Czapski (2007) ที่ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอนโธไซยานินในสารละลายกะหล่ำปลีสีแดงระหว่างการเก็บรักษาพบว่า ปริมาณแอนโธไซยานินของสารละลายกะหล่ำปลีสีแดงลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น เช่นเดียวกันกับการศึกษาของ อรุษา และคณะ (2552) ที่ทำการศึกษาอายุการเก็บรักษาของน้ำอัญชัน ที่อุณหภูมิการเก็บรักษาที่ 7.0±2 และ 30.0 ±2 องศาเซลเซียส พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณแอนโธไซยานินในน้ำอัญชันมีแนวโน้มที่ลดลง

ตารางที่ 4.25 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอล และสารแอนโธไซยานิน ในไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำ ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -10 และ -20 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 3 เดือน

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ปริมาณฟีนอลิก (gallic acid equil mg/mL)				ปริมาณแอนโธไซยานิน (cyanidin-3-glucoside mg/L)			
	อุณหภูมิการเก็บ-10 °C		อุณหภูมิการเก็บ -20 °C		อุณหภูมิการเก็บ-10 °C		อุณหภูมิการเก็บ -20 °C	
	ปริมาณน้ำมันรำข้าวก่ำ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)							
	0	10	0	10	0	10	0	10
0	0.168±0.00^{a}	0.207±0.01^{a}	0.153±0.00^{a}	0.195±0.00^{a}	74.16±0.48^{a}	82.40±1.25^{a}	75.68±2.30^{a}	83.15±1.39^{a}
15	0.159±0.01^{b}	0.196±0.00^{a}	0.153±0.01^{a}	0.194±0.00^{a}	70.19±1.11^{b}	78.03±1.08^{b}	67.60±1.12^{c}	79.79±0.92^{b}
30	0.143±0.00^{c}	0.194±0.00^{a}	0.145±0.00^{b}	0.194±0.00^{a}	67.67±2.35^{bc}	75.88±2.09^{b}	64.86±2.97^{d}	79.88±1.27^{b}
45	0.137±0.00^{cd}	0.170±0.00^{b}	0.134±0.00^{c}	0.183±0.00^{b}	67.70±1.16^{bc}	75.78±1.72^{b}	68.40±0.64^{bc}	78.33±1.73^{bc}
60	0.137±0.00^{cd}	0.172±0.01^{b}	0.136±0.00^{c}	0.167±0.01^{c}	65.87±3.79^{cd}	72.79±3.54^{c}	70.08±2.44^{b}	77.03±2.15^{c}
75	0.133±0.01^{d}	0.169±0.00^{b}	0.124±0.00^{d}	0.170±0.01^{d}	62.37±1.98^{de}	71.10±3.11^{d}	61.30±0.74^{e}	76.10±3.77^{de}
90	0.126±0.01^{e}	0.167±0.01^{d}	0.110±0.00^{e}	0.170±0.01^{d}	64.72±3.29^{e}	71.47±1.04^{d}	58.62±1.66^{f}	74.27±2.82^{e}

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.5.3 การเปลี่ยนแปลงสมบัติการต้านออกซิเดชัน

สมบัติการต้านออกซิเดชันประเมินจากสมบัติการจับอนุมูลอิสระ DPPH (DPPH scavenging activity) ความสามารถในการแย่งจับโลหะ (metal chelating ability) และความสามารถของการเป็นตัวให้อิเล็กตรอน (reducing power)ของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำทั้งสองสูตร ในระหว่างการเก็บรักษาที่ -10 และ -20 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลานาน 90 วัน มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.26) สอดคล้องกับการลดลงของสารต้านออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์เนื่องมาจากการเกิดออกซิเดชันของไขมันระหว่างการเก็บรักษา หรืออาจเกิดอันตรกิริยาระหว่างสารประกอบฟีนอลิกของน้ำมันรำข้าวกับองค์ประกอบในไอศกรีม เช่น โปรตีนหรือพอลิแซ็กคาไรด์ เป็นต้น จึงอาจทำให้สารประกอบฟีนอลิกสูญเสียสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระได้จากการทดลองของ Wegrzyn และคณะ (2008) พบว่านมที่เติมสารสกัดจากแอปเปิ้ล และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 และ 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลานาน 12 สัปดาห์ ความสามารถในการให้อิเล็กตรอนจะลดลงจากความสามารถเริ่มต้นประมาณร้อยละ 19 และ 38 ตามลำดับ ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงอนุมูลอิสระนั้นอาจเนื่องมาจากการเกิดโพลิเมอไรเซชันของสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งจะไปมีผลต่อตำแหน่งที่มีความสามารถในการเข้าทำปฏิกิริยากับสารประกอบเชิงซ้อนของ Fe^{3+}-TPTZ (Ferric tripyridyltriazine complex) ในการวิเคราะห์ความสามารถในการให้อิเล็กตรอน หรืออาจมีผลต่อความสามารถในการให้ไฮโดรเจนอะตอม นอกจากนี้การเกิดอันตรกิริยาระหว่างสารประกอบฟีนอลิก และองค์ประกอบอื่นๆ ในอาหาร เช่น โปรตีนหรือพอลิแซ็กคาไรด์ เป็นต้น ซึ่งสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกัน หรืออาจเกิดปฏิกิริยาของหมู่ฟังก์ชั่นบางหมู่ เช่น การเกิดพันธะเอสเทอร์ระหว่างหมู่คาร์บอกซิล และไฮดรอกซิล นอกจากนี้การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนในส่วนของหมู่ที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic complexation) ของโปรตีนมีผลทำให้กักสารประกอบฟีนอลิกเอาไว้ได้เช่นกัน ซึ่งอันตรกิริยาเหล่านี้จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสมบัติการต้านอนุมูลอิสระได้

ตารางที่ 4.26 การเปลี่ยนแปลงสมบัติการต้านออกซิเดชันของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -10 และ -20 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 เดือน

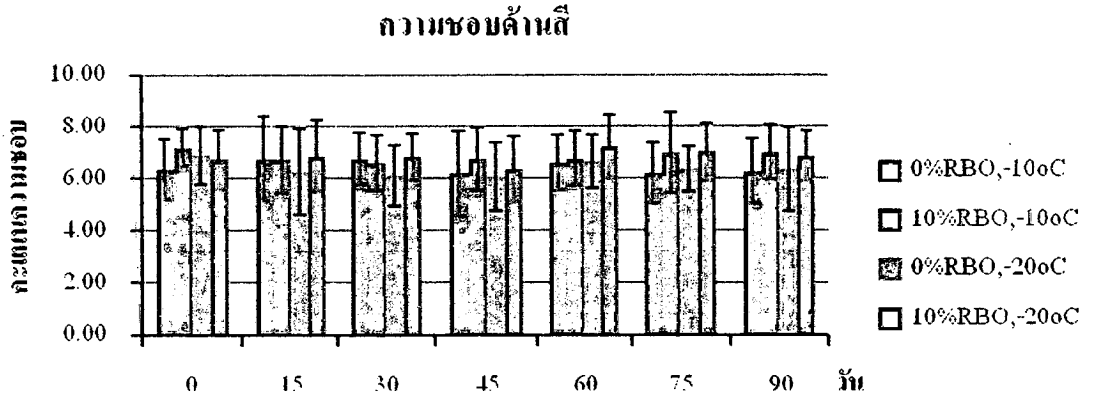
ระยะเวลาการเก็บ (วัน)	DPPH (%Inhibition)				Metal Chelating (%Inhibition)				Reducing Power (gallic acid equil mg/mL)			
	อุณหภูมิการเก็บ-10 °C		อุณหภูมิการเก็บ -20 °C		อุณหภูมิการเก็บ-10 °C		อุณหภูมิการเก็บ -20 °C		อุณหภูมิการเก็บ-10 °C		อุณหภูมิการเก็บ -20 °C	
	ปริมาณน้ำมันรำข้าวก่ำ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)											
	0	10	0	10	0	10	0	10	0	10	0	10
0	59.01±4.13^{a}	56.54±1.10^{a}	60.77±1.84^{a}	57.77±1.72^{a}	79.94±0.60^{a}	60.12±3.04^{a}	69.74±1.87^{a}	61.08±2.66^{a}	0.098±0.001^{a}	0.102±0.002^{a}	0.095±0.001^{a}	0.104±0.001^{a}
15	56.89±8.18^{ab}	53.34±5.37^{ab}	57.71±6.97^{ab}	54.76±4.43^{ab}	78.13±0.55^{b}	52.15±1.57^{b}	69.81±3.36^{a}	51.74±1.18^{b}	0.098±0.001^{a}	0.101±0.001^{a}	0.094±0.001^{a}	0.101±0.001^{b}
30	52.57±4.90^{cd}	50.30±1.68^{b}	54.64±6.22^{bc}	51.74±1.98^{bc}	73.09±1.70^{c}	39.39±2.07^{c}	71.11±3.91^{a}	40.94±2.80^{cd}	0.095±0.001^{b}	0.103±0.001^{a}	0.095±0.001^{a}	0.101±0.001^{b}
45	54.15±1.31^{bc}	50.19±1.49^{b}	52.94±2.38^{bc}	47.78±1.22^{c}	72.82±1.55^{c}	42.11±7.93^{c}	68.58±2.95^{ab}	44.35±2.66^{c}	0.092±0.001^{c}	0.096±0.002^{b}	0.090±0.001^{b}	0.098±0.001^{c}
60	50.87±1.64^{d}	41.47±4.33^{c}	50.25±1.19^{c}	41.71±1.58^{c}	65.67±1.25^{d}	43.33±5.11^{c}	64.74±2.46^{bc}	44.36±4.38^{c}	0.087±0.001^{d}	0.096±0.002^{b}	0.092±0.001^{b}	0.097±0.001^{c}
75	39.43±4.00^{e}	44.44±3.54^{c}	44.03±2.51^{d}	38.91±6.75^{d}	64.09±5.46^{d}	41.03±5.82^{c}	59.86±5.86^{d}	37.80±4.10^{d}	0.086±0.001^{d}	0.093±0.002^{c}	0.083±0.001^{d}	0.096±0.001^{d}
90	37.79±2.02^{e}	44.62±3.58^{c}	39.86±1.22^{d}	48.27±0.80^{d}	56.44±3.94^{e}	41.85±0.77^{c}	63.58±3.12^{cd}	37.47±1.29^{d}	0.085±0.001^{d}	0.090±0.001^{d}	0.087±0.001^{c}	0.090±0.001^{e}

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

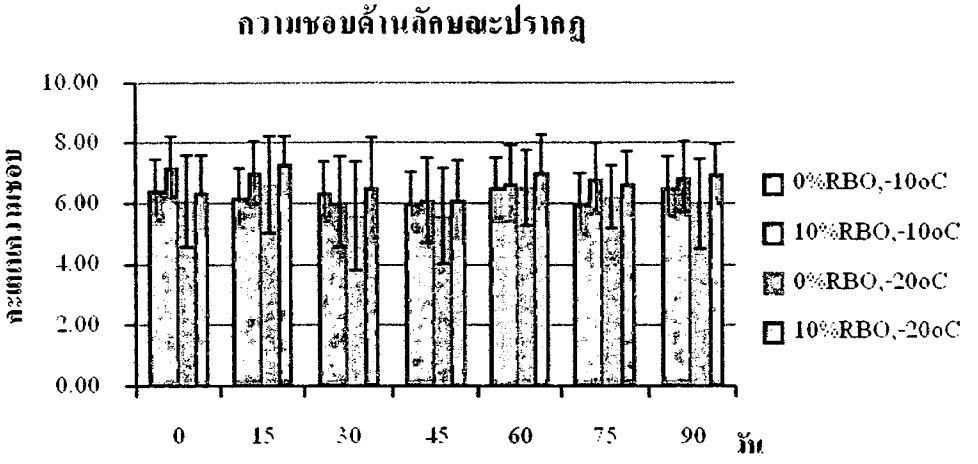
ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.5.4 การเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านประสาทสัมผัส

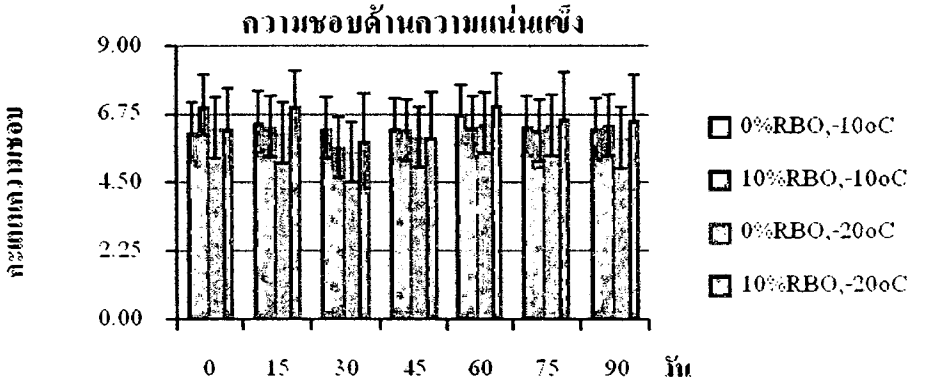
การประเมินสมบัติด้านประสาทสัมผัสของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำในระหว่างการเก็บรักษา พบว่าระยะเวลาและอุณหภูมิการเก็บรักษาไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสในทุกคุณลักษณะ ดังแสดงในภาพ 4.1-4.7 โดยคะแนนเฉลี่ยในคุณลักษณะ ด้านสี ลักษณะปรากฏ ความแน่นแข็ง ความเรียบเนียน รสหวาน กลิ่นรสไอศกรีม และคะแนนการยอมรับโดยรวมของไอศกรีมชุดควบคุม อยู่ในช่วง 6.00-6.73 คือ ชอบน้อยที่สุด และไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำที่เติมน้ำมันรำข้าว อยู่ในช่วง 6.20-7.20 คือ ชอบน้อยที่สุดถึงชอบปานกลาง



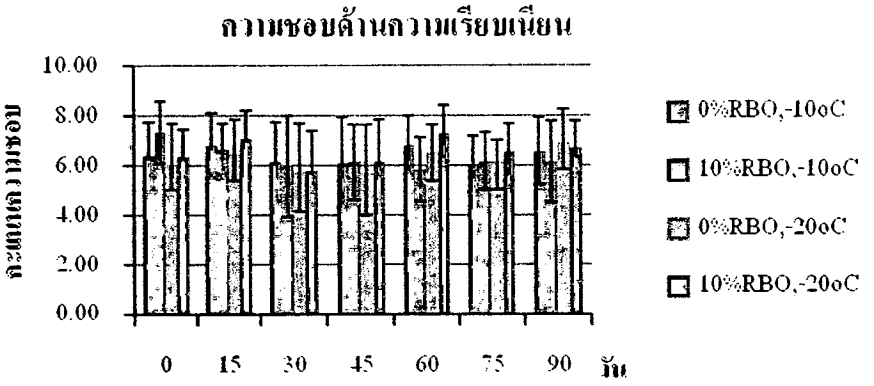
รูปที่ 4.1 คะแนนความชอบด้านสีในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -10 และ -20 องศาเซลเซียสระยะเวลา 3 เดือน



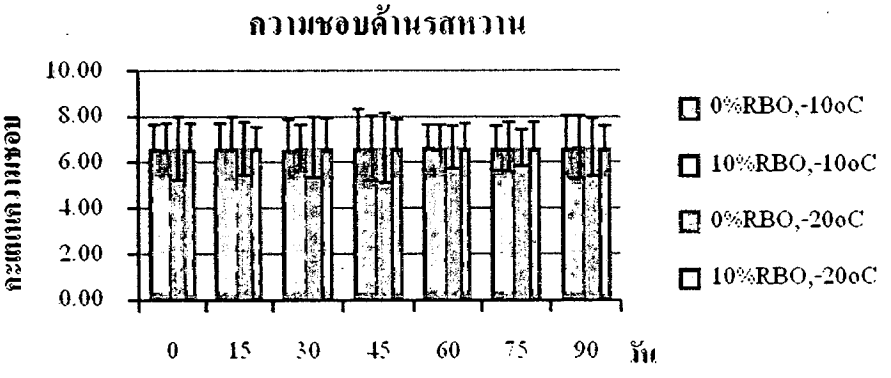
รูปที่ 4.2 คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -10 และ -20 องศาเซลเซียสระยะเวลา 3 เดือน



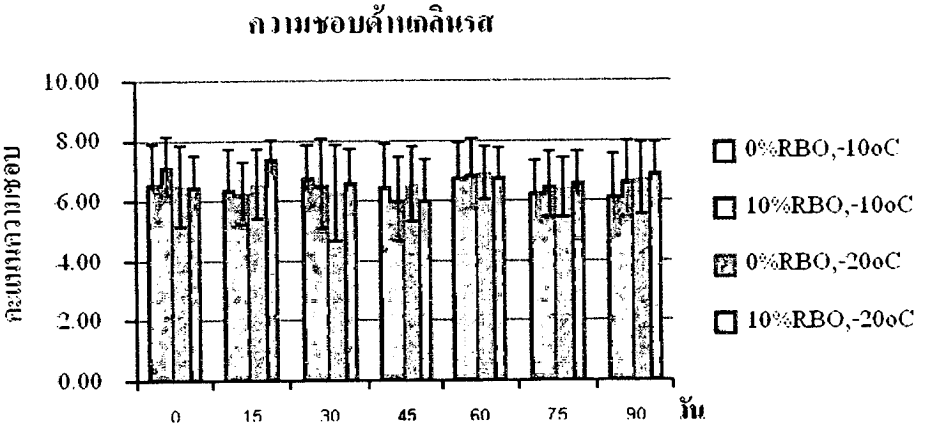
รูปที่ 4.3 คะแนนความชอบด้านความแน่นแข็งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -10 และ -20 องศาเซลเซียสระยะเวลา 3 เดือน



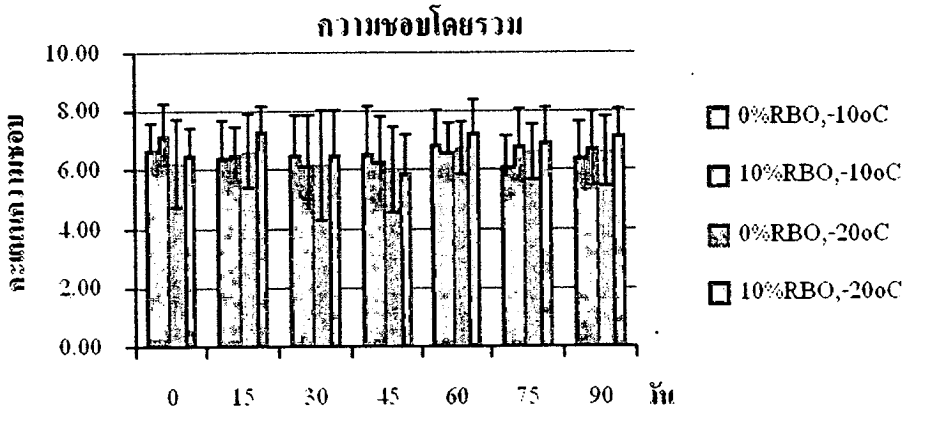
รูปที่ 4.4 คะแนนความชอบด้านความเรียบเนียนในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -10 และ -20 องศาเซลเซียสระยะเวลา 3 เดือน



รูปที่ 4.5 คะแนนความชอบด้านรสหวานในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -10 และ -20 องศาเซลเซียสระยะเวลา 3 เดือน



รูปที่ 4.6 คะแนนความชอบด้านกลิ่นรสในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -10 และ -20 องศาเซลเซียสระยะเวลา 3 เดือน



รูปที่ 4.7 คะแนนความชอบโดยรวมในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -10 และ -20 องศาเซลเซียสระยะเวลา 3 เดือน

4.5.5 การเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านจุลชีววิทยา

ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และยีสต์ รา ในไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำ ระหว่างการเก็บรักษาอยู่ในช่วงน้อยกว่า 10 cfu/g (ตารางที่4.27) แสดงให้เห็นว่าไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำ ที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -10 และ -20 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลานาน 3 เดือนมีสมบัติด้านจุลชีววิทยาเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ไอศกรีมในประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 222 พ.ศ. 2544 ซึ่งระบุว่าไอศกรีมจะต้องมีปริมาณจุลินทรีย์ได้ไม่เกิน 6.00×10^5 cfu/g

ตารางที่ 4.27 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางจุลชีววิทยาของไอศกรีมดัดแปลงข้าวก่ำ ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -10 และ -20 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 เดือน

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	จุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)				ยีสต์ และรา (CFU/g)			
	อุณหภูมิการเก็บ-10 °C		อุณหภูมิการเก็บ -20 °C		อุณหภูมิการเก็บ-10 °C		อุณหภูมิการเก็บ -20 °C	
	ปริมาณน้ำมันรำข้าวก่ำ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)							
	0^{ns}	10^{ns}	0^{ns}	10^{ns}	0^{ns}	10^{ns}	0^{ns}	10^{ns}
0	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
15	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
30	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
45	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
60	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
75	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
90	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

ตัวอักษร ns ในแนวตั้งมีความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)