บทที่ 4
ผลการวิจัย และอภิปรายผลการวิจัย

ตอนที่ 1 คุณสมบัติทางด้านกายภาพ เคมี และคุณค่าทางโภชนาการของน้ำแครอท

1) ผลการวิเคราะห์ทางด้านเคมีของน้ำแครอท

ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด (total acidity) ในรูปของกรดแลคติก ของตัวอย่างน้ำแครอท พบว่า มีปริมาณกรดทั้งหมดต่ำ เนื่องจากแครอทเป็นผักที่ไม่มีรสเปรี้ยว ส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมด (total soluble solid) ของตัวอย่างน้ำแครอท มีค่าเท่ากับ 8.80 ± 0.01 °Brix ซึ่งค่าที่วิเคราะห์ได้ ถือเป็นตัวแทนของปริมาณน้ำตาลในตัวอย่างน้ำแครอท และเมื่อวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solid) ของตัวอย่างน้ำแครอท พบว่า มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 8.24 ± 0.05 (ดังตารางที่ 4.1)

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมด และปริมาณของแข็งทั้งหมดของตัวอย่างน้ำแครอท

ตัวอย่าง	ปริมาณกรดทั้งหมด (%)	TSS (°Brix)	ของแข็งทั้งหมด (%)
น้ำแครอท	0.03 ± 0.01	8.80 ± 0.01	8.24 ± 0.05

หมายเหตุ : ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 6 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) ผลการวิเคราะห์ทางด้านกายภาพของน้ำแครอท

ผลการวิเคราะห์ค่าสีระบบ Hunter Lab จากการวิเคราะห์ค่าความสว่างของสี (ค่า L*) ค่าสีแดง (ค่า a*) และค่าสีเหลือง (ค่า b*) ของตัวอย่างน้ำแครอท ผลที่ได้มีค่าเท่ากับ 36.06 ± 0.42, 18.45 ± 0.82 และ 19.08 ± 0.38 ตามลำดับ เนื่องจากตัวอย่างน้ำแครอทมีลักษณะเป็นสีส้ม ดังนั้น ค่า a* และ ค่า b* จึงมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนผลการวิเคราะห์ความหนืด (viscosity) ด้วยความเร็วรอบ 200 rpm พบว่า มีค่าเท่ากับ 1.73 ± 0.01 cP (ดังตารางที่ 4.2) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับน้ำ ที่มีค่าประมาณ 1 cP ที่ความเร็วรอบเดียวกัน (นิธิยา, 2549)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าสีระบบ Hunter Lab (L*, a* และ b*) และความหนืดของตัวอย่างน้ำแครอท

ตัวอย่าง	ค่าสีระบบ Hunter Lab			ความหนืด (cP)
	ค่า L*	ค่า a*	ค่า b*	
น้ำแครอท	36.06 ± 0.42	18.45 ± 0.82	19.08 ± 0.38	1.73 ± 0.01

หมายเหตุ : ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 6 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3) ผลการวิเคราะห์ทางด้านโภชนาการของน้ำแครอท

ผลการวิเคราะห์ปริมาณไขมัน โปรตีน เถ้า และคาร์โบไฮเดรตของตัวอย่างน้ำแครอท (ดังตารางที่ 4.3) พบว่า มีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลที่ได้จากกองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข (2535) ซึ่งแครอทถือว่าเป็นผักที่มีเบต้า-แคโรทีนสูง โดยเบต้า-แคโรทีน นอกจากจะเป็น provitamin A แล้ว ยังทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชันให้แก่ร่างกาย ช่วยทำลายอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในร่างกาย จึงเป็นสารที่ช่วยชะลอความแก่และยับยั้งการเกิดมะเร็งได้ (นิธิยา, 2549)

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ทางด้านโภชนาการของน้ำแครอท

คุณค่าทางด้านโภชนาการ	ส่วนที่กินได้ 100 กรัม	
	ตัวอย่างน้ำแครอท	ข้อมูลอ้างอิง
ไขมัน (กรัม)	0.33 ± 0.03	0.40
โปรตีน (กรัม)	0.88 ± 0.02	1.60
เถ้า (กรัม)	0.90 ± 0.01	ไม่มีการวิเคราะห์
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	6.13 ± 0.10	6.80
เบต้า-แคโรทีน (ไมโครกรัม)	ไม่มีการวิเคราะห์	1,166

หมายเหตุ : ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 6 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ที่มา : กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข (2535)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตอนที่ 2 ผลของชนิดโปรตีนที่มีต่อโครงสร้างระดับจุลภาคและลักษณะทางกายภาพของเชอร์เบทแครอท

1) ผลการวิเคราะห์ทางด้านเคมีของเชอร์เบทแครอทมิกซ์

1.1) ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด

ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด (total acidity) ในรูปของกรดแลคติก ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทมิกซ์ที่ใช้โปรตีนทั้ง 3 ชนิด พบว่า มีค่าไม่แตกต่างกัน แต่ตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีนมีปริมาณกรดทั้งหมดมากกว่าตัวอย่างที่ใช้โปรตีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ดังตารางที่ 4.4) เนื่องจากโปรตีนทั้ง 3 ชนิด มีสมบัติเป็นด่าง จึงทำให้ตัวอย่างเชอร์เบทแครอทมิกซ์ที่ได้ มีปริมาณกรดทั้งหมดน้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีน แม้ว่าจะเติมกรดซิตริกลงในตัวอย่างในปริมาณที่เท่ากัน แต่ปริมาณกรดทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้ของทั้ง 4 ตัวอย่าง ถือว่าอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ตามมาตรฐาน คือ ผลิตภัณฑ์เชอร์เบทควรมีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ในรูปของกรดแลคติก อย่างน้อยร้อยละ 0.35 เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นรสฝาด (Marshall และ Arbuckle, 1996)

1.2) ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมด

ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมด (total soluble solid) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทมิกซ์ทั้ง 4 ตัวอย่าง พบว่า มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ดังตารางที่ 4.4) โดยตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีนมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมดน้อยกว่าตัวอย่างที่ใช้โปรตีน เนื่องจากส่วนผสมของตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีนมีตัวทำลาย คือ น้ำ ในปริมาณมากกว่าตัวอย่างที่ใช้โปรตีน ส่วนตัวอย่างที่ใช้โปรตีนทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมดแตกต่างกัน เนื่องจากความสามารถในการจับกับน้ำของโปรตีนแต่ละชนิดที่ต่างกัน โดยเคเซอีน โปรตีนถั่วเหลือง และซีรัมแอลบูมิน มีความสามารถในการจับกับน้ำ 0.40, 0.33 และ 0.33 กรัมน้ำ/กรัมโปรตีน ตามลำดับ (Damodaran, 1996)

1.3) ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมด

ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solid) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทมิกซ์ทั้ง 4 ตัวอย่าง พบว่า มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ดังตารางที่ 4.4) โดยตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีนมีปริมาณของแข็งทั้งหมดน้อยกว่าตัวอย่างที่ใช้โปรตีน เนื่องจากส่วนผสมของตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีนมีตัวทำลาย คือ น้ำ ในปริมาณมากกว่าตัวอย่างที่ใช้โปรตีน ส่วนตัวอย่างที่ใช้โปรตีนทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณของแข็งทั้งหมดแตกต่างกัน สอดคล้องกับที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทั้งหมดที่แตกต่างกัน โดยตัวอย่างที่ใช้เคเซอีนมีปริมาณของแข็งทั้งหมดมากที่สุด รองลงมาคือตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลือง และแอลบูมิน ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมด และปริมาณของแข็งทั้งหมดของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทมิกซ์ที่ใช้โปรตีนชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้โปรตีน

ตัวอย่าง เชอร์เบทแครอทมิกซ์	ปริมาณกรด ทั้งหมด (%)	TSS (°Brix)	ของแข็งทั้งหมด (%)
ไม่ใช้โปรตีน	0.37^{b} ±0.01	26.47^{a} ±0.45	23.58^{a} ±0.39
ใช้เคเซอีน	0.35^{a} ±0.01	30.50^{d} ±0.64	27.08^{d} ±0.44
ใช้แอลบูมิน	0.34^{a} ±0.01	28.33^{b} ±0.21	25.39^{b} ±0.20
ใช้โปรตีนถั่วเหลือง	0.34^{a} ±0.01	29.80^{c} ±0.54	26.38^{c} ±0.57

หมายเหตุ : 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 6 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$)

2) ผลการวิเคราะห์ทางด้านกายภาพของเชอร์เบทแครอทมิกซ์

2.1) ผลการวิเคราะห์ค่าสีระบบ Hunter Lab

2.1.1) ผลการวิเคราะห์ค่าความสว่างของสี (ค่า L*) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทมิกซ์ที่ใช้โปรตีนทั้ง 3 ชนิด พบว่า มีค่าความสว่างของสีมากกว่าตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลือง มีค่าความสว่างของสีมากที่สุด รองลงมาคือตัวอย่างที่ใช้แอลบูมิน และเคเซอีน ตามลำดับ (ดังตารางที่ 4.5) โดยค่าความสว่างของสี (ค่า L*) ที่ต่างกัน ระหว่างตัวอย่างที่ใช้โปรตีนทั้ง 3 ชนิด ขึ้นอยู่กับความเข้มของสีของโปรตีนแต่ละชนิดที่ต่างกันจากรงควัตถุที่มีปนอยู่ในวัตถุดิบที่นำมาใช้สกัดโปรตีน (นิธิยา, 2549)

2.1.2) ผลการวิเคราะห์ค่าสีแดง (ค่า a*) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทมิกซ์ที่ใช้โปรตีนทั้ง 3 ชนิด พบว่า มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่างที่ใช้แอลบูมินมีค่าสีแดงไม่แตกต่างกับตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีน (ดังตารางที่ 4.5) เนื่องจากโปรตีนแต่ละชนิดแม้จะมีลักษณะเป็นสีเหลืองเหมือนกัน แต่มีความเข้มของสีต่างกัน ซึ่งโปรตีนถั่วเหลืองมีสีเหลืองเข้มที่สุด รองลงมาคือ แอลบูมิน และเคเซอีน ตามลำดับ ดังนั้น เมื่อนำโปรตีนแต่ละชนิดเติมลงในตัวอย่างเชอร์เบทมิกซ์ จึงทำให้ตัวอย่างที่ได้มีค่าสีแดงแปรผันตามความเข้มของสีของโปรตีนแต่ละชนิด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยเคเซอีนมีลักษณะเป็นสีเหลืองอ่อนที่สุด เกือบเป็นสีขาว ส่งผลให้ตัวอย่างเชอร์เบทมิกซ์ที่ได้มีค่าสีแดงน้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีน

2.1.3) ผลการวิเคราะห์ค่าสีเหลือง (ค่า b*) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทมิกซ์ที่ใช้โปรตีนทั้ง 3 ชนิด พบว่า มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่างที่ใช้เคเซอีนมีค่าสีเหลืองไม่แตกต่างกับตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีน (ดังตารางที่ 4.5) เนื่องจากโปรตีนแต่ละชนิดแม้จะมีลักษณะเป็นสีเหลืองเหมือนกัน แต่มีความเข้มของสีต่างกัน ซึ่งโปรตีนถั่วเหลืองมีสีเหลืองเข้มที่สุด รองลงมาคือ แอลบูมิน และเคเซอีน ตามลำดับ ดังนั้น เมื่อนำโปรตีนแต่ละชนิดเติมลงในตัวอย่างเชอร์เบทมิกซ์ จึงทำให้ตัวอย่างที่ได้มีค่าสีเหลืองแปรผันตามความเข้มของสีของโปรตีนแต่ละชนิด โดยเคเซอีนมีลักษณะเป็นสีเหลืองอ่อนที่สุด เกือบเป็นสีขาว ส่งผลให้ตัวอย่างเชอร์เบทมิกซ์ที่ได้มีค่าสีเหลืองไม่แตกต่างกับตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีน

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ค่าสีระบบ Hunter Lab (L*, a* และ b*) ความหนืด และค่า overrun ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทมิกซ์ที่ใช้โปรตีนชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้โปรตีน

ตัวอย่างเชอร์เบทแครอทมิกซ์	ค่าสีระบบ Hunter Lab			ความหนืด (cP)	overrun (%)
	ค่า L*	ค่า a*	ค่า b*		
ไม่ใช้โปรตีน	27.72^{a}±0.23	11.56^{b}±0.15	11.04^{a}±0.11	11.28^{a}±1.37	36.72^{a}±2.23
ใช้เคเซอีน	29.17^{b}±0.25	10.87^{a}±0.16	11.34^{a}±0.28	10.32^{a}±1.37	41.24^{a}±6.60
ใช้แอลบูมิน	33.32^{c}±0.49	11.93^{b}±0.86	13.04^{b}±0.22	175.20^{c}±23.91	58.69^{b}±6.53
ใช้โปรตีนถั่วเหลือง	42.45^{d}±0.60	15.55^{c}±0.34	14.89^{c}±0.32	64.50^{b}±14.51	52.92^{b}±2.12

หมายเหตุ : 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 6 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$)

2.2) ผลการวิเคราะห์ความหนืด

ผลจากการวิเคราะห์ความหนืด (viscosity) ด้วยความเร็วรอบ 200 rpm พบว่า ตัวอย่างเชอร์เบทแครอทมิกซ์ที่ใช้โปรตีนทั้ง 3 ชนิด มีค่าความหนืดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่างที่ใช้เคเซอีนมีค่าความหนืดไม่แตกต่างกับตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีน (ดังตารางที่ 4.5) อาจเนื่องจากผลของอุณหภูมิในขั้นตอนการพาสเจอไรซ์ที่ 85±0.5˚C นาน 2 นาที ทำให้แอลบูมิน และโปรตีนถั่วเหลืองเกิดการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน ดังนั้น สมบัติของโปรตีนจึงเปลี่ยนไปจากเดิมด้วย เช่น มีความหนืดเพิ่มขึ้น (นิธิยา, 2549) โดยแอลบูมิน โปรตีนถั่วเหลือง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และเคเซอีนจะเกิดการเสียสภาพธรรมชาติ เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 56˚C, 60 ˚C และ 160 - 200˚C ตามลำดับ (DeMan, 1990)

2.3) ผลการวิเคราะห์ค่า overrun

ผลการวิเคราะห์ค่า overrun ของตัวอย่างที่ใช้โปรตีนชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้โปรตีน พบว่า ตัวอย่างที่ใช้โปรตีนมีแนวโน้มของค่า overrun มากกว่าตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีน (ดังตารางที่ 4.5) แม้ว่าค่า overrun ของตัวอย่างที่ใช้เคเซอีนจะไม่แตกต่างกับตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีนก็ตาม สอดคล้องผลการวิจัยของ Dervisoglu (2006) ที่ได้ศึกษาการใช้ hazelnut flour (ร้อยละ1.5, 3 และ 4.5) และ hazelnut kernel skin (ร้อยละ1, 2 และ 3) ในไอศกรีมวนิลา พบว่าตัวอย่างที่ใช้ hazelnut kernel skin ให้ค่า overrun สูงที่สุด โดยค่า overrun ที่ได้ระหว่างตัวอย่างที่ใช้ hazelnut kernel skin และ hazelnut flour ไม่มีความแตกต่างกัน แต่ผลจากการใช้แหล่งของโปรตีนทั้ง 2 อย่าง ให้ค่า overrun มากกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ด้วยคุณสมบัติของโปรตีน คือ มีสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ สมบัติในการขึ้นฟู สมบัติในการอุ้มน้ำ การเพิ่มความหนืดของส่วนผสม ทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กที่คงที่ (นภาศรี, 2526) ส่วนการที่ตัวอย่างที่ใช้เคเซอีนมีค่า overrun น้อยกว่าตัวอย่างที่ใช้แอลบูมิน และโปรตีนถั่วเหลืองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อาจเนื่องจากความหนืดของตัวอย่างที่ใช้แอลบูมินและโปรตีนถั่วเหลืองที่เพิ่มขึ้น เพราะการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนไปบางส่วน ซึ่งโปรตีนที่เสียสภาพธรรมชาตินี้จะคลายตัวออกเป็นสายยาวและเกาะตัวกันเป็นตาข่ายรอบๆ ฟองอากาศ ทำให้โฟมคงตัวดีขึ้น (นิธิยา, 2549)

3) ผลการวิเคราะห์ทางด้านโครงสร้างระดับจุลภาคของเชอร์เบทแครอท

3.1) ผลการวิเคราะห์ขนาดเฉลี่ยของ air cell

ผลการวิเคราะห์ขนาดเฉลี่ยของ air cell ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้โปรตีนชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้โปรตีน ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.6 พบว่า ตัวอย่างที่ใช้โปรตีนมีแนวโน้มขนาดเฉลี่ยของ air cell น้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีน แม้ว่าความหนืดของแต่ละตัวอย่างจะมีผลต่อขนาดเฉลี่ยของ air cell ด้วยเนื่องจากองค์ประกอบที่อยู่รอบๆ ฟองอากาศเป็น non-newtonian fluid (Aime และคณะ, 2001) แต่ตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ศึกษาในตอนนี้ ไม่มีส่วนผสมของไขมัน ดังนั้น rheology ของ fluid ผสมรอบๆ ฟองอากาศ จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากโครงสร้างของ fluid ผสมของเชอร์เบททั่วไปที่มีไขมันน้อยกว่าไอศกรีมปกติอยู่แล้ว ด้วยเหตุนี้ ตัวอย่างที่ใช้โปรตีนทั้ง 3 ชนิด จึงน่าจะแสดงคุณสมบัติของโปรตีนต่อผลของขนาดเฉลี่ยของ air cellได้อย่างไม่สมบูรณ์ โดยเฉพาะหน้าที่การเป็นอิมัลซิไฟเออร์ ส่งผลให้ขนาดเฉลี่ยของ air cell ที่วิเคราะห์ได้ มีค่าใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ไม่ใช้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โปรตีน โดยจากการทดลอง ระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลเด่นชัดต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดเฉลี่ยของ air cell ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอททั้ง 4 ตัวอย่าง

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ขนาดเฉลี่ยของ air cell ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้โปรตีนชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้โปรตีน ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา

ตัวอย่าง เชอร์เบทแครอท	ขนาดเฉลี่ยของ air cell (μm)				
	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
ไม่ใช้โปรตีน	96.04^{Aa}±11.14	90.95^{Aa}±24.42	90.00^{Aa}±2.06	99.53^{Ba}±20.28	98.74^{Aa}±8.71
ใช้เคเซอีน	96.28^{Ab}±10.15	88.63^{Aab}±9.55	90.46^{Aab}±6.92	82.26^{ABa}±3.66	94.56^{Ab}±8.38
ใช้แอลบูมิน	87.95^{Aabc}±10.74	81.53^{Aab}±10.81	79.16^{Aa}±5.39	98.63^{Bc}±6.81	93.37^{Abc}±8.91
ใช้โปรตีนถั่วเหลือง	86.05^{Aab}±7.24	78.24^{Aa}±4.38	88.95^{Aab}±14.73	78.16^{Aa}±3.52	91.72^{Ab}±6.14

หมายเหตุ : 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 6 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$)

3) ตัวอักษรใหญ่เป็นการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างเชอร์เบทแครอทในแต่ละวันที่ทำการทดลอง และตัวอักษรเล็กเป็นการเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลาที่เก็บรักษาของแต่ละตัวอย่างเชอร์เบทแครอท

3.2) ผลการวิเคราะห์ขนาดเฉลี่ยของผลึกน้ำแข็ง

ผลการวิเคราะห์ขนาดเฉลี่ยของผลึกน้ำแข็งของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้โปรตีนชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้โปรตีน ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.7 พบว่า ตัวอย่างที่ใช้เคเซอีน และโปรตีนถั่วเหลืองมีแนวโน้มขนาดเฉลี่ยของผลึกน้ำแข็งน้อยที่สุด ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนตัวอย่างที่ใช้แอลบูมินมีขนาดเฉลี่ยของผลึกน้ำแข็งไม่แตกต่างกับตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีน อาจเนื่องจากผลของปริมาณของแข็งในแต่ละตัวอย่างที่มีอิทธิพลต่อการเกิดผลึกน้ำแข็ง โดยตัวอย่างที่มีปริมาณของแข็งมาก ขนาดเฉลี่ยของผลึกน้ำแข็งจะเล็กลง เพราะมีที่ว่างของการเกิดผลึกน้ำแข็งน้อยลง ซึ่งจากการทดลอง ระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลเด่นชัดต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดเฉลี่ยของผลึกน้ำแข็งของตัวอย่างเชอร์เบทแครอททั้ง 4 ตัวอย่าง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ขนาดเฉลี่ยของผลึกน้ำแข็งของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้โปรตีนชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้โปรตีน ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา

ตัวอย่างเชอร์เบทแครอท	ขนาดเฉลี่ยของผลึกน้ำแข็ง (μm)				
	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
ไม่ใช้โปรตีน	38.38^{Bb}±3.30	16.07^{Aa}±3.38	50.10^{Bc}±8.87	40.90^{Bb}±4.10	44.33^{Abc}±5.99
ใช้เคเซอีน	30.22^{Aab}±2.95	20.74^{Aa}±3.67	42.00^{ABcd}±1.88	34.22^{ABbc}±8.21	44.85^{Ad}±2.87
ใช้แอลบูมิน	32.26^{ABb}±5.11	15.13^{Aa}±1.23	50.04^{Bd}±1.88	41.38^{Bc}±4.36	41.95^{Ac}±5.71
ใช้โปรตีนถั่วเหลือง	30.33^{Aa}±7.02	31.41^{Ba}±2.62	30.53^{Aa}±2.06	28.98^{Aa}±4.71	39.04^{Ab}±2.41

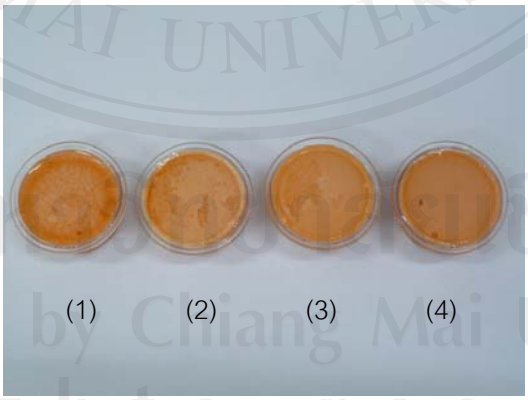
หมายเหตุ : 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 6 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$)

3) ตัวอักษรใหญ่เป็นการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างเชอร์เบทแครอทในแต่ละวันที่ทำการทดลอง และตัวอักษรเล็กเป็นการเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลาที่เก็บรักษาของแต่ละตัวอย่างเชอร์เบทแครอท

4) ผลการวิเคราะห์ทางด้านกายภาพของเชอร์เบทแครอท

ลักษณะของตัวอย่างเชอร์เบทแครอททั้ง 4 ตัวอย่าง แสดงให้เห็นดังภาพที่ 4.1 โดยแต่ละตัวอย่างมีลักษณะสีส้มตามสีของแคโรทีนอยด์ที่เป็นรงควัตถุหลักในน้ำแครอท และเมื่อนำทุกตัวอย่างมาวัดค่าสี ผลที่ได้มีดังนี้ คือ



ภาพที่ 4.1 ตัวอย่างเชอร์เบทแครอททั้ง 4 ตัวอย่าง;
(1) ตัวอย่างไม่ใช้โปรตีน, (2) ตัวอย่างใช้เคเซอีน, (3) ตัวอย่างใช้แอลบูมิน,
(4) ตัวอย่างใช้โปรตีนถั่วเหลือง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1) ผลการวิเคราะห์ค่าสีระบบ Hunter Lab

4.1.1) ผลการวิเคราะห์ค่าความสว่างของสี (ค่า L*) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้โปรตีนชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้โปรตีน ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.8 โดยภาพรวมพบว่า ตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้โปรตีนทั้ง 3 ชนิด มีค่าความสว่างของสี (ค่า L*) ไม่แตกต่างกัน โดยตัวอย่างที่ใช้โปรตีนจะมีค่าความสว่างของสี (ค่า L*) มากกว่าตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าความสว่างของสี (ค่า L*) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทมิกซ์ และสอดคล้องกับการสังเกตจากภาพตัวอย่างเชอร์เบทแครอททั้ง 4 ตัวอย่าง (ดังภาพที่ 4.1) ซึ่งแม้ว่าตัวอย่างเชอร์เบทแครอทมิกซ์ที่ใช้โปรตีนทั้ง 3 ชนิด จะมีค่าความสว่างของสี (ค่า L*) ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่เมื่อผ่านขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างให้เป็นเชอร์เบทแล้ว พบว่า ความเข้มของสีของโปรตีนแต่ละชนิดที่ต่างกันไม่มีผลทำให้ค่าความสว่างของสี (ค่า L*) ของตัวอย่างเชอร์เบทที่ได้แตกต่างกัน และจากการทดลอง ระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลเด่นชัดต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของสี (ค่า L*) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอททั้ง 4 ตัวอย่าง

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ค่าความสว่างของสี (ค่า L*) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้โปรตีนชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้โปรตีน ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา

ตัวอย่างเชอร์เบทแครอท	ค่า L*				
	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
ไม่ใช้โปรตีน	$59.18^{Ab} \pm 0.94$	$57.05^{Aa} \pm 0.94$	$58.07^{Aab} \pm 1.30$	$57.61^{Aa} \pm 1.04$	$58.15^{Aab} \pm 1.12$
ใช้เคเซอีน	$62.83^{Bc} \pm 1.32$	$60.07^{Bab} \pm 0.45$	$60.67^{Bab} \pm 0.81$	$59.58^{ABa} \pm 1.15$	$61.48^{Bbc} \pm 1.25$
ใช้แอลบูมิน	$61.77^{Ba} \pm 2.34$	$60.72^{Ba} \pm 2.20$	$61.31^{Ba} \pm 1.15$	$61.59^{Ba} \pm 1.40$	$62.83^{BCa} \pm 1.91$
ใช้โปรตีนถั่วเหลือง	$62.85^{Bab} \pm 0.99$	$61.43^{Ba} \pm 0.81$	$61.28^{Ba} \pm 2.24$	$61.26^{Ba} \pm 2.08$	$64.47^{Cb} \pm 1.35$

หมายเหตุ : 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 6 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$)

3) ตัวอักษรใหญ่เป็นการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างเชอร์เบทแครอทในแต่ละวันที่ทำการทดลอง และตัวอักษรเล็กเป็นการเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลาที่เก็บรักษาของแต่ละตัวอย่างเชอร์เบทแครอท

4.1.2) ผลการวิเคราะห์ค่าสีแดง (ค่า a*) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้โปรตีนชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้โปรตีน ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา โดยภาพรวมพบว่า ตัวอย่างเชอร์เบทแครอททั้ง 4 ตัวอย่าง มีค่าสีแดงใกล้เคียงกัน แต่ตัวอย่างที่ใช้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โปรตีนถั่วเหลืองมีค่าสีแดงน้อยกว่าตัวอย่างที่ใช้แอลบูมินมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ดังตารางที่ 4.9) อาจเนื่องจากโปรตีนถั่วเหลืองมีลักษณะสีเหลืองเข้มกว่าแอลบูมิน จึงทำให้ตัวอย่างที่ได้มีค่าสีแดงลดลงตามความเข้มของสีเหลืองของวัตถุดิบที่เพิ่มขึ้น และจากการทดลอง ระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีแดงของตัวอย่างเชอร์เบทแครอททั้ง 4 ตัวอย่าง

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ค่าสีแดง (ค่า a*) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้โปรตีนชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้โปรตีน ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา

ตัวอย่าง เชอร์เบทแครอท	ค่า a*				
	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
ไม่ใช้โปรตีน	$21.47^{Ba} \pm 0.57$	$21.73^{ABa} \pm 0.61$	$22.30^{Ba} \pm 0.60$	$21.42^{ABa} \pm 0.86$	$21.47^{ABa} \pm 0.74$
ใช้เคเซอีน	$20.58^{Aa} \pm 0.43$	$21.27^{Aab} \pm 0.72$	$21.65^{Bb} \pm 0.70$	$21.55^{ABb} \pm 0.88$	$20.79^{ABab} \pm 0.74$
ใช้แอลบูมิน	$21.76^{Ba} \pm 0.71$	$22.41^{Ba} \pm 0.56$	$22.30^{Ba} \pm 0.86$	$22.30^{Ba} \pm 0.96$	$21.86^{Ba} \pm 0.83$
ใช้โปรตีนถั่วเหลือง	$21.04^{ABa} \pm 0.74$	$21.39^{Aa} \pm 0.92$	$20.07^{Aa} \pm 0.82$	$20.53^{Aa} \pm 0.89$	$20.36^{Aa} \pm 1.31$

หมายเหตุ : 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 6 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$)

3) ตัวอักษรใหญ่เป็นการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างเชอร์เบทแครอทในแต่ละวันที่ทำการทดลอง และตัวอักษรเล็กเป็นการเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลาที่เก็บรักษาของแต่ละตัวอย่างเชอร์เบทแครอท

4.1.3) ผลการวิเคราะห์ค่าสีเหลือง (ค่า b*) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้โปรตีนชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้โปรตีน ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา โดยภาพรวมพบว่า ตัวอย่างที่ใช้แอลบูมินมีค่าสีเหลืองมากกว่าตัวอย่างอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ดังตารางที่ 4.10) โดยตัวอย่างที่ใช้เคเซอีน และโปรตีนถั่วเหลืองมีค่าสีเหลืองใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีน อาจเนื่องจากตัวอย่างที่ใช้แอลบูมินมีปริมาณเถ้าร้อยละ 0.35 มากกว่าตัวอย่างอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ดังตารางที่ ฉ.1) ซึ่งแม้ว่าตัวอย่างเชอร์เบทแครอทมิกซ์ที่ใช้โปรตีนทั้ง 3 ชนิด จะมีค่าสีเหลือง (ค่า b*) ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่เมื่อผ่านขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างให้เป็นเชอร์เบทแล้ว พบว่า ความเข้มของสีของโปรตีนแต่ละชนิดที่ต่างกันไม่มีผลต่อค่าสีเหลือง (ค่า b*) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ได้ และจากการทดลอง เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ค่าสีเหลือง (ค่า b*) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอททั้ง 4 ตัวอย่าง ที่วิเคราะห์ได้มีแนวโน้มลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ค่าสีเหลือง (ค่า b*) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้โปรตีนชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้โปรตีน ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา

ตัวอย่าง	ค่า b*				
เชอร์เบทแครอท	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
ไม่ใช้โปรตีน	20.62^{Ab}±0.63	20.77^{Ab}±0.25	20.56^{Ab}±0.96	20.32^{Aab}±0.61	19.70^{Aa}±0.48
ใช้เคเซอีน	20.90^{Aab}±0.67	21.54^{Bab}±0.85	21.72^{Bb}±1.01	21.52^{BCab}±0.95	20.42^{Aa}±0.94
ใช้แอลบูมิน	22.14^{Bab}±0.32	22.62^{Cb}±0.40	22.25^{Bab}±0.88	22.33^{Cab}±0.73	21.74^{Ba}±0.70
ใช้โปรตีนถั่วเหลือง	21.15^{Ac}±0.43	20.89^{ABbc}±0.71	20.03^{Aa}±0.48	20.72^{ABabc}±0.66	20.33^{Aab}±0.72

หมายเหตุ : 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 6 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$)

3) ตัวอักษรใหญ่เป็นการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างเชอร์เบทแครอทในแต่ละวันที่ทำการทดลอง และตัวอักษรเล็กเป็นการเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลาที่เก็บรักษาของแต่ละตัวอย่างเชอร์เบทแครอท

4.2) ผลการวิเคราะห์การละลาย

4.2.1) ผลการวิเคราะห์ระยะเวลาที่ตัวอย่างหยดแรกละลาย (first dropping time) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้โปรตีนชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้โปรตีน ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.11 พบว่า ตัวอย่างที่ใช้แอลบูมิน และโปรตีนถั่วเหลืองมีแนวโน้มของระยะเวลาที่ตัวอย่างหยดแรกละลายช้าที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนตัวอย่างที่ใช้เคเซอีนมีระยะเวลาที่ตัวอย่างหยดแรกละลายไม่แตกต่างกับตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีน อาจเนื่องจากตัวอย่างที่ใช้แอลบูมิน และโปรตีนถั่วเหลืองมีค่าความหนืดสูง เพราะการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนไปบางส่วน ซึ่งโปรตีนที่เสียสภาพธรรมชาตินี้จะคลายตัวออกเป็นสายยาวและเกาะตัวกันเป็นตาข่ายรอบๆ ฟองอากาศ ทำให้โฟมคงตัวดีขึ้น (นิธิยา, 2549) ดังนั้น ระยะเวลาที่ตัวอย่างหยดแรกละลายจึงช้าลง ส่วนตัวอย่างที่ใช้เคเซอีนมีค่าความหนืดไม่แตกต่างกับตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีน จึงมีระยะเวลาที่ตัวอย่างหยดแรกละลายไม่แตกต่างกัน และจากการทดลอง ระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลเด่นชัดต่อการเปลี่ยนแปลงของระยะเวลาที่ตัวอย่างหยดแรกละลายของตัวอย่างเชอร์เบทแครอททั้ง 4 ตัวอย่าง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ระยะเวลาที่ตัวอย่างหยดแรกละลาย (first dropping time) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้โปรตีนชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้โปรตีน ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา

ตัวอย่างเชอร์เบทแครอท	ระยะเวลาที่ตัวอย่างหยดแรกละลาย (min)				
	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
ไม่ใช้โปรตีน	13.26^{Aa}±4.54	12.79^{Aa}±0.89	14.22^{Aa}±1.06	15.14^{Aa}±1.91	16.72^{Aa}±0.61
ใช้เคเซอีน	16.02^{ABa}±3.63	15.85^{Aa}±0.55	14.01^{Aa}±0.74	16.33^{Aa}±0.10	15.59^{Aa}±0.41
ใช้แอลบูมิน	25.98^{BCa}±4.93	26.30^{Ba}±2.48	25.84^{Ba}±0.50	26.00^{Ba}±0.70	30.26^{Ca}±1.58
ใช้โปรตีนถั่วเหลือง	31.78^{Cd}±1.00	24.16^{Ba}±0.11	30.18^{Ccd}±1.29	28.23^{Bbc}±1.42	25.92^{Bab}±0.47

หมายเหตุ : 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$)

3) ตัวอักษรใหญ่เป็นการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างเชอร์เบทแครอทในแต่ละวันที่ทำการทดลอง และตัวอักษรเล็กเป็นการเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลาที่เก็บรักษาของแต่ละตัวอย่างเชอร์เบทแครอท

4.2.2) ผลการวิเคราะห์อัตราการละลาย (melting rate) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้โปรตีนชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้โปรตีน ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.12 พบว่า ตัวอย่างที่ใช้แอลบูมิน และโปรตีนถั่วเหลืองมีแนวโน้มของอัตราการละลายช้าที่สุด โดยมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนตัวอย่างที่ใช้เคเซอีนมีอัตราการละลายไม่แตกต่างกับตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีน ยกเว้นผลการวิเคราะห์อัตราการละลายในสัปดาห์ที่ 4 ของการเก็บรักษา ซึ่งตัวอย่างเชอร์เบทแครอททั้ง 4 ตัวอย่าง มีอัตราการละลายสอดคล้องกับผลของระยะเวลาที่ตัวอย่างหยดแรกละลาย โดยนอกจากอิทธิพลของความหนืดที่มีผลต่อการละลายของแต่ละตัวอย่างแล้ว จากการวิจัยของ Sofjan และ Hartel (2004) พบว่า ค่า overrun สูงจะทำให้เกิดความแตกต่างของอัตราการถ่ายเทความร้อน จากปริมาณอากาศที่มากขึ้น เนื่องจากอากาศเป็นฉนวนที่ดีและทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนของไอศกรีมช้าลง แต่อย่างไรก็ตาม Huse และคณะ (1984) รายงานว่า ความแปรผันส่วนใหญ่ของความต้านทานการละลายระหว่างกระบวนการผลิต คือ ขั้นตอนการแช่เยือกแข็ง ซึ่งเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ตัวอย่างเชอร์เบทแครอททั้ง 4 ตัวอย่าง มีแนวโน้มของอัตราการละลายเร็วขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์อัตราการละลาย (melting rate) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้โปรตีนชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้โปรตีน ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา

ตัวอย่างเชอร์เบทแครอท	อัตราการละลาย (g/min)				
	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
ไม่ใช้โปรตีน	1.44^{ABa}±0.02	1.66^{Bb}±0.10	1.64^{Bb}±0.03	1.82^{Ac}±0.07	1.79^{Bc}±0.04
ใช้เคเซอีน	1.51^{Ba}±0.06	1.67^{Bb}±0.06	1.76^{Bbc}±0.04	1.86^{Acd}±0.09	1.92^{Cd}±0.04
ใช้แอลบูมิน	1.57^{Bb}±0.11	1.52^{ABb}±0.09	1.28^{Aa}±0.06	1.92^{Ac}±0.09	1.52^{Ab}±0.04
ใช้โปรตีนถั่วเหลือง	1.32^{Aa}±0.03	1.44^{Aa}±0.01	1.68^{Bb}±0.08	1.84^{Ac}±0.08	1.87^{BCc}±0.02

หมายเหตุ : 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$)

3) ตัวอักษรใหญ่เป็นการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างเชอร์เบทแครอทในแต่ละวันที่ทำการทดลอง และตัวอักษรเล็กเป็นการเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลาที่เก็บรักษาของแต่ละตัวอย่างเชอร์เบทแครอท

ตารางที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ความแข็ง (hardness) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้โปรตีนชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้โปรตีน ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา

ตัวอย่างเชอร์เบทแครอท	ค่า hardness (mm)				
	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
ไม่ใช้โปรตีน	4.11^{Aa}±0.47	7.50^{Bb}±0.57	3.46^{Aa}±0.41	7.72^{Abc}±0.83	8.46^{Bc}±0.86
ใช้เคเซอีน	11.30^{Cd}±1.29	8.18^{Bb}±0.92	3.71^{ABa}±0.73	9.55^{Bc}±0.86	7.82^{Bb}±0.91
ใช้แอลบูมิน	8.28^{Bc}±0.93	10.40^{Cd}±1.31	2.94^{Aa}±0.81	8.12^{Ac}± 0.25	6.47^{Ab}±1.27
ใช้โปรตีนถั่วเหลือง	11.21^{Cc}±1.28	4.03^{Aa}±0.98	4.54^{Ba}±0.77	6.95^{Ab}±1.63	7.64^{ABb}±0.94

หมายเหตุ : 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 6 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละแถว หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$)

3) ตัวอักษรใหญ่เป็นการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างเชอร์เบทแครอทในแต่ละวันที่ทำการทดลอง และตัวอักษรเล็กเป็นการเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลาที่เก็บรักษาของแต่ละตัวอย่างเชอร์เบทแครอท

4.3) ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส

4.3.1) ผลการวิเคราะห์ความแข็ง (hardness) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้โปรตีนชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้โปรตีน ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.13 พบว่า ตัวอย่างที่ใช้แอลบูมินมีความแข็งใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีน ซึ่งตัวอย่างที่ใช้เคเซอีนมีความแข็งน้อยกว่าทั้ง 2 ตัวอย่าง ส่วนตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองมีความแข็งก่ำกึ่งระหว่างตัวอย่างที่แข็งที่สุดกับตัวอย่างที่อ่อนที่สุด เนื่องจากตัวอย่างที่ใช้แอลบูมินมีขนาดเฉลี่ยของผลึกน้ำแข็งไม่แตกต่างกับตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีน จึงมีความแข็งใกล้เคียงกัน ส่วนตัวอย่างที่ใช้เคเซอีน และโปรตีนถั่วเหลืองมีแนวโน้มขนาดเฉลี่ยของผลึกน้ำแข็งน้อยที่สุด จึงมีความแข็งน้อยลง และจากการทดลอง ระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลเด่นชัดต่อการเปลี่ยนแปลงความแข็งของตัวอย่างเชอร์เบทแครอททั้ง 4 ตัวอย่าง

ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ความคงตัว (firmness) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้โปรตีนชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้โปรตีน ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา

ตัวอย่างเชอร์เบทแครอท	ค่า firmness (N)				
	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
ไม่ใช้โปรตีน	6.95^{Cb}±0.91	4.67^{Ba}±1.08	9.50^{Cc}±0.47	7.39^{Bb}±1.24	8.82^{Ac}±0.98
ใช้เคเซอีน	3.03^{Aa}±0.28	3.53^{ABa}±0.86	9.92^{Cc}±0.85	3.73^{Aa}±0.96	8.20^{Ab}±0.86
ใช้แอลบูมิน	5.42^{Bb}±0.60	3.52^{ABa}±0.98	4.15^{Aa}±0.54	9.65^{Cc}±0.90	9.05^{Ac}±0.41
ใช้โปรตีนถั่วเหลือง	3.61^{Aa}±0.97	3.13^{Aa}±0.81	8.16^{Bb}±0.91	11.29^{Dc}±1.09	10.51^{Bc}±0.72

หมายเหตุ : 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 6 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$)

3) ตัวอักษรใหญ่เป็นการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างเชอร์เบทแครอทในแต่ละวันที่ทำการทดลอง และตัวอักษรเล็กเป็นการเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลาที่เก็บรักษาของแต่ละตัวอย่างเชอร์เบทแครอท

4.3.2) ผลการวิเคราะห์ความคงตัว (firmness) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้โปรตีนชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้โปรตีน ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.14 พบว่า ตัวอย่างที่ใช้เคเซอีน และตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีนมีแนวโน้มของความคงตัวมากที่สุดในช่วง 2 สัปดาห์แรกของการเก็บรักษา แต่ในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 ของการเก็บรักษา ตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองมีความคงตัวมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และโดยภาพรวมพบว่า ตัวอย่างที่ใช้แอลบูมินมีความคงตัวน้อยที่สุด เนื่องจากตัวอย่างที่ใช้เคเซอีนและตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีนมีค่า overrun ไม่แตกต่างกัน จึงมีผลด้านความคงตัวคล้ายกัน ซึ่งการที่ตัวอย่างมีค่า overrun ต่ำ จึงมีความแน่นเนื้อมาก ด้วยมีปริมาณผลึกน้ำแข็งที่มากกว่าตัวอย่างอื่น ทำให้ตัวอย่างที่ได้มีความคงตัวสูง โดยตัวอย่างที่ใช้แอลบูมินมีค่า overrun สูงที่สุด แม้จะไม่มีความแตกต่างกับตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลือง ส่งผลให้ตัวอย่างที่ใช้แอลบูมินมีความคงตัว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

น้อยกว่าตัวอย่างอื่น และเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น พบว่า ตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองที่มีค่า overrun ในระดับปานกลาง เมื่อเปรียบเทียบกับอีก 3 ตัวอย่าง มีความคงตัวเพิ่มขึ้นมากกว่าตัวอย่างอื่น แสดงว่า ตัวอย่างที่มีค่า overrun สูงจะมีอิทธิพลทำให้ตัวอย่างที่ได้มีความคงตัวน้อย ส่วนตัวอย่างที่มีค่า overrun ต่ำจะมีอิทธิพลทำให้ตัวอย่างที่ได้มีความคงตัวสูงในช่วงแรกของการเก็บรักษา แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ตัวอย่างที่มีค่า overrun ระดับปานกลางจะมีอิทธิพลทำให้ตัวอย่างที่ได้มีความคงตัวเพิ่มขึ้น ดีกว่าตัวอย่างที่มีค่า overrun ต่ำ ซึ่งจากการทดลองระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลเด่นชัดต่อการเปลี่ยนแปลงความคงตัวของตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีน ตัวอย่างที่ใช้เคเซอีน และแอลบูมิน แต่ระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อค่าความคงตัวของตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลือง ซึ่งจะมีความคงตัวเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น

ตารางที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ความเหนียว (tackiness) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้โปรตีนชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้โปรตีน ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา

ตัวอย่าง เชอร์เบทแครอท	ค่า tackiness (N)				
	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
ไม่ใช้โปรตีน	$-0.21^{Ab}\pm0.03$	$-3.07^{Aa}\pm0.38$	$-0.17^{BCb}\pm0.02$	$-0.18^{ABb}\pm0.02$	$-0.17^{Ab}\pm0.04$
ใช้เคเซอีน	$-0.15^{Bb}\pm0.02$	$-2.66^{Aa}\pm0.35$	$-0.28^{Ab}\pm0.06$	$-0.17^{Bb}\pm0.03$	$-0.20^{Ab}\pm0.04$
ใช้แอลบูมิน	$-0.21^{Ab}\pm0.03$	$-1.10^{Ba}\pm0.57$	$-0.13^{Cb}\pm0.03$	$-0.22^{Ab}\pm0.04$	$-0.20^{Ab}\pm0.01$
ใช้โปรตีนถั่วเหลือง	$-0.19^{Aa}\pm0.02$	$-0.20^{Ca}\pm0.04$	$-0.21^{Ba}\pm0.02$	$-0.19^{ABa}\pm0.02$	$-0.20^{Aa}\pm0.02$

หมายเหตุ : 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 6 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$)

3) ตัวอักษรใหญ่เป็นการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างเชอร์เบทแครอทในแต่ละวันที่ทำการทดลอง และตัวอักษรเล็กเป็นการเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลาที่เก็บรักษาของแต่ละตัวอย่างเชอร์เบทแครอท

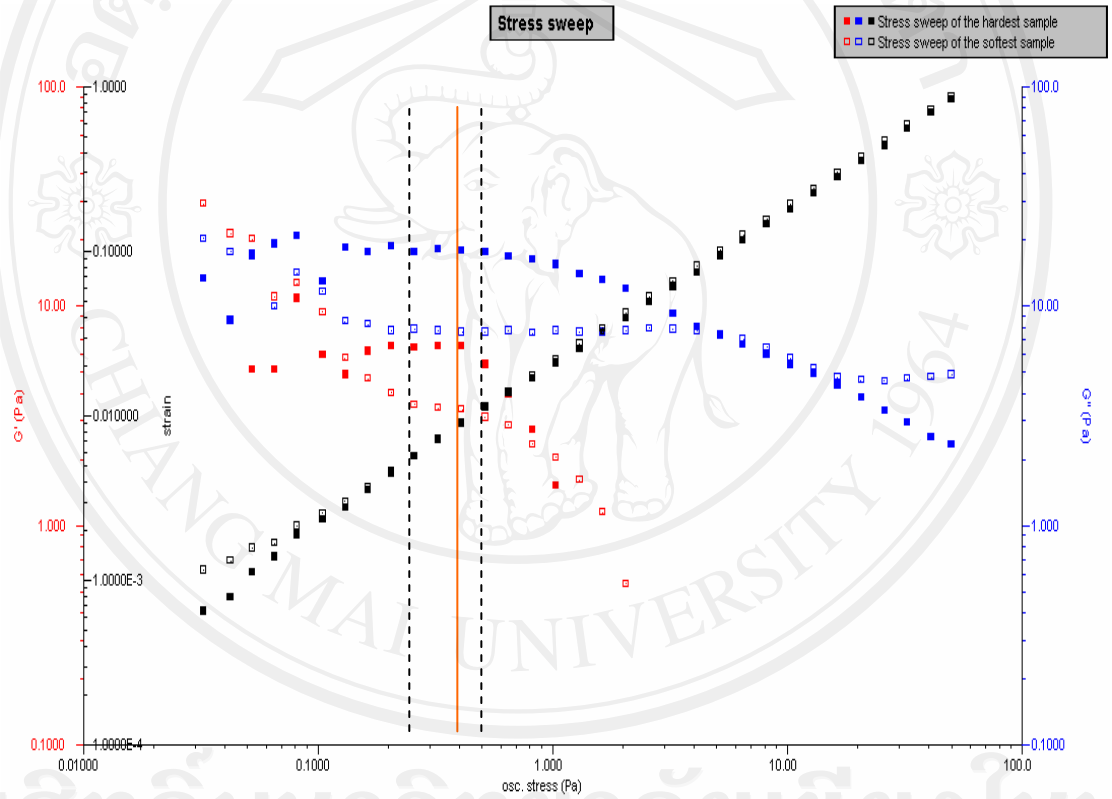
4.3.3) ผลการวิเคราะห์ความเหนียว (tackiness) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้โปรตีนชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้โปรตีน ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.15 ซึ่งค่า tackiness (N) เป็นค่าที่บ่งบอกถึง ค่าแรงด้านลบที่ทำให้ตัวอย่างยึดติดกับ probe เมื่อถอน probe ขึ้นหลังจากทำให้ตัวอย่างเสียรูป เพื่อศึกษาความต้านทานแรงที่ใช้ในการยึดติด โดยตัวอย่างเชอร์เบทแครอททั้ง 4 ตัวอย่าง มีแนวโน้มความเหนียวใกล้เคียงกัน แม้ว่าผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทมิกซ์ทั้ง 4 ตัวอย่าง จะมีค่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แตกต่างกันก็ตาม และจากการทดลอง ระยะเวลาในการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความเหนียวของตัวอย่างเชอร์เบทแครอททั้ง 4 ตัวอย่าง

4.4) ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางรีโอโลยี

ทำการทดสอบหาความเค้นที่เหมาะสม ด้วยวิธี stress sweep เพื่อใช้ในการทำนายช่วงที่ตัวอย่างเชอร์เบทแครอทแสดงสมบัติวิสโคอิลาสติกเชิงเส้น (linear viscoelastic) โดยกำหนดให้มีความถี่ (frequency) 1 Hz ที่ช่วงความเค้นสั่น(oscillating stress) 0.03259 – 50 Pa



ภาพที่ 4.2 สมบัติวิสโคอิลาสติกเชิงเส้นของเชอร์เบทแครอท

จากภาพที่ 4.2 ตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่มีความแข็งสูงสุด และอ่อนที่สุด จะแสดงสมบัติวิสโคอิลาสติกเชิงเส้นในช่วงความเค้นสั่นประมาณ 0.15 - 4 Pa จึงทำการเลือกค่าความเค้นสั่นที่ 0.3259 Pa ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุด เพื่อใช้ในการศึกษาคุณสมบัติทางรีโอโลยี โดยวิธี frequency sweep step ที่ความถี่ 0.01-100 Hz

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางรีโอโลยีของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้โปรตีนชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้โปรตีน

ตัวอย่าง เชอร์เบทแครอท	G' (Pa)	G" (Pa)	tan δ	η* (Pa.s)
ไม่ใช้โปรตีน	340.28^{c}±64.15	76.52^{b}±18.17	0.25^{b}±0.04	178.28^{c}±33.33
ใช้เคเซอีน	126.64^{a}±20.20	46.80^{a}±8.86	0.36^{c}±0.03	74.70^{a}±8.37
ใช้แอลบูมิน	807.24^{d}±90.82	147.82^{c}±17.24	0.19^{a}±0.01	414.20^{d}±45.97
ใช้โปรตีนถั่วเหลือง	239.14^{b}±23.57	43.23^{a}±4.18	0.18^{a}±0.01	122.32^{b}±12.01

หมายเหตุ : 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 6 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$)

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางรีโอโลยีของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้โปรตีนชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้โปรตีน โดยเลือกค่าของคุณสมบัติทางรีโอโลยีที่ความถี่ 0.3162 Hz เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบและการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.16 โดยตัวอย่างเชอร์เบทแครอททั้ง 4 ตัวอย่าง มีลักษณะเป็นของแข็ง จึงมีค่า elastic modulus (G') มากกว่าค่า viscous modulus (G") ดังนั้น ผลการวิเคราะห์ค่า loss tangent (tan δ) เพื่อหาสัดส่วนของการแสดงสมบัติการไหลหนืดต่อสมบัติการยืดหยุ่น จึงพบว่า ตัวอย่างเชอร์เบทแครอททั้ง 4 ตัวอย่าง มีสมบัติการยืดหยุ่นมากกว่าสมบัติการไหลหนืด โดยถ้าค่า tan δ มากกว่า 1 จะแสดงว่า ตัวอย่างมีการไหลหนืดมากกว่าการยืดหยุ่น (Rosenthal, 1999) ซึ่งการที่ตัวอย่างที่ใช้แอลบูมิน และโปรตีนถั่วเหลืองมีค่า tan δ น้อยกว่าตัวอย่างอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จึงมีแนวโน้มของอัตราการละลายช้าที่สุด ส่วนค่า elastic modulus (G') ที่แตกต่างกันของตัวอย่างเชอร์เบทแครอททั้ง 4 ตัวอย่าง สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ความแข็งของแต่ละตัวอย่าง โดยตัวอย่างที่ใช้เคเซอีนมีความแข็งน้อย จึงมีค่า elastic modulus (G') น้อยกว่าตัวอย่างอื่น และผลจากการวิเคราะห์ค่า viscous modulus (G") น่าจะมีความสัมพันธ์กับขนาดเฉลี่ยของผลึกน้ำแข็ง เนื่องจากตัวอย่างที่ใช้เคเซอีน และโปรตีนถั่วเหลืองมีแนวโน้มขนาดเฉลี่ยของผลึกน้ำแข็งน้อยที่สุด ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน จึงมีค่า viscous modulus (G") ไม่แตกต่างกัน

นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดเชิงซ้อน (dynamic viscosity; η*) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอททั้ง 4 ตัวอย่าง พบว่า ตัวอย่างที่ใช้แอลบูมินมีค่า dynamic viscosity (η*) มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) รองลงมา คือ ตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีน ตัวอย่างที่ใช้โปรตีน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ถั่วเหลือง และเคเซอีน ตามลำดับ เช่นเดียวกับผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield viscometer ยกเว้นผลของตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีนที่มีค่า dynamic viscosity (η^*) มากกว่าตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลือง แต่ค่าความหนืดที่วิเคราะห์ได้จากเครื่อง Brookfield viscometer มีค่าน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตอนที่ 3 ผลของชนิดไขมันที่มีต่อโครงสร้างระดับจุลภาคและลักษณะทางกายภาพของเชอร์เบทแครอท

1) ผลการวิเคราะห์ทางด้านเคมีของเชอร์เบทแครอทมิกซ์

1.1) ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด

เมื่อนำตัวอย่างเชอร์เบทแครอทมิกซ์ทั้ง 4 ตัวอย่าง มาวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด (total acidity) ในรูปของกรดแลคติก พบว่า มีค่าไม่แตกต่างกัน (ดังตารางที่ 4.17) ซึ่งปริมาณที่วิเคราะห์ได้ อยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ตามมาตรฐาน คือ ผลิตภัณฑ์เชอร์เบทควรมีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ในรูปของกรดแลคติก อย่างน้อยร้อยละ 0.35 เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นรสฝาด (Marshall และ Arbuckle, 1996)

1.2) ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมด

ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมด (total soluble solid) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทมิกซ์ที่ใช้ไขมันทั้ง 3 ชนิด พบว่า มีค่าไม่แตกต่างกัน แต่ตัวอย่างที่ไม่ใช้ไขมันมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมดน้อยกว่าตัวอย่างที่ใช้ไขมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ดังตารางที่ 4.17) เนื่องจากส่วนผสมของตัวอย่างที่ไม่ใช้ไขมันมีตัวทำลาย คือ น้ำ ในปริมาณมากกว่าตัวอย่างที่ใช้ไขมัน

1.3) ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมด

ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solid) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทมิกซ์ที่ใช้ไขมันทั้ง 3 ชนิด พบว่า มีค่าใกล้เคียงกัน แม้ว่าตัวอย่างที่ใช้น้ำมันปาล์มจะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดมากกว่าตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมและน้ำมันมะพร้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ดังตารางที่ 4.17) ส่วนตัวอย่างที่ไม่ใช้ไขมัน มีปริมาณของแข็งทั้งหมดน้อยกว่าตัวอย่างที่ใช้ไขมันอย่างเห็นได้ชัด โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากส่วนผสมของตัวอย่างที่ไม่ใช้ไขมันมีตัวทำลาย คือ น้ำ ในปริมาณมากกว่าตัวอย่างที่ใช้ไขมัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมด และปริมาณของแข็งทั้งหมดของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทมิกซ์ที่ใช้ไขมันชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้ไขมัน

ตัวอย่าง เชอร์เบทแครอทมิกซ์	ปริมาณกรด ทั้งหมด (%)^{ns}	TSS ($^{\circ}$Brix)	ของแข็งทั้งหมด (%)
ไม่ใช้ไขมัน	0.37±0.01	26.30^{a} ±0.28	24.24^{a} ±0.20
ใช้ไขมันนม	0.37±0.01	27.57^{b} ±0.26	26.30^{b} ±0.85
ใช้น้ำมันมะพร้าว	0.37±0.01	27.87^{b} ±0.37	26.59^{b} ±0.22
ใช้น้ำมันปาล์ม	0.36±0.01	27.97^{b} ±0.53	27.30^{c} ±0.51

หมายเหตุ : 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 6 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$)

3) เครื่องหมาย ^{ns} ในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.18 ผลการวิเคราะห์ค่าสีระบบ Hunter Lab (L*, a* และ b*) ความหนืด และค่า overrun ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทมิกซ์ที่ใช้ไขมันชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้ไขมัน

ตัวอย่าง เชอร์เบทแครอทมิกซ์	ค่าสีระบบ Hunter Lab			ความหนืด (cP)	overrun (%)
	ค่า L*	ค่า a*	ค่า b*		
ไม่ใช้ไขมัน	27.23^{a}±0.30	11.50^{b}±0.32	9.86^{a}±0.21	7.25^{b}±1.07	38.76^{b}±5.65
ใช้ไขมันนม	40.79^{d}±0.69	3.16^{a}±0.40	21.35^{c}±1.49	8.32^{c}±1.14	36.49^{b}±0.92
ใช้น้ำมันมะพร้าว	36.68^{b}±0.83	3.00^{a}±0.59	19.19^{b}±1.03	5.18^{a}±0.56	36.59^{b}±3.22
ใช้น้ำมันปาล์ม	38.92^{c}±1.75	3.45^{a}±0.51	21.15^{c}±1.18	6.80^{b}±0.35	14.46^{a}±2.03

หมายเหตุ : 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 6 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2) ผลการวิเคราะห์ทางด้านกายภาพของเชอร์เบทแครอทมิกซ์

2.1) ผลการวิเคราะห์ค่าสีระบบ Hunter Lab

2.1.1) ผลการวิเคราะห์ค่าความสว่างของสี (ค่า L*) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทมิกซ์ที่ใช้ไขมันทั้ง 3 ชนิด พบว่า มีค่าความสว่างของสีมากกว่าตัวอย่างที่ไม่ใช้ไขมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งตัวอย่างที่ใช้ไขมันนม มีค่าความสว่างของสีมากที่สุด รองลงมา คือ ตัวอย่างที่ใช้น้ำมันปาล์ม และน้ำมันมะพร้าว ตามลำดับ (ดังตารางที่ 4.18) โดยค่าความสว่างของสี (ค่า L*) ที่ต่างกัน ระหว่างตัวอย่างที่ใช้ไขมันทั้ง 3 ชนิด ขึ้นอยู่กับความเข้มของสีของไขมันแต่ละชนิดที่ต่างกันจากรงควัตถุที่มีปนอยู่ในวัตถุดิบที่นำมาใช้สกัดน้ำมัน (นิธิยา, 2548)

2.1.2) ผลการวิเคราะห์ค่าสีแดง (ค่า a*) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทมิกซ์ที่ใช้ไขมันทั้ง 3 ชนิด พบว่า มีค่าไม่แตกต่างกัน แต่ตัวอย่างที่ไม่ใช้ไขมันมีค่าสีแดงมากกว่าตัวอย่างที่ใช้ไขมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ดังตารางที่ 4.18) เนื่องจากตัวอย่างที่ไม่ใช้ไขมันจะมีสีส้มตามสีของแคโรทีนอยด์ที่เป็นรงควัตถุหลักในน้ำแครอทมากกว่าตัวอย่างที่ใช้ไขมันเป็นส่วนผสมด้วย

2.1.3) ผลการวิเคราะห์ค่าสีเหลือง (ค่า b*) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทมิกซ์ที่ใช้ไขมันชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้ไขมัน ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.18 พบว่าตัวอย่างที่ไม่ใช้ไขมันมีค่าสีเหลืองน้อยกว่าตัวอย่างอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนความเข้มของสีเหลือง (ค่า b*) ที่ต่างกัน ระหว่างตัวอย่างที่ใช้ไขมันทั้ง 3 ชนิด ขึ้นอยู่กับสีของไขมันแต่ละชนิดที่ต่างกันจากรงควัตถุที่มีปนอยู่ในวัตถุดิบที่นำมาใช้สกัดน้ำมัน (นิธิยา, 2548)

2.2) ผลการวิเคราะห์ความหนืด (viscosity)

ผลจากการวิเคราะห์ความหนืด ด้วยความเร็วรอบ 200 rpm พบว่า ตัวอย่างเชอร์เบทแครอทมิกซ์ที่ใช้ไขมันนมมีความหนืดมากที่สุด (ดังตารางที่ 4.18) เนื่องจากความหนืดของตัวอย่างแปรผันตามความหนืดของไขมันแต่ละชนิด โดยไขมันนมมีความหนืดมากที่สุด รองลงมาคือ น้ำมันปาล์ม และน้ำมันมะพร้าว ตามลำดับ ซึ่งความหนืดของไขมันและน้ำมันจะเพิ่มขึ้น เมื่อจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์เพิ่มขึ้น (นิธิยา, 2548)

2.3) ผลการวิเคราะห์ค่า overrun

ผลการวิเคราะห์ค่า overrun ของตัวอย่างที่ใช้ไขมันชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้ไขมัน พบว่า ตัวอย่างที่ไม่ใช้ไขมันมีแนวโน้มของค่า overrun มากกว่าตัวอย่างที่ใช้ไขมัน (ดังตารางที่ 4.18) แม้ว่าค่า overrun ของตัวอย่างที่ไม่ใช้ไขมันจะไม่แตกต่างกับตัวอย่างที่ใช้ไขมันนม และน้ำมันมะพร้าวก็ตาม สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Dervisoglu (2006) ที่พบว่าตัวอย่างไอศกรีมที่ไม่ใช้ไขมัน (non fat) มีค่า overrun มากกว่าตัวอย่างไอศกรีมที่ใช้ไขมัน (full fat)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนการที่ตัวอย่างที่ใช้น้ำมันปาล์มมีค่า overrun น้อยกว่าตัวอย่างที่ใช้ไขมันนม และน้ำมันมะพร้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อาจเนื่องจากองค์ประกอบของกรดไขมันที่มีชนิดและปริมาณแต่ละชนิดต่างกัน จึงทำให้ไขมันแต่ละชนิดมีคุณสมบัติต่างกันด้วย (นิธิยา, 2548)

ตารางที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์ขนาดเฉลี่ยของ air cell ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้ไขมันชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้ไขมัน ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา

ตัวอย่างเชอร์เบทแครอท	ขนาดเฉลี่ยของ air cell (μm)				
	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
ไม่ใช้ไขมัน	$92.18^{Aa} \pm 17.90$	$110.04^{Aab} \pm 14.17$	$110.02^{Bab} \pm 6.39$	$115.03^{Ab} \pm 9.16$	$105.56^{Aab} \pm 15.54$
ใช้ไขมันนม	$95.61^{Ab} \pm 12.36$	$112.63^{Abc} \pm 7.05$	$76.72^{Aa} \pm 6.83$	$121.12^{Ac} \pm 17.22$	$99.33^{Ab} \pm 16.33$
ใช้น้ำมันมะพร้าว	$115.20^{Bb} \pm 6.97$	$101.75^{Aab} \pm 10.00$	$87.75^{Aa} \pm 7.90$	$112.24^{Ab} \pm 18.94$	$97.30^{Aab} \pm 10.84$
ใช้น้ำมันปาล์ม	$101.89^{ABa} \pm 11.88$	$97.37^{Aa} \pm 16.52$	$111.45^{Bab} \pm 16.15$	$115.96^{Aab} \pm 11.54$	$131.33^{Bb} \pm 13.16$

หมายเหตุ : 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 6 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$)

3) ตัวอักษรใหญ่เป็นการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างเชอร์เบทแครอทในแต่ละวันที่ทำการทดลอง และตัวอักษรเล็กเป็นการเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลาที่เก็บรักษาของแต่ละตัวอย่างเชอร์เบทแครอท

3) ผลการวิเคราะห์ทางด้านโครงสร้างระดับจุลภาคของเชอร์เบทแครอท

3.1) ผลการวิเคราะห์ขนาดเฉลี่ยของ air cell

ผลการวิเคราะห์ขนาดเฉลี่ยของ air cell ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้ไขมันชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้ไขมัน ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.19 พบว่า ตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมมีแนวโน้มขนาดเฉลี่ยของ air cell น้อยที่สุด เนื่องจากเม็ดไขมันที่อาจเกิดการรวมตัวกัน (agglomerated) ซึ่งการรวมตัวกันของเม็ดไขมันจะทำให้ผิวสัมผัสระหว่างอากาศกับน้ำมีความคงตัวยิ่งขึ้น (Lal และคณะ, 2006) แต่ตัวอย่างที่ใช้น้ำมันปาล์มมีแนวโน้มขนาดเฉลี่ยของ air cell มากที่สุด ดังนั้น ความหนืดของแต่ละตัวอย่างน่าจะมีผลต่อขนาดเฉลี่ยของ air cell ด้วย เนื่องจากองค์ประกอบที่อยู่รอบๆ ฟองอากาศจะเป็น non-newtonian fluid ประกอบด้วยกลุ่มของไขมัน (มากกว่า 80%) (Aime และคณะ, 2001) ซึ่งตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมมีความหนืดมากที่สุด ($p \leq 0.05$) จึงส่งผลให้มีความคงตัวของฟองอากาศมากกว่าตัวอย่างอื่นๆ สอดคล้องกับรายงานของ Chang และ Hartel (2002) ที่พบว่า ความหนืดปรากฏสูงทำให้เกิดการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แตกของ air cell และทำให้ air cell มีขนาดเล็กลง โดยจากการทดลอง ระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลเด่นชัดต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดเฉลี่ยของ air cell ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอททั้ง 4 ตัวอย่าง

3.2) ผลการวิเคราะห์ขนาดเฉลี่ยของผลึกน้ำแข็ง

ผลการวิเคราะห์ขนาดเฉลี่ยของผลึกน้ำแข็งของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้ไขมันชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้ไขมัน ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.20 พบว่า ตัวอย่างที่ใช้น้ำมันปาล์มมีแนวโน้มขนาดเฉลี่ยของผลึกน้ำแข็งน้อยที่สุด เนื่องจากตัวอย่างที่ใช้น้ำมันปาล์มมีค่า overrun น้อยที่สุด ($p \leq 0.05$) แสดงว่าในตัวอย่างมีช่องว่างของฟองอากาศน้อยกว่าตัวอย่างอื่นๆ ขนาดเฉลี่ยของผลึกน้ำแข็งจึงมีขนาดเล็ก แต่จากรายงานของ Sofjan และ Hartel (2004) รวมทั้ง Flores และ Goff (1999) พบว่า การเพิ่มขึ้นของค่า overrun มีอิทธิพลทำให้ขนาดเฉลี่ยของผลึกน้ำแข็งลดลงเล็กน้อย ส่วนตัวอย่างที่ไม่ใช้ไขมัน ตัวอย่างที่ใช้ไขมันนม และน้ำมันมะพร้าวมีขนาดเฉลี่ยของผลึกน้ำแข็งใกล้เคียงกัน เนื่องจากมีค่า overrun ไม่แตกต่างกัน โดยจากการทดลอง เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ตัวอย่างเชอร์เบทแครอททั้ง 4 ตัวอย่าง มีขนาดเฉลี่ยของผลึกน้ำแข็งที่วิเคราะห์ได้น้อยลง อาจเนื่องจากในช่วงแรกของการเก็บรักษา ส่วนประกอบที่เป็นน้ำบางส่วนของตัวอย่างที่อยู่ในรูป bound water ยังไม่เกิดการแข็งตัว และเกิดการแข็งตัวในเวลาต่อมา ดังนั้น ขนาดเฉลี่ยของผลึกน้ำแข็งจึงมีค่าน้อยลง

ตารางที่ 4.20 ผลการวิเคราะห์ขนาดเฉลี่ยของผลึกน้ำแข็งของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้ไขมันชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้ไขมัน ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา

ตัวอย่างเชอร์เบทแครอท	ขนาดเฉลี่ยของผลึกน้ำแข็ง (μm)				
	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
ไม่ใช้ไขมัน	$61.26^{Ab} \pm 9.30$	$97.63^{Ac} \pm 17.32$	$57.89^{ABb} \pm 9.94$	$51.32^{Bab} \pm 3.97$	$41.93^{ABa} \pm 8.74$
ใช้ไขมันนม	$64.21^{Ab} \pm 5.90$	$105.53^{ABc} \pm 10.95$	$55.44^{ABab} \pm 6.97$	$47.16^{ABa} \pm 6.55$	$51.40^{Ba} \pm 9.45$
ใช้น้ำมันมะพร้าว	$54.38^{Ab} \pm 10.46$	$116.32^{Bc} \pm 2.78$	$61.58^{Bb} \pm 7.64$	$41.05^{Aa} \pm 5.61$	$40.00^{Aa} \pm 5.32$
ใช้น้ำมันปาล์ม	$58.24^{Ac} \pm 8.97$	$90.79^{Ad} \pm 8.95$	$51.40^{Abc} \pm 5.70$	$44.21^{ABab} \pm 5.72$	$39.16^{Aa} \pm 6.96$

หมายเหตุ : 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 6 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

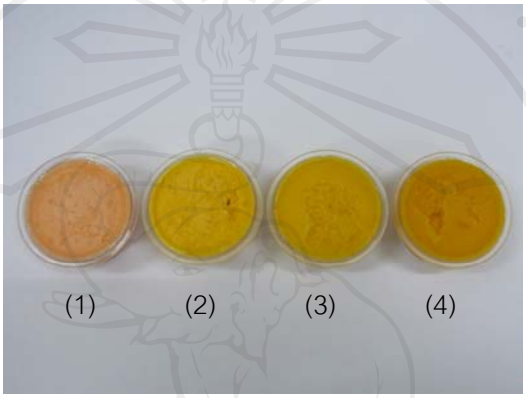
2) ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$)

3) ตัวอักษรใหญ่เป็นการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างเชอร์เบทแครอทในแต่ละวันที่ทำการทดลอง และตัวอักษรเล็กเป็นการเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลาที่เก็บรักษาของแต่ละตัวอย่างเชอร์เบทแครอท

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4) ผลการวิเคราะห์ทางด้านกายภาพของเชอร์เบทแครอท

ลักษณะของตัวอย่างเชอร์เบทแครอททั้ง 4 ตัวอย่าง แสดงให้เห็นดังภาพที่ 4.3 พบว่าตัวอย่างที่ไม่ใช้ไขมันจะมีสีส้มตามสีของแคโรทีนอยด์ที่เป็นรงควัตถุหลักในน้ำแครอท แต่ตัวอย่างที่ใช้ไขมันทั้ง 3 ชนิด จะมีสีเหลือง เพราะแคโรทีนอยด์เกิดการสลายตัว เนื่องจากปฏิกิริยา oxidative degradation จาก action ของอนุมูลอิสระที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมัน (นิธิยา, 2549) และเมื่อนำทุกตัวอย่างมาวัดค่าสี ผลที่ได้มีดังนี้ คือ



ภาพที่ 4.3 ตัวอย่างเชอร์เบทแครอททั้ง 4 ตัวอย่าง;
(1) ตัวอย่างไม่ใช้ไขมัน, (2) ตัวอย่างใช้ไขมันนม, (3) ตัวอย่างใช้น้ำมันมะพร้าว,
(4) ตัวอย่างใช้น้ำมันปาล์ม

4.1) ผลการวิเคราะห์ค่าสีระบบ Hunter Lab

4.1.1) ผลการวิเคราะห์ค่าความสว่างของสี (ค่า L*) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้ไขมันชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้ไขมัน ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.21 พบว่า ตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมมีค่าความสว่างของสีมากที่สุด ($p \leq 0.05$) ส่วนตัวอย่างที่ใช้น้ำมันปาล์มมีค่าความสว่างของสีน้อยที่สุด ($p \leq 0.05$) สอดคล้องกับการสังเกตจากภาพตัวอย่างเชอร์เบทแครอททั้ง 4 ตัวอย่าง (ดังภาพที่ 4.3) โดยค่าความสว่างของสี (ค่า L*) ที่ต่างกัน ระหว่างตัวอย่างที่ใช้ไขมันทั้ง 3 ชนิด ขึ้นอยู่กับความเข้มของสีของไขมันแต่ละชนิดที่ต่างกันจากรงควัตถุที่มีปนอยู่ในวัตถุดิบที่นำมาใช้สกัดน้ำมัน (นิธิยา, 2548) และจากการทดลองเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ค่าความสว่างของสีของตัวอย่างเชอร์เบทแครอททั้ง 4 ตัวอย่างที่วิเคราะห์ได้มีแนวโน้มลดลง อาจจะเนื่องจากตัวอย่างเชอร์เบทแครอทเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดระหว่างการเก็บรักษา ตัวอย่างจึงมีสีคล้ำลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.21 ผลการวิเคราะห์ค่าความสว่างของสี (ค่า L*) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้ไขมันชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้ไขมัน ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา

ตัวอย่างเชอร์เบทแครอท	ค่า L*				
	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
ไม่ใช้ไขมัน	65.12^{Bd}±1.39	64.25^{Bcd}±1.63	60.17^{Ba}±1.83	61.56^{Bab}±2.23	62.63^{Bbc}±1.77
ใช้ไขมันนม	67.84^{Cb}±1.36	67.62^{Cb}±1.35	64.48^{Ca}±0.93	66.47^{Cab}±2.02	66.10^{Cab}±2.32
ใช้น้ำมันมะพร้าว	64.40^{Bc}±1.65	63.45^{Bbc}±2.06	61.02^{Ba}±1.53	60.98^{Ba}±2.20	61.53^{Bab}±1.92
ใช้น้ำมันปาล์ม	56.08^{Aab}±2.21	56.97^{Ab}±1.34	54.41^{Aa}±1.30	54.91^{Aab}±1.04	55.47^{Aab}±2.81

หมายเหตุ : 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 6 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$)

3) ตัวอักษรใหญ่เป็นการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างเชอร์เบทแครอทในแต่ละวันที่ทำการทดลอง และตัวอักษรเล็กเป็นการเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลาที่เก็บรักษาของแต่ละตัวอย่างเชอร์เบทแครอท

ตารางที่ 4.22 ผลการวิเคราะห์ค่าสีแดง (ค่า a*) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้ไขมันชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้ไขมัน ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา

ตัวอย่างเชอร์เบทแครอท	ค่า a*				
	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
ไม่ใช้ไขมัน	15.84^{Ca}±0.62	16.46^{Ca}±0.66	16.43^{Ca}±0.75	15.82^{Ca}±1.03	15.75^{Da}±0.96
ใช้ไขมันนม	3.84^{Aa}±1.04	4.61^{Aa}±1.09	4.86^{Aa}±1.14	4.16^{Aa}±1.16	4.40^{Ba}±1.07
ใช้น้ำมันมะพร้าว	3.08^{Aa}±0.49	4.04^{Aab}±1.09	4.52^{Ab}±1.03	4.05^{Aab}±1.21	3.32^{Aab}±0.79
ใช้น้ำมันปาล์ม	6.42^{Ba}±0.49	6.84^{Ba}±0.82	6.79^{Ba}±0.73	6.64^{Ba}±0.73	6.81^{Ca}±0.67

หมายเหตุ : 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 6 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$)

3) ตัวอักษรใหญ่เป็นการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างเชอร์เบทแครอทในแต่ละวันที่ทำการทดลอง และตัวอักษรเล็กเป็นการเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลาที่เก็บรักษาของแต่ละตัวอย่างเชอร์เบทแครอท

4.1.2) ผลการวิเคราะห์ค่าสีแดง (ค่า a*) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้ไขมันชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้ไขมัน ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.22 พบว่า ตัวอย่างที่ไม่ใช้ไขมันมีค่าสีแดงมากกว่าตัวอย่างที่ใช้ไขมันอย่างมี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากตัวอย่างที่ไม่ใช้ไขมันจะมีสีส้มตามสีของแคโรทีนอยด์ที่เป็นรงควัตถุหลักในน้ำแครอทมากกว่าตัวอย่างที่ใช้ไขมันเป็นส่วนผสมด้วย ซึ่งตัวอย่างที่ใช้ไขมันทั้ง 3 ชนิด มีค่าสีแดงใกล้เคียงกัน แต่ตัวอย่างที่ใช้น้ำมันปาล์มมีค่าสีแดงมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และจากการทดลอง ระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีแดงของตัวอย่างเชอร์เบทแครอททั้ง 4 ตัวอย่าง

4.1.3) ผลการวิเคราะห์ค่าสีเหลือง (ค่า b*) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้ไขมันชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้ไขมัน ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.23 พบว่า ตัวอย่างที่ไม่ใช้ไขมันมีค่าสีเหลืองน้อยกว่าตัวอย่างอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมมีค่าสีเหลืองมากที่สุด รองลงมาคือ ตัวอย่างที่ใช้น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันปาล์ม ตามลำดับ ($p \leq 0.05$) โดยความเข้มของสีเหลือง (ค่า b*) ที่ต่างกัน ระหว่างตัวอย่างที่ใช้ไขมันทั้ง 3 ชนิด ขึ้นอยู่กับสีของไขมันแต่ละชนิดที่ต่างกันจากรงควัตถุที่มีปนอยู่ในวัตถุดิบที่นำมาใช้สกัดน้ำมัน (นิธิยา, 2548) และจากการทดลอง ระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีเหลืองของตัวอย่างเชอร์เบทแครอททั้ง 4 ตัวอย่าง

ตารางที่ 4.23 ผลการวิเคราะห์ค่าสีเหลือง (ค่า b*) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้ไขมันชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้ไขมัน ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา

ตัวอย่างเชอร์เบทแครอท	ค่า b*				
	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
ไม่ใช้ไขมัน	$17.73^{Aa} \pm 0.70$	$17.55^{Aa} \pm 0.69$	$17.86^{Aa} \pm 0.51$	$17.42^{Aa} \pm 0.89$	$17.30^{Aa} \pm 0.99$
ใช้ไขมันนม	$32.17^{Da} \pm 0.65$	$32.25^{Da} \pm 1.34$	$31.90^{Da} \pm 1.26$	$31.52^{Da} \pm 0.71$	$30.97^{Da} \pm 1.14$
ใช้น้ำมันมะพร้าว	$30.44^{Ca} \pm 0.88$	$29.52^{Ca} \pm 1.69$	$29.18^{Ca} \pm 0.79$	$29.18^{Ca} \pm 0.93$	$29.31^{Ca} \pm 0.92$
ใช้น้ำมันปาล์ม	$27.80^{Bc} \pm 0.64$	$26.03^{Bab} \pm 1.25$	$26.97^{Bbc} \pm 0.80$	$25.53^{Ba} \pm 1.63$	$27.21^{Bbc} \pm 1.15$

หมายเหตุ : 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 6 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$)

3) ตัวอักษรใหญ่เป็นการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างเชอร์เบทแครอทในแต่ละวันที่ทำการทดลอง และตัวอักษรเล็กเป็นการเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลาที่เก็บรักษาของแต่ละตัวอย่างเชอร์เบทแครอท

4.2) ผลการวิเคราะห์การละลาย

4.2.1) ผลการวิเคราะห์ระยะเวลาที่ตัวอย่างหยดแรกละลาย (first dropping time) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้ไขมันชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้ไขมัน ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.24 พบว่า ตัวอย่างที่ใช้ไขมันนม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และน้ำมันปาล์ม มีแนวโน้มของระยะเวลาที่ตัวอย่างหยดแรกละลายช้ากว่าตัวอย่างอื่นๆ แสดงว่าตัวอย่างที่ใช้ไขมันนม และตัวอย่างที่ใช้น้ำมันพืชบางชนิดเท่านั้น ที่มีผลช่วยให้ระยะเวลาที่ตัวอย่างหยดแรกละลายช้าลง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลที่มีอยู่ในไขมันและน้ำมันชนิดต่างๆ ที่จะเป็นตัวกำหนดสมบัติของไขมันและน้ำมันแต่ละชนิดให้แตกต่างกัน (นิธิยา, 2548) โดยเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ตัวอย่างเชอร์เบทแครอททั้ง 4 ตัวอย่าง มีแนวโน้มของระยะเวลาที่ตัวอย่างหยดแรกละลายช้าลง สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ขนาดเฉลี่ยของผลึกน้ำแข็งที่มีค่าน้อยลง เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น

ตารางที่ 4.24 ผลการวิเคราะห์ระยะเวลาที่ตัวอย่างหยดแรกละลาย (first dropping time) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้ไขมันชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้ไขมัน ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา

ตัวอย่างเชอร์เบทแครอท	ระยะเวลาที่ตัวอย่างหยดแรกละลาย (min)				
	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
ไม่ใช้ไขมัน	16.04^{Aab}±2.85	14.81^{Aa}±2.22	20.19^{Abc}±2.59	26.58^{Bd}±1.68	22.80^{Acd}±0.63
ใช้ไขมันนม	17.42^{Aa}±1.24	16.66^{ABa}±1.48	26.74^{Bb}±3.20	27.97^{BCb}±2.02	24.47^{ABb}±0.99
ใช้น้ำมันมะพร้าว	20.31^{Bb}±1.79	15.80^{Aa}±0.98	24.36^{ABc}±1.54	21.91^{Abc}±0.81	22.88^{Abc}±0.76
ใช้น้ำมันปาล์ม	25.31^{Cb}±0.98	20.39^{Ba}±1.20	29.45^{Bcd}±1.29	30.53^{Cd}±1.54	26.87^{Bbc}±1.96

หมายเหตุ : 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$)

3) ตัวอักษรใหญ่เป็นการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างเชอร์เบทแครอทในแต่ละวันที่ทำการทดลอง และตัวอักษรเล็กเป็นการเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลาที่เก็บรักษาของแต่ละตัวอย่างเชอร์เบทแครอท

4.2.2) ผลการวิเคราะห์อัตราการละลาย (melting rate) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้ไขมันชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้ไขมัน ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.25 พบว่า ตัวอย่างที่ไม่ใช้ไขมันมีอัตราการละลายช้าที่สุด ต่างกับตัวอย่างอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 3 ของการเก็บรักษา ส่วนตัวอย่างที่ใช้ไขมันทั้ง 3 ชนิด มีอัตราการละลายใกล้เคียงกัน แต่ในภาพรวม ตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมมีอัตราการละลายช้ากว่าตัวอย่างที่ใช้น้ำมันปาล์ม และน้ำมันมะพร้าว ตามลำดับ โดยการวิจัยของ Sofjan และ Hartel (2004) พบว่า ค่า overrun สูงทำให้เกิดความแตกต่างของอัตราการถ่ายเทความร้อน จากปริมาณอากาศที่มากขึ้น เนื่องจากอากาศเป็นฉนวนที่ดีและทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนของไอศกรีมช้าลง แต่อย่างไรก็ตาม Huse และคณะ (1984) รายงานว่า ความแปรผันส่วนใหญ่ของความ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ต้านทานการละลายระหว่างกระบวนการผลิต คือ ขั้นตอนการแช่เยือกแข็ง ซึ่งเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ตัวอย่างเชอร์เบทแครอททั้ง 4 ตัวอย่าง มีแนวโน้มของอัตราการละลายช้าลง เช่นเดียวกับผลของระยะเวลาที่ตัวอย่างหยดแรกละลายช้าลง

ตารางที่ 4.25 ผลการวิเคราะห์อัตราการละลาย (melting rate) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้ไขมันชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้ไขมัน ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา

ตัวอย่าง เชอร์เบทแครอท	อัตราการละลาย (g/min)				
	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
ไม่ใช้ไขมัน	1.26^{Aa}±0.09	1.65^{Ab}±0.12	1.38^{Aa}±0.08	1.26^{Aa}±0.09	1.25^{Aa}±0.05
ใช้ไขมันนม	1.27^{Aa}±0.07	1.71^{Ac}±0.05	1.46^{Ab}±0.06	1.40^{Bb}±0.04	1.49^{Bb}±0.01
ใช้น้ำมันมะพร้าว	1.58^{Bb}±0.04	1.79^{Ac}±0.10	1.42^{Aa}±0.03	1.38^{Ba}±0.04	1.48^{Bab}±0.06
ใช้น้ำมันปาล์ม	1.36^{Aab}±0.05	1.82^{Ad}±0.06	1.53^{Ac}±0.08	1.32^{ABa}±0.05	1.46^{Bbc}±0.04

หมายเหตุ : 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$)

3) ตัวอักษรใหญ่เป็นการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างเชอร์เบทแครอทในแต่ละวันที่ทำการทดลอง และตัวอักษรเล็กเป็นการเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลาที่เก็บรักษาของแต่ละตัวอย่างเชอร์เบทแครอท

4.3) ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส

4.3.1) ผลการวิเคราะห์ความแข็ง (hardness) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้ไขมันชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้ไขมัน ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.26 พบว่า ตัวอย่างที่ใช้น้ำมันปาล์มมีความแข็งมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือ ตัวอย่างที่ใช้น้ำมันมะพร้าว ไขมันนม และไม่ใช้ไขมัน ตามลำดับ สอดคล้องกับผลของค่า overrun จากการที่ตัวอย่างที่ใช้น้ำมันปาล์มมีค่า overrun ต่ำ จึงมีความแน่นเนื้อมาก ด้วยมีปริมาณผลึกน้ำแข็งที่มากกว่าตัวอย่างอื่น แต่จากผลการทดลองของ Roland และคณะ (1999) ที่ได้ศึกษาไอศกรีมวนิลาที่มีไขมันนมร้อยละ 0.1, 3, 7 และ 10 พบว่า ไอศกรีมที่มีไขมันร้อยละ 0.1, 3 และ 7 ไม่มีความแตกต่างกันในด้านความแข็ง โดยเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ตัวอย่างเชอร์เบทแครอททั้ง 4 ตัวอย่าง มีแนวโน้มของความแข็งลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.26 ผลการวิเคราะห์ความแข็ง (hardness) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้ไขมันชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้ไขมัน ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา

ตัวอย่างเชอร์เบทแครอท	ค่า hardness (mm)				
	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
ไม่ใช้ไขมัน	19.15^{Cb}±1.26	14.74^{Ba}±1.80	14.88^{Ba}±1.19	13.57^{Ba}±1.85	15.52^{Ca}±1.44
ใช้ไขมันนม	18.46^{Cd}±0.94	13.09^{Ba}±0.72	17.01^{Cc}±0.91	14.99^{Bb}±0.99	15.10^{Cb}±0.46
ใช้น้ำมันมะพร้าว	16.95^{Bc}±0.64	13.41^{Bb}±0.87	13.02^{Ab}±1.34	10.97^{Aa}±1.53	12.88^{Bb}±1.17
ใช้น้ำมันปาล์ม	14.12^{Ac}±0.64	10.18^{Aa}±1.56	12.30^{Ab}±0.41	9.59^{Aa}±0.42	11.33^{Ab}±0.95

หมายเหตุ : 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 6 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$)

3) ตัวอักษรใหญ่เป็นการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างเชอร์เบทแครอทในแต่ละวันที่ทำการทดลอง และตัวอักษรเล็กเป็นการเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลาที่เก็บรักษาของแต่ละตัวอย่างเชอร์เบทแครอท

ตารางที่ 4.27 ผลการวิเคราะห์ความคงตัว (firmness) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้ไขมันชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้ไขมัน ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา

ตัวอย่างเชอร์เบทแครอท	ค่า firmness (N)				
	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
ไม่ใช้ไขมัน	2.97^{Aa}±1.36	2.48^{Aa}±0.78	1.75^{Aa}±0.38	10.42^{Bb}±2.56	1.65^{Aa}±0.76
ใช้ไขมันนม	4.93^{Bc}±0.60	2.89^{Ab}±0.94	1.20^{Aa}±0.31	5.27^{Ac}±0.29	3.14^{Bb}±0.72
ใช้น้ำมันมะพร้าว	5.55^{Bb}±1.66	2.60^{Aa}±0.83	5.36^{Bb}±0.88	12.11^{Bd}±1.12	7.08^{Cc}±0.81
ใช้น้ำมันปาล์ม	30.86^{Cd}±1.96	24.17^{Bb}±2.57	11.19^{Ca}±0.52	29.24^{Cd}±1.67	26.97^{Dc}±1.83

หมายเหตุ : 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 6 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$)

3) ตัวอักษรใหญ่เป็นการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างเชอร์เบทแครอทในแต่ละวันที่ทำการทดลอง และตัวอักษรเล็กเป็นการเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลาที่เก็บรักษาของแต่ละตัวอย่างเชอร์เบทแครอท

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.2) ผลการวิเคราะห์ความคงตัว (firmness) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้ไขมันชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้ไขมัน ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.27 พบว่า ตัวอย่างที่ใช้น้ำมันปาล์มมีความคงตัวมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือ ตัวอย่างที่ใช้น้ำมันมะพร้าว ไขมันนม และไม่ใช้ไขมัน ตามลำดับ

สอดคล้องกับผลของค่า overrun จากการที่ตัวอย่างที่ใช้น้ำมันปาล์มมีค่า overrun ต่ำ จึงมีความแน่นเนื้อมาก ด้วยมีปริมาณผลึกน้ำแข็งที่มากกว่าตัวอย่างอื่น เช่นเดียวกับการศึกษาของ Aime และคณะ (2001) ที่พบว่า ไขมันมีผลต่อเนื้อสัมผัสของไอศกรีม คือ ตัวอย่างที่ใช้ไขมันต่ำ (low fat) มีความคงตัวกว่าตัวอย่างที่ไม่ใช้ไขมัน (fat free) ซึ่งเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ตัวอย่างเชอร์เบทแครอททั้ง 4 ตัวอย่าง มีแนวโน้มของความคงตัวลดลง

ตารางที่ 4.28 ผลการวิเคราะห์ความเหนียว (tackiness) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้ไขมันชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้ไขมัน ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา

ตัวอย่าง เชอร์เบทแครอท	ค่า tackiness (N)				
	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
ไม่ใช้ไขมัน	$-0.06^{ABb}\pm0.04$	$-0.06^{Ab}\pm0.03$	$-0.03^{Bb}\pm0.01$	$-0.12^{Ba}\pm0.05$	$-0.04^{Ab}\pm0.01$
ใช้ไขมันนม	$-0.08^{Ab}\pm0.03$	$-0.10^{Aab}\pm0.04$	$-0.04^{Bc}\pm0.01$	$-0.12^{Ba}\pm0.03$	$-0.08^{Ab}\pm0.02$
ใช้น้ำมันมะพร้าว	$-0.05^{ABb}\pm0.03$	$-0.06^{Ab}\pm0.02$	$-0.04^{Bb}\pm0.02$	$-0.12^{Ba}\pm0.06$	$-0.06^{Ab}\pm0.03$
ใช้น้ำมันปาล์ม	$-0.02^{Bb}\pm0.03$	$-0.06^{Ab}\pm0.08$	$-0.10^{Ab}\pm0.07$	$-0.20^{Aa}\pm0.06$	$-0.10^{Ab}\pm0.10$

หมายเหตุ : 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 6 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p\leq0.05$)

3) ตัวอักษรใหญ่เป็นการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างเชอร์เบทแครอทในแต่ละวันที่ทำการทดลอง และตัวอักษรเล็กเป็นการเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลาที่เก็บรักษาของแต่ละตัวอย่างเชอร์เบทแครอท

4.3.3) ผลการวิเคราะห์ความเหนียว (tackiness) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้ไขมันชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้ไขมัน ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.28 ซึ่งค่า tackiness (N) เป็นค่าที่บ่งบอกถึง ค่าแรงด้านลบที่ทำให้ตัวอย่างยึดติดกับ probe เมื่อถอน probe ขึ้นหลังจากทำให้ตัวอย่างเสียรูป เพื่อศึกษาความต้านทานแรงที่ใช้ในการยึดติด โดยตัวอย่างเชอร์เบทแครอททั้ง 4 ตัวอย่าง มีแนวโน้มความเหนียวใกล้เคียงกัน แม้ว่าระหว่างการเก็บรักษาในสัปดาห์ที่ 2 และ 3 ตัวอย่างที่ใช้น้ำมันปาล์มจะมีความเหนียวมากกว่าตัวอย่างอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p\leq0.05$) และจากการทดลอง ระยะเวลาในการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความเหนียวของตัวอย่างเชอร์เบทแครอททั้ง 4 ตัวอย่าง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.29 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางรีโอโลยีของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้ไขมันชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้ไขมัน

ตัวอย่าง เชอร์เบทแครอท	G' (Pa)	G" (Pa)	tan δ	η* (Pa.s)
ไม่ใช้ไขมัน	119.23^{b}±42.84	45.70^{c}±11.20	0.33^{a}±0.03	63.21^{b}±22.67
ใช้ไขมันนม	8.25^{a}±1.82	14.74^{b}±2.79	1.80^{b}±0.16	8.50^{a}±1.64
ใช้น้ำมันมะพร้าว	31.47^{a}±13.80	14.32^{b}±4.12	0.45^{a}±0.12	17.53^{a}±6.80
ใช้น้ำมันปาล์ม	0.90^{a}±0.12	2.78^{a}±0.26	3.09^{c}±0.53	1.50^{a}±0.09

หมายเหตุ : 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 6 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$)

4.4) ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางรีโอโลยี

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางรีโอโลยีของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้ไขมันชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้ไขมัน โดยเลือกค่าของคุณสมบัติทางรีโอโลยีที่ความถี่ 0.3162 Hz เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบและการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.29 โดยผลการวิเคราะห์ค่า loss tangent (tan δ) เพื่อหาสัดส่วนของการแสดงสมบัติการไหลหนืดต่อสมบัติการยืดหยุ่น พบว่า ตัวอย่างที่ไม่ใช้ไขมัน และตัวอย่างที่ใช้น้ำมันมะพร้าวมีสมบัติการยืดหยุ่นมากกว่าสมบัติการไหลหนืด แต่ตัวอย่างที่ใช้ไขมันนม และน้ำมันปาล์มมีค่า tan δ มากกว่า 1 แสดงว่า มีสมบัติการไหลหนืดมากกว่าสมบัติการยืดหยุ่น ส่วนค่า elastic modulus (G') ที่วิเคราะห์ได้ พบว่า ตัวอย่างที่ไม่ใช้ไขมันมีค่า elastic modulus (G') มากกว่าตัวอย่างที่ใช้ไขมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่างที่ใช้ไขมันทั้ง 3 ชนิด มีค่า elastic modulus (G') ไม่แตกต่างกัน ซึ่งผลที่ได้น่าจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมดของตัวอย่างเชอร์เบทแครอท เนื่องจากตัวอย่างที่ไม่ใช้ไขมันมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมดน้อยกว่าตัวอย่างที่ใช้ไขมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงว่า ตัวอย่างที่ไม่ใช้ไขมันมีสัดส่วนของน้ำในตัวอย่างที่จะกลายเป็นผลึกน้ำแข็งในปริมาณที่มากกว่าตัวอย่างที่ใช้ไขมัน และผลจากการวิเคราะห์ค่า viscous modulus (G") พบว่า ตัวอย่างที่ไม่ใช้ไขมันมีค่า viscous modulus (G") มากกว่าตัวอย่างที่ใช้ไขมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมมีค่า viscous modulus (G") ไม่แตกต่างกับตัวอย่างที่ใช้น้ำมันมะพร้าว แต่ตัวอย่างที่ใช้น้ำมันปาล์มมีค่า viscous modulus (G") น้อยกว่าตัวอย่างที่ใช้ไขมันทั้ง 2 ชนิด เนื่องจากตัวอย่างที่ใช้น้ำมันปาล์มมีค่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

overrun น้อยกว่าตัวอย่างอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จึงมีความแน่นเนื้อมาก ส่วนตัวอย่างที่ไม่ใช้ไขมันมีแนวโน้มของค่า overrun มากกว่าตัวอย่างที่ใช้ไขมัน แม้ว่าค่า overrun ของตัวอย่างที่ไม่ใช้ไขมันจะไม่แตกต่างกับตัวอย่างที่ใช้ไขมันนม และน้ำมันมะพร้าว ส่งผลให้ตัวอย่างที่ไม่ใช้ไขมันมีสมบัติการยืดหยุ่นมากกว่าตัวอย่างอื่น

นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดเชิงซ้อน (dynamic viscosity; η^*) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอททั้ง 4 ตัวอย่าง พบว่า ตัวอย่างที่ไม่ใช้ไขมันมีค่า dynamic viscosity (η^*) มากกว่าตัวอย่างที่ใช้ไขมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ดังตารางที่ 4.29) โดยตัวอย่างที่ใช้ไขมันทั้ง 3 ชนิด มีค่า dynamic viscosity (η^*) ไม่แตกต่างกัน ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ค่า dynamic viscosity (η^*) ที่ได้ไม่สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield viscometer ที่พบว่าตัวอย่างเชอร์เบทแครอทมิกซ์ที่ใช้ไขมันนมมีความหนืดมากที่สุด รองลงมาคือ ตัวอย่างที่ใช้น้ำมันปาล์ม และน้ำมันมะพร้าว ตามลำดับ ซึ่งตัวอย่างที่ใช้น้ำมันปาล์มมีค่าความหนืดไม่แตกต่างกับตัวอย่างที่ไม่ใช้ไขมัน โดยการที่ค่า dynamic viscosity (η^*) เป็นค่าความหนืดเชิงซ้อน ส่วนค่าความหนืดที่วิเคราะห์ได้จากเครื่อง Brookfield viscometer เป็นค่าความหนืดปรากฏ ดังนั้น ผลที่ได้จึงอาจมีความแตกต่างกัน ซึ่งผลการวิเคราะห์ค่า dynamic viscosity (η^*) น่าจะมีความสัมพันธ์กับค่า viscous modulus (G") ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอท เนื่องจากผลที่ได้มีความสอดคล้องกัน แม้ว่าตัวอย่างที่ใช้น้ำมันปาล์มจะมีค่า viscous modulus (G") น้อยกว่าตัวอย่างที่ใช้ไขมันนม และน้ำมันมะพร้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ก็ตาม

ตอนที่ 4 ผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนและไขมันที่มีต่อโครงสร้างระดับจุลภาคและลักษณะทางกายภาพของเชอร์เบทแครอท

1) ผลการวิเคราะห์ทางด้านเคมีของเชอร์เบทแครอทมิกซ์

1.2) ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด

เมื่อนำตัวอย่างเชอร์เบทแครอทมิกซ์ทั้ง 16 ตัวอย่าง มาวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด (total acidity) ในรูปของกรดแลคติก พบว่า ปริมาณไขมันนมที่ใช้ทั้ง 4 ระดับ ไม่มีผลต่อปริมาณกรดทั้งหมดของตัวอย่างที่ได้ แต่ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองที่ใช้มีผลต่อปริมาณกรดทั้งหมดของตัวอย่างที่ได้ โดยเมื่อใช้ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น ตัวอย่างที่ได้จะมีแนวโน้มปริมาณกรดทั้งหมดลดลง แม้ว่าตัวอย่างที่ใช้ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 2 และร้อยละ 4 จะมีปริมาณกรดทั้งหมดที่ได้ไม่แตกต่างกัน เนื่องจากโปรตีนถั่วเหลืองที่ใช้มีความเป็นกรด – ด่างที่ 4.5 (Snyder และ Kwon, 1987)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

จึงทำให้ตัวอย่างที่ได้มีปริมาณกรดทั้งหมดลดลง ทั้งที่เติมกรดซิตริกลงในตัวอย่างในปริมาณที่เท่ากัน

เมื่อวิเคราะห์ผลร่วมของทั้งสองปัจจัย พบว่า มีผลร่วมกันต่อปริมาณกรดทั้งหมดของตัวอย่างที่ได้ (ดังตารางที่ 4.30) โดยตัวอย่างเชอร์เบทแครอทมิกซ์ที่มีปริมาณกรดทั้งหมดอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ตามมาตรฐาน คือ ตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมและโปรตีนถั่วเหลืองที่ระดับร้อยละ 0 : 0, 0 : 2, 0 : 4, 1 : 0, 2 : 0, 2 : 2, 2 : 4, 3 : 0 และ 3 : 4 เนื่องจากผลิตภัณฑ์เชอร์เบทควรมีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ในรูปของกรดแลคติก อย่างน้อยร้อยละ 0.35 เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นรสฝาด (Marshall และ Arbuckle, 1996)

1.2) ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมด

ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมด (total soluble solid) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทมิกซ์ที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองและไขมันนมในปริมาณต่างๆ ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.30 พบว่า ปริมาณไขมันนมที่ใช้มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมดของตัวอย่าง โดยเมื่อใช้ปริมาณไขมันนมเพิ่มขึ้น ตัวอย่างที่ได้จะมีแนวโน้มปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมดเพิ่มขึ้น เนื่องจากตัวอย่างที่ใช้ปริมาณไขมันนมเพิ่มขึ้น จะมีตัวทำลาย คือ น้ำ ในปริมาณที่ลดลง ส่วนปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองที่ใช้มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมดของตัวอย่างเช่นเดียวกัน คือ เมื่อใช้ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น ตัวอย่างที่ได้จะมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากตัวอย่างที่ใช้ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น จะมีตัวทำลาย คือ น้ำ ในปริมาณที่ลดลง

เมื่อวิเคราะห์ผลร่วมของทั้งสองปัจจัย พบว่า มีผลร่วมกันต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมดของตัวอย่าง โดยแนวโน้มของตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมร่วมกับโปรตีนถั่วเหลืองในปริมาณที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมดของตัวอย่างเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากสัดส่วนของน้ำในตัวอย่างที่ได้มีปริมาณลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.30 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมด และปริมาณของแข็งทั้งหมดของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทมิกซ์ที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองและไขมันนมในปริมาณต่างๆ

ตัวอย่างเชอร์เบทแครอทมิกซ์		ปริมาณกรดทั้งหมด (%)	TSS (˚Brix)	ของแข็งทั้งหมด (%)
ปริมาณไขมันนม (%)	ปริมาณโปรตีนถั่วเหลือง (%)			
0.0	0.0	0.37^{e}±0.01	28.00^{c}±0.13	25.62^{ab}±0.37
	2.0	0.34^{d}±0.01	28.90^{de}±0.21	27.05^{bc}±0.07
	4.0	0.35^{d}±0.01	30.10^{f}±0.11	29.30^{de}±0.36
	6.0	0.31^{a}±0.02	31.63^{gh}±0.50	31.84^{g}±0.42
1.0	0.0	0.34^{cd}±0.01	26.17^{a}±0.15	24.58^{a}±0.64
	2.0	0.33^{bcd}±0.01	28.30^{cd}±0.17	26.30^{bc}±0.21
	4.0	0.32^{abc}±0.01	29.67^{ef}±1.40	26.95^{bc}±1.03
	6.0	0.31^{a}±0.01	31.70^{gh}±0.39	31.42^{fg}±1.74
2.0	0.0	0.37^{e}±0.01	27.17^{b}±0.77	26.30^{bc}±0.98
	2.0	0.34^{d}±0.01	29.43^{ef}±0.64	27.12^{bc}±0.84
	4.0	0.34^{bcd}±0.01	31.37^{g}±0.92	29.78^{ef}±0.11
	6.0	0.32^{ab}±0.02	32.13^{gh}±0.72	$31.04e^{fg}$±1.50
3.0	0.0	0.36^{e}±0.01	28.20^{cd}±0.40	27.71^{cd}±0.42
	2.0	0.32^{a}±0.01	31.97^{gh}±0.71	30.00^{ef}±0.98
	4.0	0.34^{bcd}±0.01	32.27^{h}±0.84	29.82^{ef}±1.86
	6.0	0.33^{bcd}±0.01	32.03^{gh}±0.64	29.29^{de}±0.91

หมายเหตุ : 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 6 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$)

1.3) ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมด

ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solid) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทมิกซ์ที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองและไขมันนมในปริมาณต่างๆ ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.30 พบว่า ปริมาณไขมันนมที่ใช้ทั้ง 4 ระดับ ไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดของตัวอย่างที่ได้ แต่ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองที่ใช้มีผลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดของตัวอย่างที่ได้ โดยเมื่อใช้ปริมาณโปรตีนถั่วเหลือง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เพิ่มขึ้น ตัวอย่างที่ได้จะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากตัวอย่างที่ใช้ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น จะมีตัวทำลาย คือ น้ำ ในปริมาณที่ลดลง

เมื่อวิเคราะห์ผลร่วมของทั้งสองปัจจัย พบว่า มีผลร่วมกันต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดของตัวอย่างที่ได้ โดยตัวอย่างเชอร์เบทแครอทมิกซ์ที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ตามมาตรฐาน คือ ตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมและโปรตีนถั่วเหลืองที่ระดับร้อยละ 0 : 4, 0 : 6, 1 : 6, 2 : 4, 2 : 6, 3 : 2, 3 : 4 และ 3 : 6 เนื่องจากผลิตภัณฑ์เชอร์เบทควรมีปริมาณของแข็งทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 28.00 – 36.00 (Arbuckle, 1986)

2) ผลการวิเคราะห์ทางด้านกายภาพของเชอร์เบทแครอทมิกซ์

2.1) ผลการวิเคราะห์ค่าสีระบบ Hunter Lab

2.1.1) ผลการวิเคราะห์ค่าความสว่างของสี (ค่า L*) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทมิกซ์ที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองและไขมันนมในปริมาณต่างๆ ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.31 พบว่า ปริมาณไขมันนมที่ใช้มีผลต่อค่าความสว่างของสี (ค่า L*) ของตัวอย่างที่ได้ โดยเมื่อใช้ปริมาณไขมันนมเพิ่มขึ้น ตัวอย่างที่ได้จะมีค่าความสว่างของสีเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากไขมันนมที่ใช้มีสีเหลืองอ่อน เกือบเป็นสีขาว ส่วนปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองที่ใช้มีผลต่อค่าความสว่างของสี (ค่า L*) ของตัวอย่างเช่นเดียวกัน คือ เมื่อใช้ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น ตัวอย่างที่ได้จะมีแนวโน้มค่าความสว่างของสีเพิ่มขึ้น เนื่องจากโปรตีนถั่วเหลืองที่ใช้มีสีเหลือง ทำให้ตัวอย่างที่ได้มีสีส้มตามสีของแคโรทีนอยด์ที่เป็นรงควัตถุหลักในน้ำแครอท มีลักษณะจางลง ค่าความสว่างของสีของตัวอย่างจึงเพิ่มขึ้น

เมื่อวิเคราะห์ผลร่วมของทั้งสองปัจจัย พบว่า มีผลร่วมกันต่อค่าความสว่างของสี (ค่า L*) ของตัวอย่าง โดยแนวโน้มของตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมร่วมกับโปรตีนถั่วเหลืองในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความสว่างของสี (ค่า L*) ของตัวอย่างเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากทั้งไขมันนมและโปรตีนถั่วเหลืองมีลักษณะเป็นสีเหลือง จึงทำให้ตัวอย่างที่ได้มีสีส้มตามสีของแคโรทีนอยด์ที่เป็นรงควัตถุหลักในน้ำแครอท มีลักษณะจางลง ค่าความสว่างของสีของตัวอย่างจึงเพิ่มขึ้น

2.1.2) ผลการวิเคราะห์ค่าสีแดง (ค่า a*) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทมิกซ์ที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองและไขมันนมในปริมาณต่างๆ ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.31 พบว่า ปริมาณไขมันนมที่ใช้มีผลต่อค่าสีแดง (ค่า a*) ของตัวอย่างที่ได้ คือ การใช้ไขมันนมร้อยละ 1 จะส่งผลให้ตัวอย่างที่ได้มีค่าสีแดง (ค่า a*) ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ใช้ไขมันนม แต่เมื่อเพิ่มการใช้ไขมันนมเป็นร้อยละ 2 และร้อยละ 3 จะส่งผลให้ตัวอย่างที่ได้มีค่าสีแดง (ค่า a*) เพิ่มขึ้น เนื่องจากไขมันนมมีสารสีที่เป็นสีธรรมชาติ คือ แคโรทีนอยด์ เช่นเดียวกัน (นิธิยา, 2548) ส่วนปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองที่ใช้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มีผลต่อค่าสีแดง (ค่า a*) ของตัวอย่างที่ได้ คือ ตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองจะมีค่าสีแดงมากกว่าตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองในปริมาณที่เพิ่มขึ้น จะมีแนวโน้มค่าสีแดงของตัวอย่างที่ได้ลดลง แม้ว่าตัวอย่างที่ใช้ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 4 และร้อยละ 6 จะมีค่าสีแดงไม่แตกต่างกัน เนื่องจากโปรตีนถั่วเหลืองที่ใช้มีลักษณะเป็นสีเหลือง

เมื่อวิเคราะห์ผลร่วมของทั้งสองปัจจัย พบว่า มีผลร่วมกันต่อค่าสีแดง (ค่า a*) ของตัวอย่างที่ได้ เนื่องจากทั้งไขมันนมและโปรตีนถั่วเหลืองมีลักษณะเป็นสีเหลือง แม้ว่าจะมีความเข้มของสีที่ต่างกัน

2.1.3) ผลการวิเคราะห์ค่าสีเหลือง (ค่า b*) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทมิกซ์ที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองและไขมันนมในปริมาณต่างๆ ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.31 พบว่า ปริมาณไขมันนมที่ใช้มีผลต่อค่าสีเหลือง (ค่า b*) ของตัวอย่างที่ได้ โดยเมื่อใช้ปริมาณไขมันนมเพิ่มขึ้น ตัวอย่างที่ได้จะมีแนวโน้มค่าสีเหลือง (ค่า b*) เพิ่มขึ้น แม้ว่าตัวอย่างที่ใช้ปริมาณไขมันนมร้อยละ 2 และร้อยละ 3 จะมีค่าสีเหลืองไม่แตกต่างกัน เนื่องจากแคโรทีนอยด์ที่เป็นรงควัตถุหลักในน้ำแครอทเกิดการสลายตัวโดยปฏิกิริยา oxidative degradation จาก action ของอนุมูลอิสระที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมัน (นิธิยา, 2549) ส่วนปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองที่ใช้มีผลต่อค่าสีเหลือง (ค่า b*) ของตัวอย่างที่ได้ คือ ตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองจะมีค่าสีเหลืองน้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 2, 4 และ 6 มีค่าสีเหลืองไม่แตกต่างกัน เนื่องจากค่าสีเหลืองของตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองน่าจะมีอิทธิพลมาจากการใช้ไขมันนมมากกว่า

เมื่อวิเคราะห์ผลร่วมของทั้งสองปัจจัย พบว่า มีผลร่วมกันต่อค่าสีเหลือง (ค่า b*) ของตัวอย่างที่ได้ เนื่องจากทั้งไขมันนมและโปรตีนถั่วเหลืองมีลักษณะเป็นสีเหลือง แม้ว่าจะมีความเข้มของสีที่ต่างกัน

2.2) ผลการวิเคราะห์ความหนืด

ผลการวิเคราะห์ความหนืด (viscosity) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทมิกซ์ที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองและไขมันนมในปริมาณต่างๆ ด้วยความเร็วรอบ 0.5 rpm ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.31 พบว่า ปริมาณไขมันนมที่ใช้ทั้ง 4 ระดับ ไม่มีผลต่อความหนืดของตัวอย่างที่ได้ แต่ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองที่ใช้มีผลต่อความหนืดของตัวอย่างที่ได้ คือ เมื่อใช้ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น ตัวอย่างที่ได้จะมีแนวโน้มค่าความหนืดเพิ่มขึ้น แม้ว่าตัวอย่างที่ใช้ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 2 จะมีค่าความหนืดไม่แตกต่างกับตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีนถั่วเหลือง เนื่องจากโปรตีนมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำ และเพิ่มความหนืดของส่วนผสม (นภาศรี, 2526) สอดคล้องกับรายงานของอุษา (2541)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ที่พบว่า โปรตีนนมสามารถจับกับน้ำ ทำให้ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์เพิ่มขึ้น และทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นครีม (creamy) อีกด้วย

เมื่อวิเคราะห์ผลร่วมของทั้งสองปัจจัย พบว่า มีผลร่วมกันต่อค่าความหนืดของตัวอย่างที่ได้ เนื่องจากการใช้โปรตีนถั่วเหลืองช่วยให้ตัวอย่างมีลักษณะเป็นอิมัลชันที่ดี เพราะโปรตีนเป็นเสมือนเยื่อหุ้ม (membranes) ที่ห่อหุ้มอนุภาคไขมันเอาไว้ (อุษา, 2541)

2.3) ผลการวิเคราะห์ค่า overrun

ผลการวิเคราะห์ค่า overrun ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทมิกซ์ที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองและไขมันนมในปริมาณต่างๆ ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.31 พบว่า ปริมาณไขมันนมที่ใช้มีผลต่อค่า overrun ของตัวอย่างที่ได้ คือ การใช้ไขมันนมร้อยละ 1 จะส่งผลให้ตัวอย่างที่ได้มีค่า overrun ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ใช้ไขมันนม แต่เมื่อเพิ่มการใช้ไขมันนมเป็นร้อยละ 2 และร้อยละ 3 จะส่งผลให้ตัวอย่างที่ได้มีค่า overrun เพิ่มขึ้น โดยตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมทั้ง 2 ระดับ มีค่า overrun ไม่แตกต่างกัน เนื่องจากไขมันช่วยให้อากาศที่ตีเข้าไประหว่างการปั่นตัวอย่างมีความคงตัว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณไขมันที่ใช้ด้วย ว่าเพียงพอที่จะล้อมรอบฟองอากาศ ทำให้เกิดความคงตัวของผิวสัมผัสระหว่างอากาศกับน้ำในตัวอย่างหรือไม่ ส่วนปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองที่ใช้มีผลต่อค่า overrun ของตัวอย่างที่ได้ คือ ตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองจะมีค่า overrun มากกว่าตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 4 มีแนวโน้มของค่า overrun มากที่สุด แต่เมื่อเพิ่มการใช้โปรตีนถั่วเหลืองเป็นร้อยละ 6 พบว่า มีค่า overrun น้อยกว่าตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) เนื่องจากคุณสมบัติของโปรตีน คือ มีสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ สมบัติในการขึ้นฟู สมบัติในการอุ้มน้ำ การเพิ่มความหนืดของส่วนผสม ทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กที่คงที่ (นภาศรี, 2526) ดังนั้นเมื่อตัวอย่างมีความหนืดเพิ่มขึ้น ความคงตัวของโฟมที่ได้จึงดีขึ้นด้วย แต่ถ้าตัวอย่างมีความหนืดมากเกินไป จะทำให้การอัดอากาศเป็นไปได้ยาก

เมื่อวิเคราะห์ผลร่วมของทั้งสองปัจจัย พบว่า มีผลร่วมกันต่อค่า overrun ของตัวอย่างที่ได้ เนื่องจากโปรตีนมีสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ โดยโปรตีนที่เสียสภาพแล้ว จะช่วยให้เม็ดไขมันเกิดการรวมตัวกัน (agglomerated) ซึ่งการรวมตัวกันของเม็ดไขมันจะทำให้ผิวสัมผัสระหว่างอากาศกับน้ำมีความคงตัวยิ่งขึ้น (Lal และคณะ, 2006) โดยตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่มีค่า overrun มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) คือ ตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมและโปรตีนถั่วเหลืองที่ระดับร้อยละ 0 : 4, 2 : 4, 2 : 6, 3 : 2 และ 3 : 4

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.31 ผลการวิเคราะห์ค่าสีระบบ Hunter Lab (L*, a* และ b*) ความหนืด และค่า overrun ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทมิกซ์ที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองและไขมันนมในปริมาณต่างๆ

ตัวอย่างเชอร์เบทแครอทมิกซ์		ค่าสีระบบ Hunter Lab			ความหนืด (cP)	overrun (%)
ปริมาณไขมันนม (%)	ปริมาณโปรตีนถั่วเหลือง (%)	ค่า L*	ค่า a*	ค่า b*		
0.0	0.0	$28.50^{a}\pm0.21$	$13.51^{e}\pm0.29$	$11.52^{bc}\pm0.30$	$20.00^{a}\pm3.46$	$25.60^{a}\pm1.42$
	2.0	$29.80^{b}\pm0.14$	$11.44^{d}\pm0.07$	$10.50^{ab}\pm0.32$	$8.00^{a}\pm3.46$	$34.86^{cd}\pm2.80$
	4.0	$37.92^{c}\pm0.51$	$9.60^{c}\pm0.24$	$9.80^{a}\pm0.52$	$4759.00^{d}\pm271.09$	$45.61^{g}\pm1.88$
	6.0	$41.35^{d}\pm0.10$	$11.32^{d}\pm0.08$	$12.41^{c}\pm0.39$	$1844.00^{c}\pm620.80$	$37.34^{de}\pm1.39$
1.0	0.0	$38.36^{c}\pm2.26$	$6.25^{a}\pm1.45$	$21.77^{i}\pm1.63$	$46.00^{a}\pm27.06$	$33.50^{bcd}\pm1.55$
	2.0	$46.00^{e}\pm0.27$	$13.30^{e}\pm0.21$	$18.84^{f}\pm0.40$	$16.00^{a}\pm3.46$	$34.99^{cd}\pm6.10$
	4.0	$47.58^{f}\pm1.36$	$12.82^{e}\pm0.64$	$15.20^{d}\pm0.78$	$701.83^{b}\pm197.40$	$30.47^{abc}\pm3.10$
	6.0	$41.51^{d}\pm0.13$	$10.08^{c}\pm0.25$	$16.49^{e}\pm0.41$	$5371.00^{e}\pm112.62$	$28.36^{ab}\pm2.16$
2.0	0.0	$52.24^{g}\pm0.86$	$6.66^{a}\pm1.18$	$30.88^{j}\pm0.22$	$32.00^{a}\pm3.46$	$35.30^{cd}\pm3.47$
	2.0	$51.95^{g}\pm0.22$	$16.26^{g}\pm0.50$	$21.87^{i}\pm0.23$	$14.00^{a}\pm3.46$	$38.37^{def}\pm0.97$
	4.0	$53.97^{h}\pm0.30$	$15.52^{fg}\pm0.21$	$19.15^{fg}\pm1.32$	$48.00^{a}\pm15.87$	$39.59^{defg}\pm3.70$
	6.0	$56.40^{i}\pm1.12$	$15.62^{fg}\pm1.26$	$21.78^{i}\pm0.71$	$667.83^{b}\pm121.18$	$41.78^{efg}\pm4.49$
3.0	0.0	$51.60^{g}\pm0.73$	$8.24^{b}\pm1.64$	$32.09^{k}\pm0.92$	$16.00^{a}\pm3.46$	$34.36^{bcd}\pm1.54$
	2.0	$56.27^{i}\pm0.66$	$14.63^{f}\pm0.23$	$20.06^{gh}\pm1.60$	$421.33^{ab}\pm265.65$	$41.60^{efg}\pm8.04$
	4.0	$56.83^{i}\pm0.38$	$14.68^{f}\pm0.44$	$22.03^{i}\pm0.36$	$1572.00^{c}\pm187.45$	$44.19^{fg}\pm4.49$
	6.0	$54.61^{h}\pm0.99$	$14.69^{f}\pm0.17$	$20.36^{h}\pm0.10$	$5075.00^{de}\pm780.07$	$34.30^{bcd}\pm5.90$

หมายเหตุ : 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 6 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.32 ผลการวิเคราะห์ขนาดเฉลี่ยของ air cell ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองและไขมันนมในปริมาณต่างๆ ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา

ตัวอย่างเชอร์เบทแครอท		ขนาดเฉลี่ยของ air cell (μm)				
ปริมาณไขมันนม (%)	ปริมาณโปรตีนถั่วเหลือง (%)	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
0.0	0.0	$112.89^{BC}\pm5.58$	$126.84^{F}\pm5.95$	$103.42^{ABCDE}\pm5.58$	$171.32^{C}\pm7.07$	$150.53^{BC}\pm4.46$
	2.0	$124.74^{BC}\pm20.84$	$110.53^{CDEF}\pm1.49$	$150.00^{G}\pm5.95$	$142.89^{ABC}\pm13.02$	$160.79^{C}\pm4.09$
	4.0	$140.00^{C}\pm8.93$	$91.84^{ABC}\pm1.86$	$122.63D^{EF}\pm11.91$	$126.84^{AB}\pm20.84$	$134.74^{ABC}\pm9.68$
	6.0	$135.26^{C}\pm13.40$	$115.79^{DEF}\pm0.37$	$135.53^{FG}\pm4.84$	$139.47^{AB}\pm11.91$	$133.16^{ABC}\pm16.38$
1.0	0.0	$133.42^{C}\pm5.58$	$96.58^{ABCD}\pm5.58$	$127.37^{EFG}\pm22.33$	$145.79^{ABC}\pm7.44$	$147.89^{BC}\pm6.70$
	2.0	$130.53^{C}\pm17.12$	$95.53^{ABCD}\pm3.35$	$97.37^{ABCD}\pm0.74$	$153.16^{ABC}\pm31.26$	$130.00^{ABC}\pm4.46$
	4.0	$130.53^{C}\pm30.52$	$98.95^{ABCD}\pm17.12$	$108.95^{BCDEF}\pm3.72$	$142.37^{ABC}\pm1.12$	$125.00^{AB}\pm7.82$
	6.0	$137.63^{C}\pm4.09$	$122.63^{EF}\pm3.72$	$112.63^{CDEF}\pm21.58$	$140.26^{ABC}\pm4.84$	$141.05^{ABC}\pm1.49$
2.0	0.0	$138.16^{C}\pm7.82$	$121.58^{EF}\pm2.98$	$112.37^{CDEF}\pm2.60$	$135.00^{AB}\pm16.75$	$132.63^{ABC}\pm16.38$
	2.0	$133.16^{C}\pm25.31$	$91.84^{ABC}\pm3.35$	$100.26^{ABCDE}\pm4.84$	$157.37^{BC}\pm13.40$	$128.16^{AB}\pm23.45$
	4.0	$130.79^{C}\pm12.28$	$88.95^{AB}\pm10.42$	$92.63^{ABC}\pm17.86$	$133.95^{AB}\pm9.30$	$113.95^{A}\pm23.45$
	6.0	$118.95^{BC}\pm2.23$	$88.68^{AB}\pm3.35$	$75.79^{A}\pm5.21$	$124.47^{A}\pm11.54$	$110.00^{A}\pm10.42$
3.0	0.0	$110.00^{BC}\pm8.19$	$98.16^{ABCD}\pm15.26$	$101.84^{ABCDE}\pm0.37$	$137.89^{AB}\pm10.42$	$137.10^{ABC}\pm0.37$
	2.0	$95.00^{B}\pm4.09$	$84.21^{A}\pm0.74$	$114.21^{CDEF}\pm23.82$	$121.84^{A}\pm0.37$	$130.79^{ABC}\pm3.35$
	4.0	$61.05^{A}\pm14.89$	$103.95^{ABCDE}\pm16.00$	$79.47^{A}\pm5.95$	$135.53^{AB}\pm4.84$	$132.37^{ABC}\pm4.84$
	6.0	$116.05^{BC}\pm0.37$	$106.32^{BCDE}\pm13.40$	$81.32^{AB}\pm4.09$	$121.84^{A}\pm8.56$	$133.16^{ABC}\pm24.56$

หมายเหตุ : 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 6 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$)

3) ตัวอักษรใหญ่เป็นการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างเชอร์เบทแครอทในแต่ละวันที่ทำการทดลอง

3) ผลการวิเคราะห์ทางด้านโครงสร้างระดับจุลภาคของเชอร์เบทแครอท

3.1) ผลการวิเคราะห์ขนาดเฉลี่ยของ air cell

ผลการวิเคราะห์ขนาดเฉลี่ยของ air cell ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองและไขมันนมในปริมาณต่างๆ ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา ผลที่ได้แสดงดังตาราง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ที่ 4.32 โดยภาพรวมพบว่า ปริมาณไขมันนมที่ใช้มีผลต่อขนาดเฉลี่ยของ air cell ของตัวอย่างที่ได้ คือ การใช้ไขมันนมร้อยละ 2 และร้อยละ 3 จะส่งผลให้ตัวอย่างที่ได้มีขนาดเฉลี่ยของ air cell น้อยกว่าตัวอย่างอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมร้อยละ 1 มีขนาดเฉลี่ยของ air cell ไม่แตกต่างกับตัวอย่างที่ไม่ใช้ไขมันนม เนื่องจากอนุภาคไขมันที่อาจเกิดการรวมตัว (agglomerated) ล้อมรอบฟองอากาศ ทำให้เกิดความคงตัวของ air/water interface (Lal และคณะ, 2006) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณไขมันที่ใช้ด้วย ว่าเพียงพอที่จะล้อมรอบฟองอากาศ ทำให้เกิดความคงตัวของผิวสัมผัสระหว่างอากาศกับน้ำในตัวอย่างหรือไม่ โดยผลที่ได้สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่า overrun คือ เมื่อเพิ่มการใช้ไขมันนมเป็นร้อยละ 2 และร้อยละ 3 จะส่งผลให้ตัวอย่างที่ได้มีค่า overrun เพิ่มขึ้น โดยตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมทั้ง 2 ระดับ มีค่า overrun ไม่แตกต่างกัน ซึ่ง Sofjan และ Hartel (2004) ได้ศึกษาพบว่า เมื่อค่า overrun เพิ่มขึ้น ขนาดเฉลี่ยของ air cell จะเล็กลง ส่วนปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองที่ใช้มีผลต่อขนาดเฉลี่ยของ air cell ของตัวอย่างที่ได้ คือ ตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 4 มีแนวโน้มขนาดเฉลี่ยของ air cell น้อยที่สุด แต่ตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 2 และร้อยละ 6 มีขนาดเฉลี่ยของ air cell ใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีนถั่วเหลือง เนื่องจากคุณสมบัติของโปรตีน คือ การเพิ่มความหนืดของส่วนผสม ทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กที่คงที่ (นภาศรี, 2526) ซึ่งเกี่ยวข้องกับความเหมาะสมของปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองที่ใช้ด้วย โดยถ้าใช้โปรตีนถั่วเหลืองในปริมาณน้อยเกินไป ตัวอย่างที่ได้จะมีค่าความหนืดไม่แตกต่างกับตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีนถั่วเหลือง แต่ถ้าใช้โปรตีนถั่วเหลืองในปริมาณมากเกินไป ตัวอย่างที่ได้จะมีค่าความหนืดมากเกินไป ทำให้ฟองอากาศขาดความคงตัว ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่า overrun คือ ตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 6 มีค่า overrun น้อยกว่าตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อวิเคราะห์ผลร่วมของทั้งสองปัจจัย พบว่า มีผลร่วมกันต่อขนาดเฉลี่ยของ air cell ของตัวอย่างที่ได้ เนื่องจากองค์ประกอบที่อยู่รอบๆ ฟองอากาศจะเป็น non-newtonian fluid ประกอบด้วยกลุ่มของไขมัน (มากกว่า 80%) และผลึกน้ำแข็งเล็กๆ (Aime และคณะ, 2001) ส่วนโปรตีนมีสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ ช่วยทำให้อนุภาคไขมันเกิดความคงตัว ส่งผลให้ฟองอากาศที่ได้มีความคงตัวด้วย ซึ่งแนวโน้มของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่มีขนาดเฉลี่ยของ air cell น้อยที่สุดในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา คือ ตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมและโปรตีนถั่วเหลืองที่ระดับร้อยละ 1 : 2, 2 : 4, 2 : 6, 3 : 0 และ 3 : 4

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.33 ผลการวิเคราะห์ขนาดเฉลี่ยของผลึกน้ำแข็งของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองและไขมันนมในปริมาณต่างๆ ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา

ตัวอย่างเชอร์เบทแครอท		ขนาดเฉลี่ยของผลึกน้ำแข็ง (μm)				
ปริมาณไขมันนม (%)	ปริมาณโปรตีนถั่วเหลือง (%)	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
0.0	0.0	$79.47^{A}\pm8.19$	$77.36^{ABC}\pm5.21$	$98.94^{DEF}\pm1.49$	$84.21^{CD}\pm7.44$	$78.07^{CDEF}\pm1.24$
	2.0	$83.16^{A}\pm13.40$	$70.52^{AB}\pm8.93$	$92.10^{BCDE}\pm8.18$	$81.18^{BCD}\pm8.75$	$94.08^{GH}\pm10.24$
	4.0	$115.79^{BC}\pm5.95$	$64.26^{AB}\pm3.42$	$92.93^{BCDE}\pm0.42$	$80.52^{BCD}\pm2.23$	$66.84^{ABCD}\pm0.74$
	6.0	$103.60^{AB}\pm8.29$	$105.26^{D}\pm14.88$	$96.84^{CDEF}\pm7.44$	$98.16^{E}\pm1.12$	$65.52^{ABCD}\pm7.81$
1.0	0.0	$144.74^{C}\pm15.63$	$65.26^{AB}\pm2.98$	$111.06^{F}\pm0.74$	$60.52^{A}\pm3.73$	$99.64^{H}\pm1.99$
	2.0	$117.37^{BC}\pm9.67$	$69.64^{AB}\pm10.67$	$95.26^{CDEF}\pm0.74$	$68.42^{AB}\pm2.98$	$84.47^{EFGH}\pm3.35$
	4.0	$117.48^{BC}\pm0.91$	$54.47^{A}\pm21.21$	$97.90^{DEF}\pm4.46$	$66.14^{A}\pm5.71$	$72.10^{BCDE}\pm8.18$
	6.0	$109.12^{AB}\pm14.39$	$62.10^{AB}\pm0.42$	$101.58^{DEF}\pm5.21$	$85.00^{CD}\pm2.60$	$56.80^{AB}\pm10.85$
2.0	0.0	$92.98^{AB}\pm17.37$	$82.63^{BCD}\pm9.67$	$108.95^{EF}\pm8.19$	$63.68^{A}\pm0.74$	$67.36^{ABCD}\pm14.88$
	2.0	$104.48^{AB}\pm2.61$	$85.52^{BCD}\pm5.58$	$103.68^{DEF}\pm9.68$	$128.82^{F}\pm2.04$	$71.58^{BCDE}\pm5.95$
	4.0	$118.42^{BC}\pm11.16$	$68.42^{AB}\pm22.33$	$77.90^{AB}\pm8.93$	$83.68^{CD}\pm6.70$	$98.60^{H}\pm6.95$
	6.0	$97.90^{AB}\pm4.46$	$71.06^{AB}\pm11.16$	$76.84^{AB}\pm1.48$	$73.16^{ABC}\pm6.70$	$51.58^{A}\pm1.48$
3.0	0.0	$94.74^{AB}\pm13.40$	$98.94^{CD}\pm1.49$	$79.76^{ABC}\pm15.22$	$70.30^{AB}\pm2.66$	$62.40^{ABC}\pm1.07$
	2.0	$94.74^{AB}\pm28.28$	$73.68^{ABC}\pm5.95$	$72.63^{A}\pm10.42$	$97.90^{E}\pm10.42$	$75.56^{CDE}\pm4.79$
	4.0	$117.54^{BC}\pm2.48$	$106.66^{D}\pm6.95$	$88.95^{ABCD}\pm8.19$	$80.88^{BCD}\pm0.25$	$79.47^{DEFG}\pm3.72$
	6.0	$116.84^{BC}\pm13.40$	$63.16^{AB}\pm14.88$	$95.26^{CDEF}\pm0.74$	$87.90^{DE}\pm9.68$	$91.58^{FGH}\pm2.98$

หมายเหตุ : 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 6 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$)

3) ตัวอักษรใหญ่เป็นการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างเชอร์เบทแครอทในแต่ละวันที่ทำการทดลอง

3.2) ผลการวิเคราะห์ขนาดเฉลี่ยของผลึกน้ำแข็ง

ผลการวิเคราะห์ขนาดเฉลี่ยของผลึกน้ำแข็งของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองและไขมันนมในปริมาณต่างๆ ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา ผลที่ได้แสดง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ดังตารางที่ 4.33 โดยภาพรวมพบว่า การใช้ปริมาณไขมันนมทั้ง 4 ระดับ มีผลต่อขนาดเฉลี่ยของผลึกน้ำแข็งของตัวอย่างที่ได้ใกล้เคียงกัน ซึ่งในสัปดาห์ที่ 4 ของการเก็บรักษาจะเห็นได้ว่า ตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมทั้ง 4 ระดับ มีขนาดเฉลี่ยของผลึกน้ำแข็งไม่แตกต่างกัน อาจเนื่องจากปริมาณไขมันนมที่ใช้ทั้ง 4 ระดับ ไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดของตัวอย่างที่ได้ ดังนั้น จึงมีปริมาณของเหลวทั้งหมดในตัวอย่างไม่แตกต่างกัน ขนาดเฉลี่ยของผลึกน้ำแข็งที่วิเคราะห์ได้จึงมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองที่ใช้มีผลต่อขนาดเฉลี่ยของผลึกน้ำแข็งของตัวอย่างที่ได้ คือ ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา ตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 6 มีแนวโน้มขนาดเฉลี่ยของผลึกน้ำแข็งน้อยที่สุด แต่ตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 2 และร้อยละ 4 มีแนวโน้มขนาดเฉลี่ยของผลึกน้ำแข็งใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีนถั่วเหลือง อาจเนื่องจากการใช้โปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 6 ส่งผลให้ตัวอย่างที่ได้มีปริมาณของแข็งทั้งหมดมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จึงมีปริมาณของเหลวทั้งหมดในตัวอย่างน้อยที่สุดด้วย อีกทั้งยังมีค่าความหนืดมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังนั้น การเจริญและการรวมตัวกันของผลึกน้ำแข็งจึงเกิดขึ้นได้ยากกว่าตัวอย่างอื่น

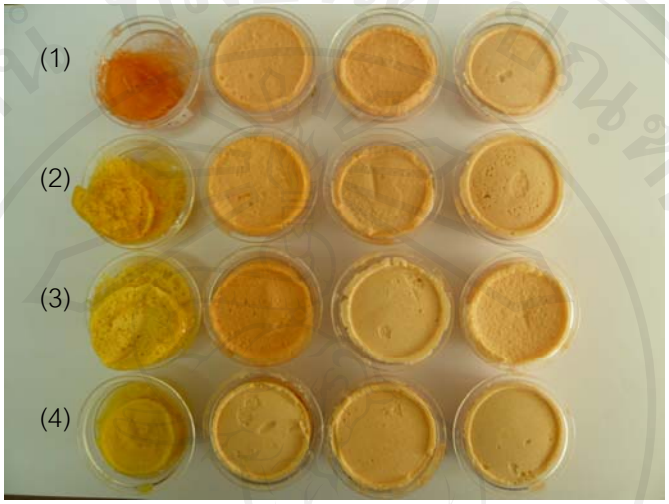
เมื่อวิเคราะห์ผลร่วมของทั้งสองปัจจัย พบว่า มีผลร่วมกันต่อขนาดเฉลี่ยของผลึกน้ำแข็งของตัวอย่างที่ได้ เนื่องจากโปรตีนมีสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ โดยโปรตีนที่เสียสภาพแล้ว จะช่วยให้เม็ดไขมันเกิดการรวมตัวกัน (agglomerated) ซึ่งการรวมตัวกันของเม็ดไขมันจะทำให้ผิวสัมผัสระหว่างอากาศกับน้ำมีความคงตัวยิ่งขึ้น ลดที่ว่างของการเกิดผลึกน้ำแข็งในโครงสร้างของตัวอย่าง (Lal และคณะ, 2006) ซึ่งแนวโน้มของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่มีขนาดเฉลี่ยของผลึกน้ำแข็งน้อยที่สุด ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา คือ ตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมและโปรตีนถั่วเหลืองที่ระดับร้อยละ 2 : 6

3.3) ผลการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเครื่อง scanning electron microscope

การวิเคราะห์โครงสร้างของตัวอย่างด้วยเครื่อง scanning electron microscope (SEM) ต้องเตรียมตัวอย่างเชอร์เบทแครอทให้อยู่ในรูปของแข็งก่อน เพื่อไม่ให้ตัวอย่างละลายระหว่างการวิเคราะห์ โดยเลือกใช้กระบวนการ freeze dry เนื่องจากเหมาะสมสำหรับการทำแห้งผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็ง และสามารถคงสภาพโครงสร้างของตัวอย่างไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้มากที่สุด ซึ่งตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้ไขมันนมและโปรตีนถั่วเหลืองในปริมาณต่างๆ ที่ผ่านการ freeze dry แล้ว ลักษณะของตัวอย่างที่ได้แสดงดังภาพที่ 4.4 โดยจะเห็นได้ว่า ตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองตั้งแต่ร้อยละ 2 ขึ้นไป จะมีสภาพโครงสร้างใกล้เคียงกับตัวอย่างเดิมก่อนการทำแห้ง แต่ตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีนถั่วเหลือง ลักษณะของตัวอย่างที่ได้หลังการทำแห้งจะเสียสภาพไปจากเดิม โดยฟองอากาศเกิดการยุบตัว ทำให้ตัวอย่างหดตัวลงดังภาพ เนื่องจากคุณสมบัติของโปรตีนในการช่วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

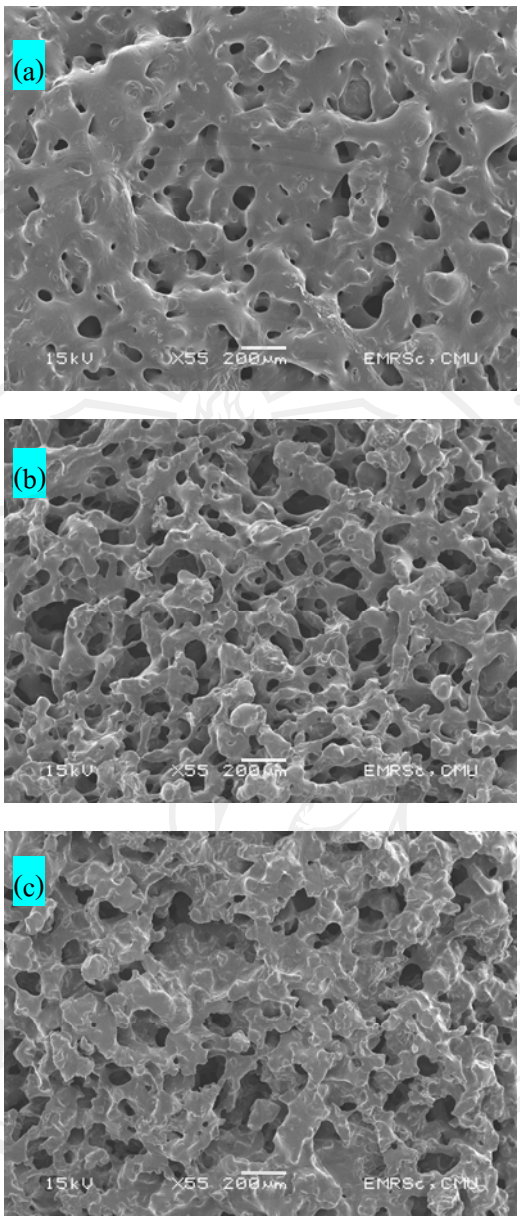
เพิ่มความหนืดของส่วนผสม ทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กที่คงที่ (นภาศรี, 2526) อีกทั้งการใช้โปรตีนถั่วเหลืองส่งผลให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดในตัวอย่างเพิ่มขึ้น ดังนั้น สัดส่วนของน้ำที่ระเหยออกไปจึงน้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีนถั่วเหลือง ตัวอย่างที่ได้หลังการทำแห้งจึงมีความคงตัวมากกว่า



ภาพที่ 4.4 ตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้ไขมันนมและโปรตีนถั่วเหลืองในปริมาณต่างๆ ที่ผ่านการ freeze dry ทั้ง 16 ตัวอย่าง โดยเรียงจากซ้ายไปขวา ตามลำดับ;
แถวที่ (1) ตัวอย่างใช้ไขมันนมและโปรตีนถั่วเหลืองระดับร้อยละ 0 : 0, 0 : 2, 0 : 4, 0 : 6
แถวที่ (2) ตัวอย่างใช้ไขมันนมและโปรตีนถั่วเหลืองระดับร้อยละ 1 : 0, 1 : 2, 1 : 4, 1 : 6
แถวที่ (3) ตัวอย่างใช้ไขมันนมและโปรตีนถั่วเหลืองระดับร้อยละ 2 : 0, 2 : 2, 2 : 4, 2 : 6
แถวที่ (4) ตัวอย่างใช้ไขมันนมและโปรตีนถั่วเหลืองระดับร้อยละ 3 : 0, 3 : 2, 3 : 4, 3 : 6

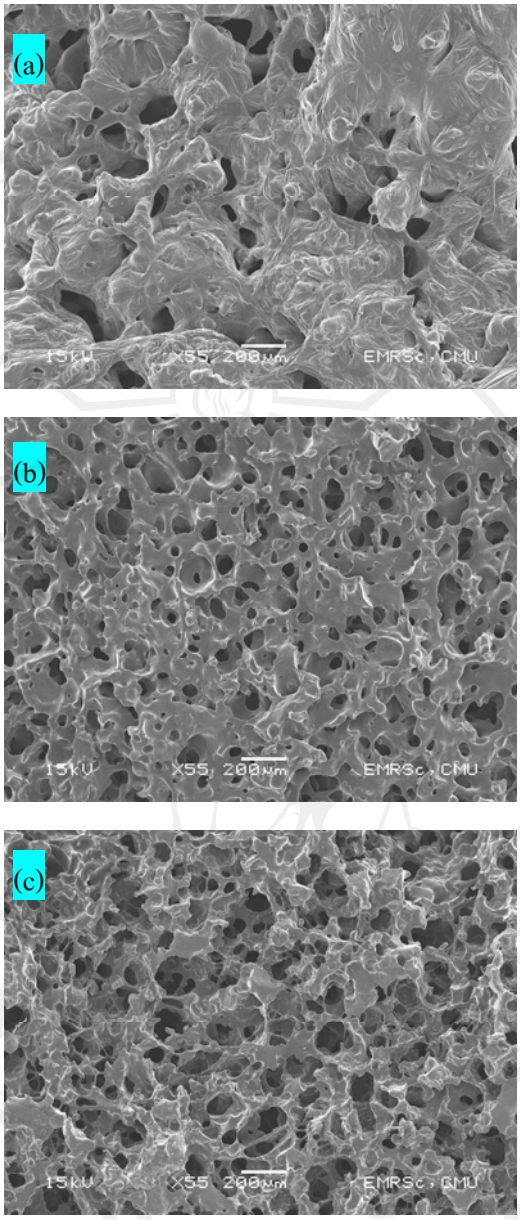
จากผลการ freeze dry ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองและไขมันนมในปริมาณต่างๆ จึงเลือกเฉพาะตัวอย่างที่คงสภาพโครงสร้างเดิมใกล้เคียงกับก่อนการทำแห้งมาวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเครื่อง scanning electron microscope (SEM) ที่กำลังขยาย 55 เท่า ผลที่ได้แสดงดังภาพที่ 4.5 – ภาพที่ 4.8 พบว่า เมื่อใช้ปริมาณไขมันนมเพิ่มขึ้น โครงสร้างของตัวอย่างที่ได้จะมีรูพรุนของฟองอากาศเพิ่มขึ้น และฟองอากาศมีขนาดเล็กลงตามปริมาณไขมันนมที่ใช้เพิ่มขึ้นด้วย สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่า overrun และขนาดเฉลี่ยของ air cell ส่วนการใช้ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้โครงสร้างของตัวอย่างที่ได้จะมีรูพรุนของฟองอากาศเพิ่มขึ้นและฟองอากาศมีขนาดเล็กลงตามปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองที่ใช้เพิ่มขึ้นด้วยเช่นเดียวกัน เนื่องจากคุณสมบัติของโปรตีนในการช่วยเพิ่มความหนืดของส่วนผสม ทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กที่คงที่ (นภาศรี, 2526)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



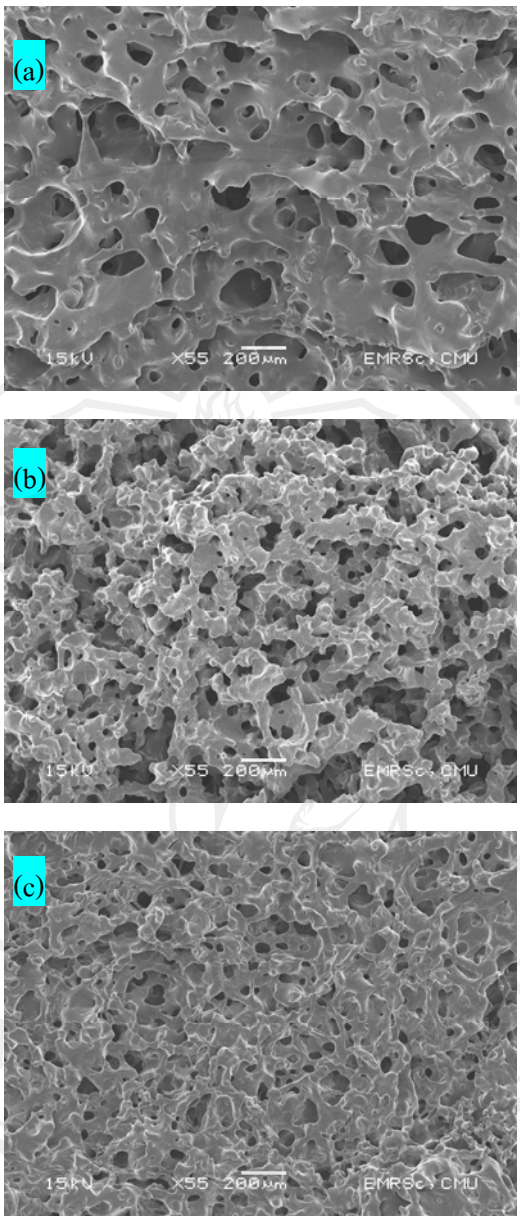
ภาพที่ 4.5 ภาพถ่ายโครงสร้างตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้ไขมันนมและโปรตีนถั่วเหลืองในปริมาณต่างๆ ในสัปดาห์ที่ 4 ของการเก็บรักษา ด้วยเครื่อง scanning electron microscope (SEM); (a) ตัวอย่างใช้ไขมันนมและโปรตีนถั่วเหลืองระดับร้อยละ 0 : 2, (b) 0 : 4, (c) 0 : 6

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



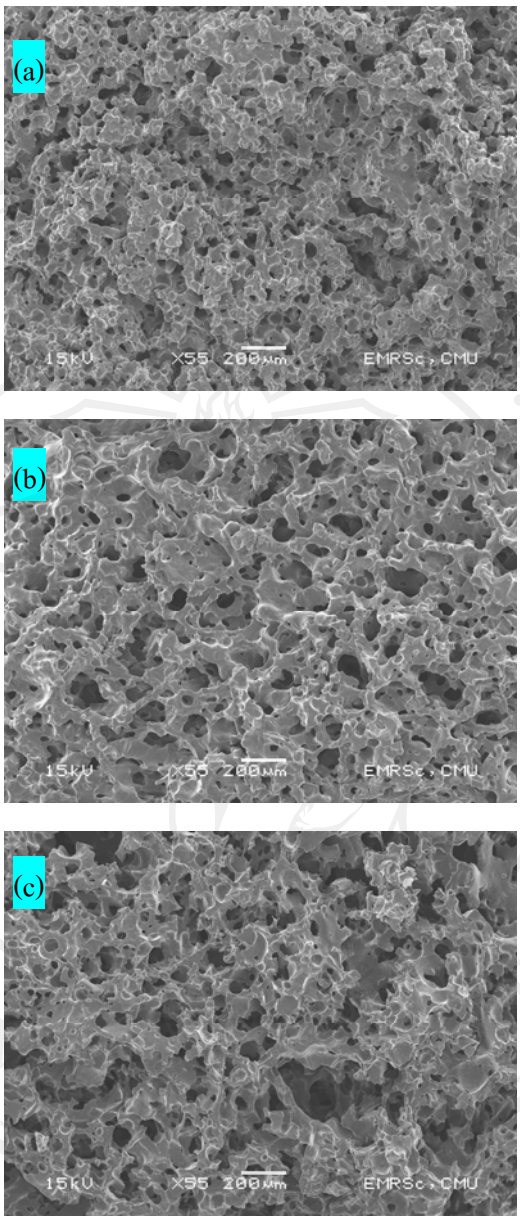
ภาพที่ 4.6 ภาพถ่ายโครงสร้างตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้ไขมันนมและโปรตีนถั่วเหลืองในปริมาณต่างๆ ในสัปดาห์ที่ 4 ของการเก็บรักษา ด้วยเครื่อง scanning electron microscope (SEM); (a) ตัวอย่างใช้ไขมันนมและโปรตีนถั่วเหลืองระดับร้อยละ 1 : 2, (b) 1 : 4, (c) 1 : 6

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.7 ภาพถ่ายโครงสร้างตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้ไขมันนมและโปรตีนถั่วเหลืองในปริมาณต่างๆ ในสัปดาห์ที่ 4 ของการเก็บรักษา ด้วยเครื่อง scanning electron microscope (SEM); (a) ตัวอย่างใช้ไขมันนมและโปรตีนถั่วเหลืองระดับร้อยละ 2 : 2, (b) 2 : 4, (c) 2 : 6

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.8 ภาพถ่ายโครงสร้างตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้ไขมันนมและโปรตีนถั่วเหลืองในปริมาณต่างๆ ในสัปดาห์ที่ 4 ของการเก็บรักษา ด้วยเครื่อง scanning electron microscope (SEM); (a) ตัวอย่างใช้ไขมันนมและโปรตีนถั่วเหลืองระดับร้อยละ 3 : 2, (b) 3 : 4, (c) 3 : 6

เมื่อวิเคราะห์ผลร่วมของทั้งสองปัจจัย พบว่า มีผลร่วมกันต่อโครงสร้างของตัวอย่างที่ได้ เนื่องจากโปรตีนมีสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ โดยโปรตีนที่เสียสภาพแล้ว จะช่วยให้เม็ดไขมันเกิดการรวมตัวกัน (agglomerated) ซึ่งการรวมตัวกันของเม็ดไขมันจะทำให้ผิวสัมผัสระหว่างอากาศกับน้ำมีความคงตัวยิ่งขึ้น ลดที่ว่างของการเกิดผลึกน้ำแข็งในโครงสร้างของตัวอย่าง (Lal และคณะ, 2006) โดยจากภาพที่ 4.5 – ภาพที่ 4.8 พบว่า แนวโน้มของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่มีโครงสร้างที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ดีที่สุด คือ มีรูพรุนของฟองอากาศขนาดเล็กจำนวนมาก ซึ่งหมายถึง ขณะปั่นสามารถตีอากาศเข้าไปในตัวอย่างได้มาก และฟองอากาศที่ได้มีความคงตัวสูง ได้แก่ ตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมและโปรตีนถั่วเหลืองที่ระดับร้อยละ 1 : 4, 1 : 6, 2 : 4, 2 : 6, 3 : 2, 3 : 4 และ 3 : 6

4) ผลการวิเคราะห์ทางด้านกายภาพของเชอร์เบทแครอท

ลักษณะของตัวอย่างเชอร์เบทแครอททั้ง 16 ตัวอย่าง แสดงให้เห็นดังภาพที่ 4.9 พบว่าตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมมีลักษณะสีเหลือง เพราะแคโรทีนอยด์เกิดการสลายตัว เนื่องจากปฏิกิริยา oxidative degradation จาก action ของอนุมูลอิสระที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมัน (นิธิยา, 2549) และตัวอย่างที่ได้มีสีเหลืองมากขึ้น ตามปริมาณไขมันนมที่ใช้มากขึ้น แต่ตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองมีลักษณะสีส้มตามสีของแคโรทีนอยด์ที่เป็นรงควัตถุหลักในน้ำแครอท เช่นเดียวกับตัวอย่างที่ไม่ใช้ทั้งไขมันนมและโปรตีนถั่วเหลือง

ภาพที่ 4.9 ตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้ไขมันนมและโปรตีนถั่วเหลืองในปริมาณต่างๆ ทั้ง 16 ตัวอย่าง โดยเรียงจากซ้ายไปขวา ตามลำดับ;
แถวที่ (1) ตัวอย่างใช้ไขมันนมและโปรตีนถั่วเหลืองระดับร้อยละ 0 : 0, 0 : 2, 0 : 4, 0 : 6
แถวที่ (2) ตัวอย่างใช้ไขมันนมและโปรตีนถั่วเหลืองระดับร้อยละ 1 : 0, 1 : 2, 1 : 4, 1 : 6
แถวที่ (3) ตัวอย่างใช้ไขมันนมและโปรตีนถั่วเหลืองระดับร้อยละ 2 : 0, 2 : 2, 2 : 4, 2 : 6
แถวที่ (4) ตัวอย่างใช้ไขมันนมและโปรตีนถั่วเหลืองระดับร้อยละ 3 : 0, 3 : 2, 3 : 4, 3 : 6

ตัวอย่างที่ใช้ทั้งไขมันนมและโปรตีนถั่วเหลืองร่วมกัน พบว่า ตัวอย่างที่ได้มีสีส้มตามสีของแคโรทีนอยด์ที่เป็นรงควัตถุหลักในน้ำแครอท แต่ความเข้มของสีจะแตกต่างกันตามปริมาณไขมันนมและโปรตีนถั่วเหลืองที่ใช้ (ดังภาพที่ 4.9) อาจเนื่องจากอิทธิพลจากการใช้โปรตีนถั่วเหลือง ซึ่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ลักษณะของตัวอย่างที่ได้มีสีส้มจึงบดบังลักษณะสีเหลืองจากการใช้ไขมันนม และเมื่อนำทุกตัวอย่างมาวัดค่าสี ผลที่ได้มีดังนี้ คือ

ตารางที่ 4.34 ผลการวิเคราะห์ค่าความสว่างของสี (ค่า L*) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองและไขมันนมในปริมาณต่างๆ ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา

ตัวอย่างเชอร์เบทแครอท		ค่า L*				
ปริมาณไขมันนม (%)	ปริมาณโปรตีนถั่วเหลือง (%)	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
0.0	0.0	$53.97^{A}\pm0.48$	$54.96^{A}\pm1.14$	$57.07^{A}\pm0.42$	$56.95^{A}\pm2.59$	$55.10^{A}\pm0.56$
	2.0	$63.08^{DE}\pm0.69$	$61.90^{CDE}\pm1.42$	$64.10^{DEF}\pm1.19$	$62.80^{BC}\pm1.99$	$63.48^{C}\pm3.01$
	4.0	$63.09^{DE}\pm0.34$	$64.14^{F}\pm1.05$	$61.90^{BC}\pm0.86$	$64.73^{CD}\pm2.05$	$61.16^{BC}\pm2.72$
	6.0	$60.54^{BC}\pm0.51$	$61.38^{CD}\pm0.58$	$64.54^{DEF}\pm0.93$	$63.62^{C}\pm1.54$	$62.74^{C}\pm1.22$
1.0	0.0	$63.39^{EF}\pm2.86$	$64.94^{F}\pm1.62$	$65.55^{FG}\pm1.52$	$65.27^{CDE}\pm1.49$	$63.84^{CD}\pm1.37$
	2.0	$59.28^{B}\pm0.87$	$61.06^{BC}\pm0.84$	$61.00^{B}\pm0.98$	$60.24^{B}\pm0.61$	$59.92^{B}\pm2.40$
	4.0	$61.24^{BCD}\pm1.64$	$63.74^{EF}\pm1.28$	$65.06^{EF}\pm1.16$	$63.49^{C}\pm1.44$	$63.62^{C}\pm1.79$
	6.0	$59.94^{B}\pm0.58$	$63.22^{DEF}\pm1.43$	$62.98^{CD}\pm0.47$	$60.66^{B}\pm1.31$	$59.72^{B}\pm0.57$
2.0	0.0	$68.74^{HI}\pm0.59$	$68.87^{GH}\pm1.19$	$70.43^{JK}\pm1.39$	$67.29^{DEF}\pm3.00$	$68.86^{E}\pm3.20$
	2.0	$62.31^{CDE}\pm1.96$	$59.35^{B}\pm2.86$	$63.83^{DE}\pm1.67$	$60.69^{B}\pm3.06$	$61.78^{BC}\pm3.63$
	4.0	$66.94^{GH}\pm0.72$	$66.89^{G}\pm0.33$	$66.88^{GHI}\pm0.48$	$66.31^{DEF}\pm0.70$	$66.48^{DE}\pm0.76$
	6.0	$67.76^{HI}\pm0.60$	$68.99^{H}\pm0.34$	$67.60^{I}\pm0.55$	$67.66^{EF}\pm1.08$	$67.51^{E}\pm1.78$
3.0	0.0	$65.17^{FG}\pm2.84$	$71.39^{I}\pm1.10$	$71.81^{K}\pm1.89$	$68.29^{F}\pm4.02$	$68.87^{E}\pm3.78$
	2.0	$68.50^{HI}\pm0.82$	$67.70^{GH}\pm0.73$	$65.76^{FGH}\pm0.82$	$67.99^{EF}\pm2.20$	$66.47^{DE}\pm1.87$
	4.0	$68.71^{HI}\pm0.92$	$68.23^{GH}\pm1.26$	$67.30^{HI}\pm0.32$	$67.16^{DEF}\pm1.71$	$67.34^{E}\pm0.94$
	6.0	$69.28^{I}\pm0.30$	$68.02^{GH}\pm1.07$	$69.54^{J}\pm0.46$	$68.98^{F}\pm2.25$	$68.62^{E}\pm1.57$

หมายเหตุ : 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 6 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$)

3) ตัวอักษรใหญ่เป็นการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างเชอร์เบทแครอทในแต่ละวันที่ทำการทดลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1) ผลการวิเคราะห์ค่าสีระบบ Hunter Lab

4.1.1) ผลการวิเคราะห์ค่าความสว่างของสี (ค่า L*) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองและไขมันนมในปริมาณต่างๆ ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.34 โดยภาพรวมพบว่า ปริมาณไขมันนมที่ใช้มีผลต่อค่าความสว่างของสี (ค่า L*) ของตัวอย่างที่ได้ คือ เมื่อใช้ปริมาณไขมันนมเพิ่มขึ้น ตัวอย่างที่ได้จะมีแนวโน้มค่าความสว่างของสีเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) แม้ว่าในช่วง 2 สัปดาห์แรกของการเก็บรักษาตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมร้อยละ 1 จะมีค่าความสว่างของสีไม่แตกต่างกับตัวอย่างที่ไม่ใช้ไขมันนม เนื่องจากไขมันนมที่ใช้มีสีเหลืองอ่อน เกือบเป็นสีขาว ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่าความสว่างของสีของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทมิกซ์ ส่วนปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองที่ใช้มีผลต่อค่าความสว่างของสี (ค่า L*) ของตัวอย่างเช่นเดียวกัน คือ เมื่อใช้ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น ตัวอย่างที่ได้จะมีแนวโน้มค่าความสว่างของสีเพิ่มขึ้น โดยตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 2 มีค่าความสว่างของสีน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) แม้ว่าตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 4 จะมีค่าความสว่างของสีไม่แตกต่างกับตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 6 เนื่องจากโปรตีนถั่วเหลืองที่ใช้มีสีเหลือง ทำให้ตัวอย่างที่ได้มีสีส้มตามสีของแคโรทีนอยด์ที่เป็นรงควัตถุหลักในน้ำแครอท มีลักษณะจางลง ค่าความสว่างของสีของตัวอย่างจึงเพิ่มขึ้น

เมื่อวิเคราะห์ผลร่วมของทั้งสองปัจจัย พบว่า มีผลร่วมกันต่อค่าความสว่างของสี (ค่า L*) ของตัวอย่าง โดยแนวโน้มของตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมร่วมกับโปรตีนถั่วเหลืองในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความสว่างของสี (ค่า L*) ของตัวอย่างเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากทั้งไขมันนมและโปรตีนถั่วเหลืองมีลักษณะเป็นสีเหลือง จึงทำให้ตัวอย่างที่ได้มีสีส้มตามสีของแคโรทีนอยด์ที่เป็นรงควัตถุหลักในน้ำแครอท มีลักษณะจางลง ค่าความสว่างของสีของตัวอย่างจึงเพิ่มขึ้น

4.1.2) ผลการวิเคราะห์ค่าสีแดง (ค่า a*) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองและไขมันนมในปริมาณต่างๆ ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.35 โดยภาพรวมพบว่า ปริมาณไขมันนมที่ใช้มีผลต่อค่าสีแดง (ค่า a*) ของตัวอย่างที่ได้ คือ เมื่อใช้ปริมาณไขมันนมเพิ่มขึ้น ตัวอย่างที่ได้จะมีค่าสีแดงลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) เนื่องจากตัวอย่างที่ใช้ไขมันนม แคโรทีนอยด์อาจเกิดการสลายตัว เพราะปฏิกิริยา oxidative degradation จาก action ของอนุมูลอิสระที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมัน (นิธิยา, 2549) ทำให้ตัวอย่างที่ได้เปลี่ยนจากสีส้มตามสีของแคโรทีนอยด์ที่เป็นรงควัตถุหลักในน้ำแครอท เป็นสีเหลืองมากขึ้น ตามปริมาณไขมันนมที่ใช้มากขึ้น ส่วนปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองที่ใช้มีผลต่อค่าสีแดง (ค่า a*) ของตัวอย่างที่ได้ คือ ตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองจะมีค่าสีแดงมากกว่าตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) แต่ตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองในปริมาณที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เพิ่มขึ้น จะมีแนวโน้มค่าสีแดงของตัวอย่างที่ได้ลดลง โดยตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 2 มีค่าสีแดงมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากโปรตีนถั่วเหลืองที่ใช้มีลักษณะเป็นสีเหลือง

ตารางที่ 4.35 ผลการวิเคราะห์ค่าสีแดง (ค่า a*) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองและไขมันนมในปริมาณต่างๆ ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา

ตัวอย่างเชอร์เบทแครอท		ค่า a*				
ปริมาณไขมันนม (%)	ปริมาณโปรตีนถั่วเหลือง (%)	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
0.0	0.0	$16.48^{IK}\pm0.03$	$17.05^{I}\pm0.20$	$16.48^{J}\pm0.50$	$16.55^{IJ}\pm0.13$	$16.69^{J}\pm0.50$
	2.0	$15.96^{IJ}\pm0.80$	$16.46^{HI}\pm0.26$	$15.83^{IJ}\pm0.36$	$16.01^{HI}\pm0.52$	$15.60^{HI}\pm0.42$
	4.0	$15.65^{HI}\pm0.13$	$15.68^{GH}\pm0.45$	$15.45^{HI}\pm0.34$	$15.48^{GH}\pm0.36$	$16.58^{J}\pm0.34$
	6.0	$16.04^{IJ}\pm0.56$	$15.50^{FGH}\pm0.16$	$15.38^{GHI}\pm0.37$	$15.53^{GH}\pm0.24$	$15.54^{HI}\pm0.48$
1.0	0.0	$6.88^{C}\pm0.36$	$7.24^{C}\pm0.62$	$7.05^{C}\pm0.48$	$7.67^{C}\pm0.45$	$7.62^{C}\pm0.55$
	2.0	$16.06^{IJ}\pm0.63$	$17.06^{I}\pm0.81$	$15.66^{HI}\pm0.54$	$15.88^{GHI}\pm0.52$	$15.75^{I}\pm0.44$
	4.0	$15.10^{H}\pm0.22$	$15.71^{GH}\pm0.51$	$14.57^{FG}\pm0.31$	$15.14^{FGH}\pm0.47$	$15.70^{I}\pm0.04$
	6.0	$14.44^{G}\pm0.36$	$14.76^{EFG}\pm0.53$	$14.84^{FGH}\pm0.38$	$15.66^{GH}\pm0.39$	$14.96^{FGH}\pm0.24$
2.0	0.0	$1.44^{B}\pm0.20$	$3.27^{B}\pm2.15$	$2.96^{B}\pm0.95$	$3.10^{B}\pm1.09$	$3.08^{B}\pm0.57$
	2.0	$16.86^{K}\pm0.37$	$16.25^{HI}\pm0.37$	$16.59^{J}\pm0.40$	$17.32^{J}\pm0.44$	$16.68^{J}\pm0.34$
	4.0	$13.69^{EF}\pm0.33$	$15.52^{FGH}\pm0.35$	$15.25^{GHI}\pm0.55$	$13.98^{DE}\pm0.68$	$15.34^{GHI}\pm0.37$
	6.0	$14.33^{FG}\pm0.24$	$14.64^{EFG}\pm0.25$	$14.86^{FGH}\pm0.22$	$14.56^{EF}\pm0.34$	$14.04^{E}\pm0.86$
3.0	0.0	$-1.38^{A}\pm0.84$	$-1.32^{A}\pm0.51$	$-1.36^{A}\pm0.83$	$-1.36^{A}\pm0.98$	$-1.58^{A}\pm0.55$
	2.0	$14.15^{FG}\pm0.67$	$14.12^{E}\pm0.30$	$14.16^{EF}\pm0.44$	$15.03^{FG}\pm0.63$	$14.28^{EF}\pm0.56$
	4.0	$13.13^{E}\pm0.55$	$14.49^{EF}\pm0.23$	$13.77^{E}\pm0.23$	$14.30^{EF}\pm0.26$	$14.75^{FG}\pm0.15$
	6.0	$11.79^{D}\pm0.33$	$12.30^{D}\pm0.23$	$12.23^{D}\pm0.69$	$13.34^{D}\pm0.55$	$13.08^{D}\pm0.44$

หมายเหตุ : 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 6 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$)

3) ตัวอักษรใหญ่เป็นการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างเชอร์เบทแครอทในแต่ละวันที่ทำการทดลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อวิเคราะห์ผลร่วมของทั้งสองปัจจัย พบว่า มีผลร่วมกันต่อค่าสีแดง (ค่า a*) ของตัวอย่างที่ได้ เนื่องจากทั้งไขมันนมและโปรตีนถั่วเหลืองมีลักษณะเป็นสีเหลือง แม้ว่าจะมีความเข้มของสีที่ต่างกัน

ตารางที่ 4.36 ผลการวิเคราะห์ค่าสีเหลือง (ค่า b*) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองและไขมันนมในปริมาณต่างๆ ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา

ตัวอย่างเชอร์เบทแครอท		ค่า b*				
ปริมาณไขมันนม (%)	ปริมาณโปรตีนถั่วเหลือง (%)	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
0.0	0.0	18.49^{AB}±0.34	17.81^{AB}±0.36	17.95^{A}±0.53	18.48^{AB}±0.76	18.28^{AB}±0.80
	2.0	18.32^{AB}±0.62	17.79^{AB}±0.32	17.94^{A}±0.07	17.80^{AB}±1.18	17.84^{A}±0.36
	4.0	17.68^{A}±0.16	16.52^{A}±0.19	17.35^{A}±0.34	17.41^{A}±0.32	17.79^{A}±0.54
	6.0	17.91^{A}±0.22	18.26^{BC}±0.66	17.72^{A}±0.27	19.27^{BC}±0.18	18.73^{ABC}±0.87
1.0	0.0	29.30^{H}±0.62	29.10^{H}±0.74	27.83^{G}±0.76	29.74^{H}±0.65	28.62^{G}±1.18
	2.0	20.83^{EF}±0.80	21.47^{F}±0.35	21.06^{CDE}±0.44	20.95^{DEF}±0.95	20.58^{BCDE}±0.70
	4.0	19.17^{BC}±0.59	19.90^{DE}±0.40	18.35^{A}±0.52	20.34^{CD}±1.14	20.78^{CDE}±1.25
	6.0	20.20^{DE}±0.41	19.44^{CD}±0.34	20.92^{CD}±0.30	20.62^{CDE}±0.64	20.38^{BCDE}±0.64
2.0	0.0	29.25^{H}±0.97	25.50^{G}±3.03	26.74^{F}±1.88	27.65^{G}±2.08	23.85^{F}±5.17
	2.0	21.34^{FG}±0.25	21.24^{EF}±0.18	21.90^{DE}±0.65	21.42^{DEF}±0.97	21.66^{DEF}±0.98
	4.0	20.48^{DEF}±0.81	20.87^{EF}±1.45	20.40^{BC}±1.24	20.17^{CD}±1.88	19.66^{ABCD}±1.62
	6.0	21.82^{G}±0.78	21.16^{EF}±0.59	22.18^{E}±0.88	22.18^{EF}±1.14	22.29^{EF}±1.49
3.0	0.0	33.72^{I}±1.31	35.79^{I}±0.70	34.89^{H}±1.06	30.09^{I}±2.95	32.04^{H}±3.54
	2.0	22.07^{G}±0.29	21.87^{F}±0.67	22.18^{E}±0.42	22.16^{EF}±1.20	21.20^{DE}±1.46
	4.0	21.85^{G}±0.11	21.52^{F}±0.26	21.60^{DE}±0.34	22.30^{F}±0.27	22.34^{EF}±0.46
	6.0	19.72^{CD}±0.04	19.36^{CD}±0.17	19.67^{B}±0.14	20.16^{CD}±0.92	19.60^{ABCD}±0.76

หมายเหตุ : 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 6 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$)

3) ตัวอักษรใหญ่เป็นการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างเชอร์เบทแครอทในแต่ละวันที่ทำการทดลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.3) ผลการวิเคราะห์ค่าสีเหลือง (ค่า b*) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองและไขมันนมในปริมาณต่างๆ ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.36 โดยภาพรวมพบว่า ปริมาณไขมันนมที่ใช้มีผลต่อค่าสีเหลือง (ค่า b*) ของตัวอย่างที่ได้ คือ เมื่อใช้ปริมาณไขมันนมเพิ่มขึ้น ตัวอย่างที่ได้จะมีแนวโน้มค่าสีเหลือง (ค่า b*) เพิ่มขึ้น แม้ว่าตัวอย่างที่ใช้ปริมาณไขมันนมร้อยละ 1 และร้อยละ 2 จะมีค่าสีเหลืองไม่แตกต่างกัน เนื่องจากแคโรทีนอยด์ที่เป็นรงควัตถุหลักในน้ำแครอทอาจเกิดการสลายตัว โดยปฏิกิริยา oxidative degradation จาก action ของอนุมูลอิสระที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมัน (นิธิยา, 2549) ทำให้ตัวอย่างที่ได้เปลี่ยนจากสีส้มตามสีของแคโรทีนอยด์ เป็นสีเหลืองมากขึ้น ตามปริมาณไขมันนมที่ใช้มากขึ้น ส่วนปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองที่ใช้มีผลต่อค่าสีเหลือง (ค่า b*) ของตัวอย่างที่ได้ คือ ตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองจะมีค่าสีเหลืองน้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 2, 4 และ 6 มีค่าสีเหลืองใกล้เคียงกัน แม้ว่าในช่วง 2 สัปดาห์แรกของการเก็บรักษา ตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 2 จะมีค่าสีเหลืองมากกว่าตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 4 และร้อยละ 6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) เนื่องจากค่าสีเหลืองของตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองน่าจะมีอิทธิพลมาจากการใช้ไขมันนมมากกว่า

เมื่อวิเคราะห์ผลร่วมของทั้งสองปัจจัย พบว่า มีผลร่วมกันต่อค่าสีเหลือง (ค่า b*) ของตัวอย่างที่ได้ เนื่องจากทั้งไขมันนมและโปรตีนถั่วเหลืองมีลักษณะเป็นสีเหลือง แม้ว่าจะมีความเข้มของสีที่ต่างกัน

4.2) ผลการวิเคราะห์การละลาย

4.2.1) ผลการวิเคราะห์ระยะเวลาที่ตัวอย่างหยดแรกละลาย (first dropping time) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองและไขมันนมในปริมาณต่างๆ ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.37 โดยภาพรวมพบว่า ปริมาณไขมันนมที่ใช้มีผลต่อระยะเวลาที่ตัวอย่างหยดแรกละลายของตัวอย่างที่ได้ คือ ตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมจะมีระยะเวลาที่ตัวอย่างหยดแรกละลายเร็วกว่าตัวอย่างที่ไม่ใช้ไขมันนมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมร้อยละ 1, 2 และ 3 มีระยะเวลาที่ตัวอย่างหยดแรกละลายใกล้เคียงกัน แม้ว่าในสัปดาห์ที่ 4 ของการเก็บรักษา ตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมร้อยละ 1 มีระยะเวลาที่ตัวอย่างหยดแรกละลายช้ากว่าตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมร้อยละ 2 และร้อยละ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ซึ่ง Roland และคณะ (1999) ได้ศึกษาไอศกรีมวนิลาที่มีไขมันร้อยละ 0.1, 3, 7 และ 10 พบว่า ไอศกรีมที่มีไขมันร้อยละ 0.1, 3 และ 7 มีอัตราการละลายไม่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตาม Huse และคณะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(1984) รายงานว่า ความแปรผันส่วนใหญ่ของความต้านทานการละลายระหว่างกระบวนการผลิต คือ ขั้นตอนการแช่เยือกแข็ง

ตารางที่ 4.37 ผลการวิเคราะห์ระยะเวลาที่ตัวอย่างหยดแรกละลายของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองและไขมันนมในปริมาณต่างๆ ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา

ตัวอย่างเชอร์เบทแครอท		ระยะเวลาที่ตัวอย่างหยดแรกละลาย (min)				
ปริมาณไขมันนม (%)	ปริมาณโปรตีนถั่วเหลือง (%)	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
0.0	0.0	$13.36^{A}\pm1.72$	$17.94^{ABC}\pm13.30$	$24.29^{BC}\pm0.03$	$18.66^{A}\pm4.83$	$22.44^{B}\pm1.22$
	2.0	$19.94^{BC}\pm0.91$	$22.12^{CD}\pm2.74$	$24.85^{BCD}\pm3.36$	$29.58^{B}\pm0.78$	$29.76^{C}\pm0.65$
	4.0	$43.22^{G}\pm0.20$	$51.86^{G}\pm0.81$	$50.90^{I}\pm2.21$	$53.00^{D}\pm2.12$	$53.32^{F}\pm1.66$
	6.0	$38.66^{F}\pm0.76$	$41.18^{F}\pm3.05$	$38.04^{H}\pm2.81$	$41.25^{C}\pm2.69$	$41.88^{E}\pm0.82$
1.0	0.0	$17.37^{AB}\pm0.24$	$10.48^{A}\pm1.34$	$13.47^{A}\pm1.46$	$19.32^{A}\pm1.74$	$20.73^{B}\pm0.74$
	2.0	$23.2^{4C}\pm0.02$	$21.15^{BCD}\pm1.54$	$28.86^{CDE}\pm2.08$	$20.74^{A}\pm11.76$	$32.31^{C}\pm1.06$
	4.0	$30.28^{D}\pm0.06$	$25.88^{CDE}\pm0.81$	$30.34^{DEFG}\pm1.08$	$35.64^{BC}\pm0.71$	$38.01^{DE}\pm0.79$
	6.0	$31.74^{DE}\pm0.76$	$42.46^{F}\pm4.33$	$35.30^{FGH}\pm1.18$	$43.26^{C}\pm1.12$	$39.89^{DE}\pm0.61$
2.0	0.0	$15.24^{A}\pm1.69$	$13.24^{AB}\pm0.44$	$11.42^{A}\pm0.20$	$16.26^{A}\pm0.07$	$18.82^{AB}\pm0.80$
	2.0	$17.31^{AB}\pm1.29$	$25.31^{CDE}\pm2.97$	$30.90^{EFG}\pm0.67$	$28.78^{B}\pm2.47$	$32.14^{C}\pm4.38$
	4.0	$30.12^{D}\pm1.55$	$31.24^{E}\pm0.14$	$31.46^{EFG}\pm1.52$	$35.80^{BC}\pm2.10$	$32.62^{C}\pm2.06$
	6.0	$32.78^{DE}\pm3.67$	$29.12^{DE}\pm0.01$	$32.04^{EFG}\pm5.60$	$30.25^{B}\pm0.27$	$29.35^{C}\pm4.10$
3.0	0.0	$17.40^{AB}\pm2.69$	$19.80^{BC}\pm0.49$	$21.09^{B}\pm2.96$	$18.62^{A}\pm0.76$	$15.28^{A}\pm0.06$
	2.0	$35.02^{EF}\pm2.14$	$32.24^{E}\pm1.68$	$29.48^{CDEF}\pm1.30$	$28.72^{B}\pm2.31$	$30.57^{C}\pm0.74$
	4.0	$36.78^{F}\pm3.67$	$29.18^{DE}\pm0.12$	$29.66^{CDEF}\pm5.06$	$28.86^{B}\pm0.58$	$32.58^{C}\pm2.06$
	6.0	$38.75^{F}\pm0.49$	$32.22^{E}\pm0.17$	$36.30^{GH}\pm0.40$	$32.82^{B}\pm0.34$	$36.75^{D}\pm0.75$

หมายเหตุ : 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$)

3) ตัวอักษรใหญ่เป็นการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างเชอร์เบทแครอทในแต่ละวันที่ทำการทดลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองที่ใช้มีผลต่อระยะเวลาที่ตัวอย่างหยดแรกละลายของตัวอย่างที่ได้ คือ เมื่อใช้ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น ตัวอย่างที่ได้จะมีแนวโน้มระยะเวลาที่ตัวอย่างหยดแรกละลายช้าลง แม้ว่าตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 4 จะมีระยะเวลาที่ตัวอย่างหยดแรกละลายไม่แตกต่างกับตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 6 เนื่องจากการใช้ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น ทำให้ตัวอย่างที่ได้จะมีแนวโน้มค่าความหนืดเพิ่มขึ้น ดังนั้น ระยะเวลาที่ตัวอย่างหยดแรกละลายจึงช้าลง

เมื่อวิเคราะห์ผลร่วมของทั้งสองปัจจัย พบว่า มีผลร่วมกันต่อระยะเวลาที่ตัวอย่างหยดแรกละลายของตัวอย่างที่ได้ ซึ่งตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่มีระยะเวลาที่ตัวอย่างหยดแรกละลายช้าที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา คือ ตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมและโปรตีนถั่วเหลืองที่ระดับร้อยละ 0 : 4

4.2.2) ผลการวิเคราะห์อัตราการละลาย (melting rate) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองและไขมันนมในปริมาณต่างๆ ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.38 โดยภาพรวมพบว่า ปริมาณไขมันนมที่ใช้มีผลต่ออัตราการละลายของตัวอย่างที่ได้ คือ การใช้ไขมันนมร้อยละ 2 และร้อยละ 3 จะส่งผลให้ตัวอย่างที่ได้มีอัตราการละลายช้ากว่าตัวอย่างอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมร้อยละ 1 มีอัตราการละลายไม่แตกต่างกับตัวอย่างที่ไม่ใช้ไขมันนม สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่า overrun และขนาดเฉลี่ยของ air cell จากการวิจัยของ Sofjan และ Hartel (2004) พบว่า ค่า overrun สูงทำให้เกิดความแตกต่างของอัตราการถ่ายเทความร้อน จากปริมาณอากาศที่มากขึ้น เนื่องจากอากาศเป็นฉนวนที่ดีและทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนของไอศกรีมช้าลง ส่วนปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองที่ใช้มีผลต่ออัตราการละลายของตัวอย่างที่ได้ คือ เมื่อใช้ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น ตัวอย่างที่ได้จะมีแนวโน้มอัตราการละลายช้าลง แม้ว่าในช่วงสัปดาห์ที่ 3 และ 4 ของการเก็บรักษา ตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 2 จะมีอัตราการละลายไม่แตกต่างกับตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีนถั่วเหลือง สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ความหนืด เนื่องจากการใช้ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น ทำให้ตัวอย่างที่ได้มีแนวโน้มค่าความหนืดเพิ่มขึ้น ดังนั้น จึงมีอัตราการละลายช้าลง แต่อย่างไรก็ตาม Huse และคณะ (1984) รายงานว่า ความแปรผันส่วนใหญ่ของความต้านทานการละลายระหว่างกระบวนการผลิต คือ ขั้นตอนการแช่เยือกแข็ง

เมื่อวิเคราะห์ผลร่วมของทั้งสองปัจจัย พบว่า มีผลร่วมกันต่ออัตราการละลายของตัวอย่างที่ได้ ซึ่งตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่มีอัตราการละลายช้าที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา คือ ตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมและโปรตีนถั่วเหลืองที่ระดับร้อยละ 0 : 6, 1 : 6 และ 2 : 6

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.38 ผลการวิเคราะห์อัตราการละลาย (melting rate) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองและไขมันนมในปริมาณต่างๆ ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา

ตัวอย่างเชอร์เบทแครอท		อัตราการละลาย (g/min)				
ปริมาณไขมันนม (%)	ปริมาณโปรตีนถั่วเหลือง (%)	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
0.0	0.0	$1.86^{E}\pm0.01$	$1.34^{BCDEF}\pm0.07$	$1.89^{H}\pm0.01$	$1.71^{B}\pm0.08$	$1.95^{F}\pm0.08$
	2.0	$1.73^{DE}\pm0.05$	$1.96^{EF}\pm0.05$	$1.68^{GH}\pm0.01$	$1.76^{B}\pm0.02$	$1.92^{F}\pm0.04$
	4.0	$1.78^{DE}\pm0.08$	$2.20^{F}\pm1.20$	$0.26^{ABC}\pm0.12$	$1.29^{B}\pm1.18$	$0.52^{C}\pm0.06$
	6.0	$0.02^{A}\pm0.01$	$0.02^{A}\pm0.02$	$0.03^{A}\pm0.02$	$0.04^{A}\pm0.02$	$0.07^{A}\pm0.04$
1.0	0.0	$1.57^{D}\pm0.06$	$1.72^{CDEF}\pm0.01$	$1.47^{FG}\pm0.04$	$1.34^{B}\pm0.29$	$1.69^{EF}\pm0.06$
	2.0	$1.82^{DE}\pm0.02$	$1.83^{DEF}\pm0.11$	$1.54^{G}\pm0.22$	$1.40^{B}\pm0.15$	$1.85^{EF}\pm0.10$
	4.0	$1.83^{DE}\pm0.05$	$1.91^{EF}\pm0.05$	$1.26^{EF}\pm0.09$	$1.35^{B}\pm0.34$	$0.96^{D}\pm0.01$
	6.0	$0.12^{A}\pm0.05$	$0.15^{A}\pm0.07$	$0.08^{A}\pm0.02$	$0.19^{A}\pm0.04$	$0.16^{AB}\pm0.03$
2.0	0.0	$1.76^{DE}\pm0.06$	$1.80^{DEF}\pm0.05$	$1.60^{G}\pm0.06$	$1.58^{B}\pm0.07$	$1.56^{E}\pm0.02$
	2.0	$1.74^{DE}\pm0.01$	$1.18^{BCDE}\pm0.07$	$1.50^{FG}\pm0.04$	$1.52^{B}\pm0.02$	$1.69^{EF}\pm0.11$
	4.0	$1.12^{C}\pm0.38$	$0.53^{AB}\pm0.27$	$0.49^{CD}\pm0.05$	$0.14^{A}\pm0.06$	$0.16^{AB}\pm0.01$
	6.0	$0.09^{A}\pm0.01$	$0.14^{A}\pm0.01$	$0.14^{AB}\pm0.09$	$0.16^{A}\pm0.02$	$0.29^{ABC}\pm0.04$
3.0	0.0	$1.78^{DE}\pm0.10$	$1.87^{DEF}\pm0.05$	$1.68^{GH}\pm0.02$	$1.61^{B}\pm0.01$	$1.60^{E}\pm0.02$
	2.0	$0.45^{B}\pm0.16$	$1.62^{CDEF}\pm0.90$	$1.08^{E}\pm0.36$	$0.88^{AB}\pm0.86$	$1.03^{D}\pm0.44$
	4.0	$1.12^{C}\pm0.15$	$0.92^{ABCD}\pm0.10$	$0.58^{D}\pm0.06$	$0.23^{A}\pm0.01$	$0.42^{BC}\pm0.10$
	6.0	$1.08^{C}\pm0.05$	$0.79^{ABC}\pm0.40$	$0.41^{BCD}\pm0.02$	$0.12^{A}\pm0.01$	$0.20^{AB}\pm0.10$

หมายเหตุ : 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$)

3) ตัวอักษรใหญ่เป็นการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างเชอร์เบทแครอทในแต่ละวันที่ทำการทดลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.39 ผลการวิเคราะห์ความแข็ง (hardness) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองและไขมันนมในปริมาณต่างๆ ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา

ตัวอย่างเชอร์เบทแครอท		ค่า hardness (mm)				
ปริมาณไขมันนม (%)	ปริมาณโปรตีนถั่วเหลือง (%)	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
0.0	0.0	$7.12^{D}\pm0.12$	$4.38^{CD}\pm0.21$	$6.79^{DE}\pm0.24$	$5.36^{BC}\pm0.20$	$4.57^{BC}\pm0.09$
	2.0	$5.39^{BC}\pm0.40$	$6.40^{H}\pm0.34$	$6.21^{CD}\pm0.52$	$7.12^{DEF}\pm0.54$	$7.03^{H}\pm0.52$
	4.0	$5.23^{ABC}\pm0.39$	$5.56^{F}\pm0.39$	$9.53^{GH}\pm0.27$	$6.74^{CDEF}\pm0.49$	$6.49^{GH}\pm0.94$
	6.0	$4.33^{AB}\pm0.13$	$3.38^{A}\pm0.18$	$5.64^{BC}\pm0.34$	$8.12^{EFG}\pm0.87$	$3.48^{A}\pm0.25$
1.0	0.0	$7.50^{DE}\pm0.35$	$9.26^{J}\pm0.59$	$7.68^{EF}\pm0.44$	$8.36^{FG}\pm1.76$	$4.77^{BCD}\pm0.23$
	2.0	$7.68^{DE}\pm0.34$	$7.58^{I}\pm0.02$	$7.04^{DE}\pm0.80$	$5.75^{BCD}\pm0.29$	$5.33^{CDE}\pm0.43$
	4.0	$4.88^{ABC}\pm0.03$	$5.26^{EF}\pm0.11$	$9.92^{H}\pm1.00$	$4.76^{AB}\pm0.55$	$4.49^{B}\pm0.38$
	6.0	$4.07^{A}\pm0.08$	$4.20^{BCD}\pm0.11$	$4.92^{B}\pm0.53$	$4.24^{AB}\pm0.18$	$3.00^{A}\pm0.29$
2.0	0.0	$4.34^{AB}\pm0.19$	$3.61^{AB}\pm0.29$	$7.68^{EF}\pm0.56$	$6.45^{CDE}\pm0.18$	$4.32^{B}\pm0.41$
	2.0	$11.84^{F}\pm1.58$	$5.63^{FG}\pm0.16$	$12.42^{I}\pm0.60$	$9.43^{GH}\pm0.58$	$4.33^{B}\pm0.23$
	4.0	$8.54^{E}\pm0.48$	$4.56^{D}\pm0.34$	$5.13^{BC}\pm0.52$	$7.84^{EFG}\pm0.35$	$4.74^{BCD}\pm0.24$
	6.0	$5.55^{C}\pm0.28$	$4.72^{DE}\pm0.23$	$7.31^{DE}\pm0.32$	$9.96^{H}\pm0.51$	$5.86^{EFG}\pm0.47$
3.0	0.0	$13.40^{G}\pm0.40$	$9.75^{J}\pm0.29$	$9.15^{GH}\pm0.37$	$10.71^{H}\pm0.96$	$6.22^{FG}\pm0.76$
	2.0	$10.76^{F}\pm0.23$	$6.21^{GH}\pm0.10$	$8.51^{FG}\pm0.16$	$7.37^{DEF}\pm0.73$	$5.50^{DEF}\pm0.23$
	4.0	$11.50^{F}\pm0.47$	$6.56^{H}\pm0.43$	$8.56^{FG}\pm1.18$	$7.41^{DEF}\pm2.36$	$7.15^{H}\pm0.09$
	6.0	$4.80^{ABC}\pm0.27$	$3.78^{ABC}\pm0.17$	$3.69^{A}\pm0.96$	$3.43^{A}\pm0.50$	$4.70^{BC}\pm0.24$

หมายเหตุ : 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 6 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$)

3) ตัวอักษรใหญ่เป็นการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างเชอร์เบทแครอทในแต่ละวันที่ทำการทดลอง

4.3) ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส

4.3.1) ผลการวิเคราะห์ความแข็ง (hardness) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองและไขมันในปริมาณต่างๆ ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.39 โดยภาพรวมพบว่า ปริมาณไขมันนมที่ใช้มีผลต่อความแข็งของตัวอย่างที่ได้ คือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมร้อยละ 2 และร้อยละ 3 มีแนวโน้มความแข็งใกล้เคียงกัน แต่ตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมร้อยละ 1 มีความแข็งใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ไม่ใช้ไขมันนม สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่า overrun และขนาดเฉลี่ยของ air cell ซึ่งตัวอย่างที่มีค่า overrun ต่ำ จะมีความแน่นเนื้อมาก ด้วยมีปริมาณผลึกน้ำแข็งที่มากกว่าตัวอย่างอื่น แต่จากผลการทดลองของ Roland และคณะ (1999) ที่ได้ศึกษาไอศกรีมวนิลาที่มีไขมันร้อยละ 0.1, 3, 7 และ 10 พบว่า ไอศกรีมที่มีไขมันร้อยละ 0.1, 3 และ 7 ไม่มีความแตกต่างกันในด้านความแข็ง ส่วนปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองที่ใช้มีผลต่อความแข็งของตัวอย่างที่ได้ คือ เมื่อใช้ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น ตัวอย่างที่ได้จะมีแนวโน้มของความแข็งเพิ่มขึ้น โดยตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 6 มีความแข็งมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) (ดังตารางที่ 4.39) เนื่องจากตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 6 มีค่า overrun ต่ำ สอดคล้องกับ Wilbey และคณะ (1997) ซึ่งอธิบายว่า การเพิ่มขึ้นของค่า overrun เป็นสาเหตุทำให้ความแข็งของไอศกรีมลดลง แต่อย่างไรก็ตาม Prindiville และคณะ (1999) รวมถึง Abd El-Rahman และคณะ (1997) พบว่า ผลที่ได้มีลักษณะตรงกันข้าม ทั้งนี้บางทีปัจจัยอื่นๆ เช่น การกระจายตัวของขนาดผลึกน้ำแข็ง และ air cell อาจจะมีผลต่อความแข็งของตัวอย่างมากกว่าค่า overrun

เมื่อวิเคราะห์ผลร่วมของทั้งสองปัจจัย พบว่า มีผลร่วมกันต่อความแข็งของตัวอย่างที่ได้ ซึ่งตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่มีแนวโน้มของความแข็งน้อยที่สุด ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา คือ ตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมและโปรตีนถั่วเหลืองที่ระดับร้อยละ 0 : 3

4.3.2) ผลการวิเคราะห์ความคงตัว (firmness) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองและไขมันนมในปริมาณต่างๆ ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.40 โดยภาพรวมพบว่า ปริมาณไขมันนมที่ใช้มีผลต่อความคงตัวของตัวอย่างที่ได้ คือ ตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมมีแนวโน้มความคงตัวน้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่ใช้ไขมันนมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมร้อยละ 2 มีความคงตัวน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ส่วนตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมร้อยละ 3 และร้อยละ 1 มีความคงตัวเพิ่มขึ้น ตามลำดับ แต่จากการศึกษาของ Aime และคณะ (2001) พบว่า แนวโน้มของตัวอย่างที่มีไขมันต่ำ (low fat; 2.53%) มีความคงตัวกว่าตัวอย่างที่ไม่มีไขมัน (fat free; 0.42%) และตัวอย่างที่มีไขมันสูงกว่า (light; 5% และ regular fat; 10%) เนื่องจากตัวอย่างที่มีไขมันต่ำกว่าจะมีปริมาณผลึกน้ำแข็งมากขึ้น ขณะที่ระดับของผลึกไขมันนมมีค่าลดลง จากผลการทดลองที่ขัดแย้งกันนี้ แสดงว่า บางทีอาจมีปัจจัยอื่นๆ เช่น การกระจายตัวของขนาดผลึกน้ำแข็ง และ air cell ที่มีผลต่อความคงตัวของตัวอย่าง ส่วนปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองที่ใช้มีผลต่อความคงตัวของตัวอย่างที่ได้ คือ การใช้โปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 2 และร้อยละ 4 ส่งผลให้ตัวอย่างที่ได้มีความคงตัวน้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) แต่เมื่อเพิ่มการใช้โปรตีนถั่วเหลืองเป็นร้อยละ 6 ตัวอย่างที่ได้มีความ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คงตัวมากกว่าตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 6 มีแนวโน้มขนาดเฉลี่ยของผลึกน้ำแข็งน้อยที่สุด จึงมีความคงตัวมากกว่าตัวอย่างอื่น สอดคล้องปริมาณของแข็งทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นจากการใช้ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 2, 4 และ6 มีความคงตัวเพิ่มขึ้น ตามลำดับ

ตารางที่ 4.40 ผลการวิเคราะห์ความคงตัว (firmness) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองและไขมันนมในปริมาณต่างๆ ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา

ตัวอย่างเชอร์เบทแครอท		ค่า firmness (N)				
ปริมาณไขมันนม (%)	ปริมาณโปรตีนถั่วเหลือง (%)	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
0.0	0.0	$17.80^{F}\pm1.52$	$38.58^{K}\pm0.71$	$30.97^{J}\pm0.76$	$31.15^{H}\pm1.28$	$54.87^{H}\pm7.15$
	2.0	$4.87^{BC}\pm0.18$	$3.57^{BC}\pm0.46$	$9.52^{BC}\pm0.29$	$7.94^{AB}\pm1.12$	$12.40^{B}\pm0.87$
	4.0	$3.63^{BC}\pm0.29$	$3.11^{ABC}\pm0.17$	$14.48^{FG}\pm0.49$	$13.65^{CD}\pm1.99$	$14.64^{BC}\pm1.54$
	6.0	$13.87^{E}\pm0.43$	$31.52^{I}\pm0.69$	$19.01^{H}\pm0.95$	$27.50^{G}\pm1.00$	$35.37^{E}\pm0.59$
1.0	0.0	$13.92^{E}\pm3.23$	$12.50^{F}\pm1.90$	$17.69^{H}\pm0.61$	$17.72^{EF}\pm0.27$	$45.14^{G}\pm0.50$
	2.0	$5.41^{C}\pm0.03$	$12.59^{F}\pm0.42$	$12.04^{DE}\pm0.88$	$11.18^{BC}\pm0.73$	$18.90^{C}\pm1.70$
	4.0	$8.50^{D}\pm0.71$	$4.23^{C}\pm0.19$	$25.80^{I}\pm0.31$	$10.86^{BC}\pm2.75$	$17.16^{C}\pm2.10$
	6.0	$8.86^{D}\pm0.13$	$14.65^{G}\pm0.02$	$32.72^{J}\pm0.22$	$24.96^{G}\pm0.14$	$27.67^{D}\pm1.06$
2.0	0.0	$2.68^{AB}\pm0.05$	$2.48^{AB}\pm0.10$	$3.15^{A}\pm0.32$	$18.14^{EF}\pm3.14$	$30.36^{D}\pm1.41$
	2.0	$1.00^{A}\pm0.29$	$1.80^{A}\pm0.10$	$10.70^{CD}\pm0.78$	$5.91^{A}\pm0.80$	$14.75^{BC}\pm0.13$
	4.0	$4.76^{BC}\pm0.31$	$23.80^{H}\pm1.39$	$15.40^{G}\pm0.13$	$15.40^{DE}\pm2.58$	$28.88^{D}\pm1.58$
	6.0	$4.47^{BC}\pm0.55$	$1.68^{A}\pm0.08$	$8.62^{B}\pm1.94$	$9.66^{B}\pm3.56$	$19.14^{C}\pm0.67$
3.0	0.0	$2.88^{AB}\pm0.12$	$8.52^{D}\pm0.09$	$13.16^{EF}\pm0.35$	$8.34^{AB}\pm0.73$	$1.88^{A}\pm0.34$
	2.0	$3.23^{ABC}\pm0.01$	$14.10^{FG}\pm0.39$	$8.73^{B}\pm1.64$	$20.26^{F}\pm4.20$	$28.75^{D}\pm3.15$
	4.0	$4.68^{BC}\pm0.60$	$10.10^{E}\pm1.06$	$12.27^{DE}\pm0.31$	$7.59^{AB}\pm0.42$	$16.54^{BC}\pm3.59$
	6.0	$16.96^{F}\pm1.26$	$35.04^{J}\pm0.19$	$32.48^{J}\pm0.56$	$20.63^{F}\pm0.40$	$40.18^{F}\pm3.19$

หมายเหตุ : 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 6 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$)

3) ตัวอักษรใหญ่เป็นการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างเชอร์เบทแครอทในแต่ละวันที่ทำการทดลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อวิเคราะห์ผลร่วมของทั้งสองปัจจัย พบว่า มีผลร่วมกันต่อความคงตัวของตัวอย่างที่ได้ โดยแนวโน้มของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่มีความคงตัวน้อยที่สุด ซึ่งหมายถึง ตัวอย่างที่ใช้แรงในการทำให้เสียรูปน้อยที่สุด ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา คือ ตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมและโปรตีนถั่วเหลืองที่ระดับร้อยละ 2 : 0, 2 : 2 และ 3 : 0

4.3.3) ผลการวิเคราะห์ความเหนียว (tackiness) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองและไขมันนมในปริมาณต่างๆ ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.41 ซึ่งค่า tackiness (N) เป็นค่าที่บ่งบอกถึง ค่าแรงด้านลบที่ทำให้ตัวอย่างยึดติดกับ probe เมื่อถอน probe ขึ้นหลังจากทำให้ตัวอย่างเสียรูป เพื่อศึกษาความต้านทานแรงที่ใช้ในการยึดติด โดยภาพรวมพบว่า การใช้ปริมาณไขมันนมทั้ง 4 ระดับ มีผลต่อความเหนียวของตัวอย่างที่ได้ใกล้เคียงกัน ซึ่งในสัปดาห์ที่ 2 และ 4 ของการเก็บรักษาจะเห็นได้ว่า ตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมทั้ง 4 ระดับ มีความเหนียวไม่แตกต่างกัน เนื่องจากปริมาณไขมันนมที่ใช้ทั้ง 4 ระดับ ไม่มีผลต่อความหนืดของตัวอย่างที่ได้ ส่วนปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองที่ใช้มีผลต่อความเหนียวของตัวอย่างที่ได้ คือ การใช้ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองทั้ง 4 ระดับ ไม่มีผลเด่นชัดต่อการเปลี่ยนแปลงความเหนียวของตัวอย่างที่ได้ ซึ่งในสัปดาห์ที่ 2 ของการเก็บรักษาจะเห็นได้ว่า ตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองทั้ง 4 ระดับ มีความเหนียวไม่แตกต่างกัน แม้ว่าเมื่อใช้ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น ตัวอย่างที่ได้จะมีแนวโน้มค่าความหนืดเพิ่มขึ้นก็ตาม

เมื่อวิเคราะห์ผลร่วมของทั้งสองปัจจัย พบว่า มีผลร่วมกันต่อความเหนียวของตัวอย่างที่ได้ ยกเว้นผลการวิเคราะห์ความเหนียวในสัปดาห์ที่ 2 ของการเก็บรักษา ที่พบว่า การใช้โปรตีนถั่วเหลืองร่วมกับการใช้ไขมันนมที่ระดับต่างๆ ไม่มีผลต่อความเหนียวของตัวอย่างที่ได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.41 ผลการวิเคราะห์ความเหนียว (tackiness) ของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองและไขมันนมในปริมาณต่างๆ ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษา

ตัวอย่างเชอร์เบทแครอท		ค่า tackiness (N)				
ปริมาณไขมันนม (%)	ปริมาณโปรตีนถั่วเหลือง (%)	0 วัน	7 วัน	14 วัน ^{ns}	21 วัน	28 วัน
0.0	0.0	$-0.24^{AB}\pm0.01$	$-0.09^{F}\pm0.02$	-0.24 ± 0.01	$-0.04^{C}\pm0.06$	$-0.30^{AB}\pm0.26$
	2.0	$-0.22^{B}\pm0.02$	$-0.21^{CD}\pm0.01$	-0.25 ± 0.04	$0.04^{D}\pm0.01$	$0.05^{B}\pm0.01$
	4.0	$-0.24^{B}\pm0.01$	$-0.28^{A}\pm0.02$	-0.21 ± 0.01	$0.04^{D}\pm0.01$	$0.01^{B}\pm0.05$
	6.0	$-0.23^{B}\pm0.01$	$-0.22^{C}\pm0.01$	-0.22 ± 0.01	$0.02^{D}\pm0.02$	$-0.38^{AB}\pm0.01$
1.0	0.0	$-0.29^{A}\pm0.03$	$-0.18^{D}\pm0.05$	-0.20 ± 0.02	$0.04^{D}\pm0.01$	$-0.63^{A}\pm0.63$
	2.0	$-0.21^{B}\pm0.02$	$-0.21^{CD}\pm0.01$	-0.22 ± 0.01	$0.04^{D}\pm0.01$	$0.03^{B}\pm0.01$
	4.0	$-0.22^{B}\pm0.03$	$-0.27^{AB}\pm0.01$	-0.32 ± 0.11	$0.05^{D}\pm0.01$	$-0.41^{AB}\pm0.03$
	6.0	$-0.24^{B}\pm0.01$	$-0.23^{BC}\pm0.01$	-0.24 ± 0.01	$0.04^{D}\pm0.02$	$0.04^{B}\pm0.01$
2.0	0.0	$-0.10^{C}\pm0.01$	$-0.14^{E}\pm0.01$	-0.24 ± 0.03	$-0.18^{B}\pm0.03$	$-0.59^{A}\pm0.18$
	2.0	$-0.14^{C}\pm0.04$	$-0.23^{C}\pm0.02$	-0.22 ± 0.01	$0.05^{D}\pm0.01$	$0.04^{B}\pm0.01$
	4.0	$-0.23^{B}\pm0.01$	$-0.22^{CD}\pm0.01$	-0.29 ± 0.12	$0.05^{D}\pm0.01$	$0.06^{B}\pm0.01$
	6.0	$-0.24^{B}\pm0.02$	$-0.18^{D}\pm0.01$	-0.23 ± 0.01	$-0.06^{C}\pm0.04$	$0.03^{B}\pm0.03$
3.0	0.0	$-0.21^{B}\pm0.03$	$-0.20^{CD}\pm0.01$	-0.23 ± 0.01	$0.05^{D}\pm0.01$	$0.04^{B}\pm0.01$
	2.0	$-0.25^{AB}\pm0.01$	$-0.21^{CD}\pm0.01$	-0.21 ± 0.01	$-0.26^{A}\pm0.03$	$0.05^{B}\pm0.01$
	4.0	$-0.25^{AB}\pm0.4$	$-0.21^{CD}\pm0.01$	-0.22 ± 0.01	$0.05^{D}\pm0.01$	$-0.30^{AB}\pm0.32$
	6.0	$-0.21^{B}\pm0.01$	$-0.22^{CD}\pm0.01$	-0.22 ± 0.01	$0.05^{D}\pm0.01$	$0.03^{B}\pm0.02$

หมายเหตุ : 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 6 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p\leq0.05$)

3) เครื่องหมาย ^{ns} ในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p>0.05$)

4) ตัวอักษรใหญ่เป็นการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างเชอร์เบทแครอทในแต่ละวันที่ทำการทดลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4) ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางรีโอโลยี

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางรีโอโลยีของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองและไขมันนมในปริมาณต่างๆ โดยเลือกค่าของคุณสมบัติทางรีโอโลยีที่ความถี่ 0.3162 Hz เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบและการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.42 พบว่าปริมาณไขมันนมที่ใช้มีผลต่อคุณสมบัติทางรีโอโลยีของตัวอย่างที่ได้ คือ ตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมทั้ง 4 ระดับ มีลักษณะเป็นของแข็ง จึงมีค่า elastic modulus (G') มากกว่าค่า viscous modulus (G") ดังนั้น ผลการวิเคราะห์ค่า loss tangent (tan δ) เพื่อหาสัดส่วนของการแสดงสมบัติการไหลหนืดต่อสมบัติการยืดหยุ่น จึงพบว่า ตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมทั้ง 4 ระดับ มีสมบัติการยืดหยุ่นมากกว่าสมบัติการไหลหนืด โดยถ้าค่า tan δ มากกว่า 1 จะแสดงว่า ตัวอย่างมีการไหลหนืดมากกว่าการยืดหยุ่น (Rosenthal, 1999) ซึ่งแนวโน้มของค่า elastic modulus (G') และค่า viscous modulus (G") ที่วิเคราะห์ได้ของตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมทั้ง 4 ระดับ มีค่าไปในทิศทางเดียวกัน คือ ตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมร้อยละ 1, 2, 0 และ 3 มีค่า elastic modulus (G') และค่า viscous modulus (G") เพิ่มขึ้น ตามลำดับ (ดังตารางที่ ช.9 และ ช.12) ส่วนค่า loss tangent (tan δ) ของตัวอย่างที่วิเคราะห์ได้ สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ความคงตัว คือ แนวโน้มของตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมร้อยละ 2, 3, 1 และ 0 จะมีความคงตัวเพิ่มขึ้น ตามลำดับ จึงแสดงสมบัติการยืดหยุ่นมากกว่าสมบัติการไหลหนืดเพิ่มขึ้นด้วยเช่นเดียวกัน ดังจะเห็นได้จาก ค่า loss tangent (tan δ) ของตัวอย่างที่วิเคราะห์ได้มีค่าลดลงตามลำดับ (ดังตารางที่ ช.15) แม้ว่าตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมร้อยละ 1 จะมีค่า loss tangent (tan δ) ไม่แตกต่างกับตัวอย่างที่ไม่ใช้ไขมันนม

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดเชิงซ้อน (dynamic viscosity; η^*) ของตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมทั้ง 4 ระดับ พบว่า ตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมร้อยละ 1 และร้อยละ 2 มีค่า dynamic viscosity (η^*) ไม่แตกต่างกัน โดยมีค่าน้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่ใช้ไขมันนมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเพิ่มการใช้ไขมันนมเป็นร้อยละ 3 ตัวอย่างที่ได้จะมีค่า dynamic viscosity (η^*) เพิ่มขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างกับตัวอย่างที่ไม่ใช้ไขมันนม (ดังตารางที่ ช.18) ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ค่า dynamic viscosity (η^*) ที่ได้ไม่สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield viscometer ที่พบว่า ปริมาณไขมันนมที่ใช้ทั้ง 4 ระดับ ไม่มีผลต่อความหนืดของตัวอย่างที่ได้ อาจเนื่องจากค่า dynamic viscosity (η^*) เป็นค่าความหนืดเชิงซ้อน ส่วนค่าความหนืดที่วิเคราะห์ได้จากเครื่อง Brookfield viscometer เป็นค่าความหนืดปรากฏ ดังนั้น ผลที่ได้จึงอาจมีความแตกต่างกัน โดยผลการวิเคราะห์ค่า dynamic viscosity (η^*) น่าจะมีความสัมพันธ์กับค่า viscous modulus (G") ของตัวอย่าง เนื่องจากผลที่ได้มีความสอดคล้องกัน แม้ว่าตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมร้อยละ 2 จะมีค่า viscous modulus (G") ไม่ความแตกต่างกับตัวอย่างที่ไม่ใช้ไขมันนม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.42 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางรีโอโลยีของตัวอย่างเชอร์เบทแครอทที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองและไขมันนมในปริมาณต่างๆ

ตัวอย่างเชอร์เบทแครอท		G' (Pa)	G" (Pa)	tan δ	η* (Pa.s)
ปริมาณไขมันนม (%)	ปริมาณโปรตีนถั่วเหลือง (%)				
0.0	0.0	64.32^{A}±1.80	26.87^{A}±8.00	0.35^{H}±0.03	33.38^{A}±1.84
	2.0	305.45^{C}±25.53	34.90^{AB}±1.80	0.13^{A}±0.01	155.00^{BC}±13.01
	4.0	467.80^{D}±99.42	99.64^{CD}±16.34	0.15^{AB}±0.01	238.40^{D}±50.91
	6.0	1195.00^{H}±28.28	257.25^{G}±2.19	0.18^{ABCD}±0.01	613.50^{H}±16.40
1.0	0.0	57.99^{A}±12.76	24.64^{A}±1.17	0.28^{G}±0.03	30.75^{A}±7.13
	2.0	247.15^{BC}±7.71	46.42^{AB}±8.60	0.20^{BCDEF}±0.02	128.50^{BC}±5.66
	4.0	344.65^{CD}±13.50	59.79^{AB}±2.60	0.17^{ABCD}±0.01	176.10^{CD}±6.93
	6.0	1010.85^{G}±158.60	208.45^{F}±26.38	0.21^{CDEF}±0.01	519.35^{G}±80.82
2.0	0.0	47.46^{A}±6.52	27.64^{A}±0.69	0.49^{J}±0.08	27.66^{A}±3.00
	2.0	165.40^{AB}±41.58	39.16^{AB}±5.60	0.25^{FG}±0.01	85.56^{AB}±20.99
	4.0	452.75^{D}±12.94	69.56^{BC}±0.22	0.16^{ABC}±0.01	230.55^{D}±6.43
	6.0	1063.50^{G}±2.12	240.80^{G}±1.41	0.24^{EFG}±0.01	550.00^{GH}±2.69
3.0	0.0	86.09^{A}±5.37	25.94^{A}±3.22	0.41^{I}±0.02	40.91^{A}±3.08
	2.0	804.20^{F}±120.92	165.15^{E}±31.32	0.20^{BCDEF}±0.01	413.20^{F}±62.79
	4.0	651.50^{E}±68.87	130.40^{D}±37.76	0.22^{DEF}±0.01	334.50^{E}±37.76
	6.0	636.75^{E}±46.60	124.10^{D}±12.16	0.19^{BCDE}±0.01	326.50^{E}±24.18

หมายเหตุ : 1) ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 6 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$)

ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองที่ใช้มีผลต่อคุณสมบัติทางรีโอโลยีของตัวอย่างที่ได้ คือ ตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองทั้ง 4 ระดับ มีลักษณะเป็นของแข็ง จึงมีค่า elastic modulus (G') มากกว่าค่า viscous modulus (G") ดังนั้น ผลการวิเคราะห์ค่า loss tangent (tan δ) เพื่อหาสัดส่วนของการแสดงสมบัติการไหลหนืดต่อสมบัติการยืดหยุ่น จึงพบว่า ตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองทั้ง 4 ระดับ มีสมบัติการยืดหยุ่นมากกว่าสมบัติการไหลหนืด โดยถ้าค่า tan δ มากกว่า 1 จะแสดงว่า ตัวอย่างมีการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไหลหนืดมากกว่าการยืดหยุ่น (Rosenthal, 1999) ซึ่งค่า elastic modulus (G') และค่า viscous modulus (G") ที่วิเคราะห์ได้ของตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองทั้ง 4 ระดับ มีค่าไปในทิศทางเดียวกัน คือ เมื่อใช้ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น ตัวอย่างที่ได้มีค่า elastic modulus (G') และค่า viscous modulus (G") เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ดังตารางที่ ช.10 และ ช.13) เนื่องจากการใช้ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ตัวอย่างที่ได้มีปริมาณของแข็งทั้งหมดและความหนืดเพิ่มขึ้น ส่วนค่า loss tangent (tan δ) ของตัวอย่างที่วิเคราะห์ได้ น่าจะมีความสัมพันธ์กับขนาดเฉลี่ยของ air cell โดยตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 4 มีแนวโน้มขนาดเฉลี่ยของ air cell น้อยที่สุด แต่ตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 2 และร้อยละ 6 มีขนาดเฉลี่ยของ air cell ใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีนถั่วเหลือง ด้วยเหตุนี้ ตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 4, 2, 6 และ 0 จึงมีแนวโน้มแสดงสมบัติการยืดหยุ่นมากกว่าสมบัติการไหลหนืดลดลง ตามลำดับ (ดังตารางที่ ช.16) เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดเชิงซ้อน (dynamic viscosity; η^*) ของตัวอย่างที่ใช้ไขมันนมทั้ง 4 ระดับ พบว่า เมื่อใช้ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น ตัวอย่างที่ได้มีค่า dynamic viscosity (η^*) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ดังตารางที่ ช.19) เช่นเดียวกับผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield viscometer แม้ว่าตัวอย่างที่ใช้ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 2 มีค่าความหนืดที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Brookfield viscometer ไม่แตกต่างกับตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองก็ตาม อีกทั้งผลการวิเคราะห์ค่า dynamic viscosity (η^*) น่าจะมีความสัมพันธ์กับค่า viscous modulus (G") ของตัวอย่าง เนื่องจากผลที่ได้มีความสอดคล้องกัน

เมื่อวิเคราะห์ผลร่วมของทั้งสองปัจจัย พบว่า มีผลร่วมกันต่อคุณสมบัติทางรีโอโลยีของตัวอย่างที่ได้ ทั้งค่า elastic modulus (G'), ค่า viscous modulus (G"), ค่า loss tangent (tan δ) และค่า dynamic viscosity (η^*) คือ การใช้โปรตีนถั่วเหลืองร่วมกับการใช้ไขมันนมที่ระดับต่างๆ ส่งผลให้ตัวอย่างที่ได้มีลักษณะเป็นของแข็ง จึงมีค่า elastic modulus (G') มากกว่าค่า viscous modulus (G") ดังนั้น ผลการวิเคราะห์ค่า loss tangent (tan δ) เพื่อหาสัดส่วนของการแสดงสมบัติการไหลหนืดต่อสมบัติการยืดหยุ่น จึงพบว่า ตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองร่วมกับไขมันนมที่ระดับต่างๆ มีสมบัติการยืดหยุ่นมากกว่าสมบัติการไหลหนืด (ดังตารางที่ ช.17) โดยถ้าค่า tan δ มากกว่า 1 จะแสดงว่าตัวอย่างมีการไหลหนืดมากกว่าการยืดหยุ่น (Rosenthal, 1999) ซึ่งแนวโน้มของค่า elastic modulus (G') และค่า viscous modulus (G") ที่วิเคราะห์ได้ของตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองร่วมกับไขมันนมที่ระดับต่างๆ มีค่าไปในทิศทางเดียวกัน (ดังตารางที่ ช.11 และ ช.14) และเมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดเชิงซ้อน (dynamic viscosity; η^*) ของตัวอย่างที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองร่วมกับไขมันนมที่ระดับต่างๆ พบว่า น่าจะมีความสัมพันธ์กับค่า viscous modulus (G") ของตัวอย่าง เนื่องจากผลที่ได้มีความสอดคล้องกัน (ดังตารางที่ ช.20)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved