บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

4 . 1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเสริมบีตาแคโรทีนที่สกัดได้จากน้ำมันปาล์มดิบในน้ำนมที่ทำเป็นผงโดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย

4.1.1 การศึกษาการสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบ

จากกระบวนการสกัดสารแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายที่อุณหภูมิต่ำของพัชรินทร์ (2548) พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการสกัด คือ อัตราส่วนของน้ำมันปาล์มดิบต่อเฮกเซนเท่ากับ 1 ต่อ 3 ใช้เฮกเซนที่อุณหภูมิ -10 องศาเซลเซียส และอัตราเร็วใบกวน 250 รอบต่อนาที สามารถสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1.23 ในปริมาณร้อยละ 42.12 โดยมวลของน้ำมันปาล์มดิบเริ่มต้น ซึ่งสารสกัดที่ได้นำไปทำให้บริสุทธิ์และเข้มข้นโดยวิธีสะปอนิฟิเคชันต่อไป

4.1.2 การวิเคราะห์แคโรทีนอยด์ที่สกัดได้จากน้ำมันปาล์มดิบ

แคโรทีนอยด์ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์และเข้มข้นโดยกระบวนการสะปอนิฟิเคชันและนำไประเหยเฮกเซนออกด้วยระบบสูญญากาศ ได้ถูกนำมาวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร โดยเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงของสารบีตาแคโรทีนมาตรฐาน ซึ่งค่าการดูดกลืนแสงของสารบีตาแคโรทีนมาตรฐาน แสดงดังตาราง 4.1

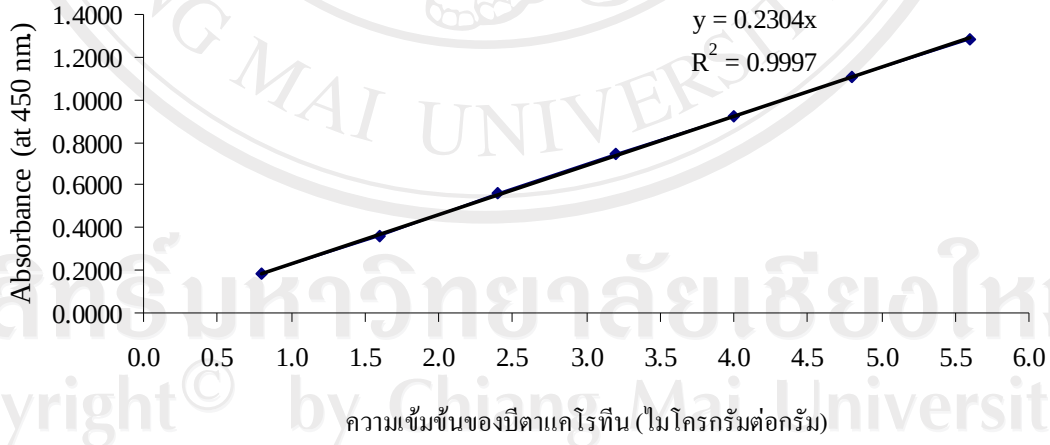
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.1 ค่าการดูดกลืนแสงของบีตาแคโรทีนมาตรฐานที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร

ความเข้มข้น (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง[1]
0.800	0.1817 ± 0.0012
1.600	0.3617 ± 0.0012
2.400	0.5650 ± 0.0017
3.200	0.7446 ± 0.0022
4.000	0.9202 ± 0.0028
4.800	1.1043 ± 0.0028
5.600	1.2851 ± 0.0024

หมายเหตุ [1] ผลการวิเคราะห์เป็นค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากค่าการดูดกลืนแสงของสารบีตาแคโรทีนมาตรฐาน นำมาสร้างกราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของบีตาแคโรทีน (ไมโครกรัมต่อกรัม) กับค่าการดูดกลืนแสงที่ 450 นาโนเมตร (ภาพ 4.1) ซึ่งได้สมการเชิงเส้นเป็น y = 0.2304x โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9997



ภาพ 4.1 กราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของบีตาแคโรทีนกับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.3 ปริมาณความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์ที่ละลายในน้ำมันดอกทานตะวันและน้ำมันถั่วเหลือง

กราฟมาตรฐานบีตาแคโรทีน ถูกนำมาใช้ในการหาปริมาณของแคโรทีนอยด์ที่สกัดจากน้ำมันปาล์มดิบและทำให้เข้มข้นโดยการสะปอนิฟิเคชัน เมื่อนำมาละลายในน้ำมันดอกทานตะวันและน้ำมันถั่วเหลือง 1 กรัม ได้ความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์เท่ากับร้อยละ 6.14 และ 7.70 ตามลำดับ จะเห็นว่าความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์ไม่เท่ากันเมื่อทำการละลายในน้ำมันต่างชนิดกัน ทั้งนี้อาจเนื่องจากน้ำมันที่ใช้ละลายแคโรทีนอยด์มีสมบัติในการละลายต่างกัน ซึ่งน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันดอกทานตะวันประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวร้อยละ 74 และ 85 โดยมวลของกรดไขมันทั้งหมด ตามลำดับ น้ำมันถั่วเหลืองประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวน้อยกว่าซึ่งจะถูกออกซิไดส์ได้น้อยกว่า แคโรทีนอยด์จึงมีความคงตัวมากกว่าและมีความเข้มข้นมากกว่าที่ละลายในน้ำมันดอกทานตะวัน การศึกษานี้เลือกน้ำมันดอกทานตะวันและน้ำมันถั่วเหลืองมาเป็นตัวละลายแคโรทีนอยด์ที่จะใช้ผสมลงในน้ำนมเนื่องจาก Sachindra and Mahendrakar (2005) ได้ศึกษาการสกัดแคโรทีนอยด์จากเปลือกกุ้งด้วยน้ำมันพืชชนิดต่างๆ พบว่า น้ำมันดอกทานตะวันสามารถสกัดแคโรทีนอยด์ได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับน้ำมันพืชชนิดอื่น แต่ให้ผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันรำข้าว ทั้งนี้การศึกษานี้ไม่เลือกใช้น้ำมันมะพร้าว เนื่องจากเมื่อเกิดการไฮโดรไลซิสเพียงเล็กน้อยจะทำให้มีกรดไขมันอิสระเกิดขึ้น ซึ่งมีกลิ่นแรงและกลิ่นเหม็นคล้ายสบู่ (soapy off-flavor) (นิธิยา, 2548) ส่วนน้ำมันรำข้าวจะมีความคงตัวต่อการเกิดออกซิเดชัน เพราะมีวิตามินอีเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และป้องกันการสลายตัวของบีตาแคโรทีนได้ดี แต่ปัจจุบันยังไม่เป็นที่นิยมนำมาใช้เป็นตัวละลายสารให้สี เมื่อพิจารณาจากการนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ น้ำมันถั่วเหลืองจะได้รับความนิยมมากที่สุด และมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าน้ำมันชนิดอื่น (นิธิยา, 2548)

4.1.4 การศึกษาสมบัติของน้ำนมคืนรูปที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

การวิเคราะห์สมบัติของนมผงที่ใช้เป็นวัตถุดิบ ก่อนนำไปใช้ในกระบวนการผลิตนมผงเสริมบีตาแคโรทีนด้วยการอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดที่สามารถไทเทรตได้ ความเป็นกรด-ด่าง ความชื้น และค่าสี ได้ผลการวิเคราะห์ดังตาราง 4.2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.2 สมบัติของน้ำนมคืนรูปที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

สมบัติ	ผลการวิเคราะห์[1]
ปริมาณกรดทั้งหมด (กรัม/100 มิลลิลิตร)	0.17 (0.01
กรด-ด่าง (pH)	5.91 (0.02
ความชื้น2 (ร้อยละ)	4.15 (0.04
ค่าความสว่าง2 (L)	86.15 (0.53
ค่าสีแดง[2] (a*)	(+)2.52 ± 0.29
ค่าสีเหลือง[2] (b*)	(+)24.35 ± 0.64

หมายเหตุ [1] ผลการวิเคราะห์เป็นค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

[2] วิเคราะห์ในรูปของนมผง

ผลการวิเคราะห์สมบัติของน้ำนมคืนรูปที่ใช้เป็นวัตถุดิบ พบว่า มีความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยเท่ากับ 5.91 ซึ่งปกติน้ำนมจะมีค่า pH ระหว่าง 6.3-6.9 ค่าความเป็นกรดของน้ำนมนอกจากจะวัดเป็นค่า pH แล้วยังวัดเป็นค่าปริมาณกรดทั้งหมดที่สามารถไทเทรตได้ พบว่า น้ำนมคืนรูปมีปริมาณกรดทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 0.17 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตรกรดแลคติค สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของน้ำนมคืนรูป พบว่า มีความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 4.15 ซึ่งทั้งปริมาณกรดทั้งหมดที่สามารถไทเทรตได้และปริมาณความชื้นอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นมผงกำหนดไว้ คือ ปริมาณกรดทั้งหมดที่สามารถไทเทรตได้ไม่เกินร้อยละ 0.17 ของกรดแลคติก และความชื้นไม่เกินร้อยละ 5 ของน้ำหนัก (มอก.391-2524, 2545; ลักขณาและนิธิยา, 2544; วรรณาและวิบูลย์ศักดิ์, 2531)

ค่า L ที่บอกถึงความสว่าง มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 100 (ค่า L มากให้ความสว่างมาก) สำหรับค่าสี a* คือค่าสีแดง เมื่อ a* มีค่าบวกจะเป็นสีแดง และ a* มีค่าลบจะเป็นสีเขียว ส่วนค่าสี b* คือค่าสีเหลือง เมื่อ b* มีค่าบวกจะเป็นสีเหลือง และ b* มีค่าลบจะเป็นสีน้ำเงิน จากตาราง 4.2 พบว่าน้ำนมคืนรูปมีค่าสี L, a* และ b* เท่ากับ 86.15, (+)2.52 และ (+)24.35 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าน้ำนมคืนรูปมีค่าความสว่างมากและมีสีเหลืองเล็กน้อย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.5 การศึกษาสภาวะในการอบแห้งแบบพ่นฝอยของน้ำนมคืนรูปเสริมบีตาแคโรทีน

ก. สภาวะที่ใช้ในการอบแห้งน้ำนมคืนรูปเสริมบีตาแคโรทีน

จากการศึกษาเบื้องต้นของสภาวะที่ใช้ในการอบแห้งนมผงเสริมบีตาแคโรทีน โดยใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150, 175 และ 190 องศาเซลเซียส หัวฉีดพ่นชนิดใช้แรงดันสูง (Spray drying Systems Co., USA) เบอร์ 1, 1.5 และ 2 ความดันปั๊มของเหลว 15 และ 20 บาร์ ความเร็วในการพ่นของเหลว 35 และ 40 รอบต่อวินาที และความเร็วปั๊มลม 25 รอบต่อวินาที ได้ผลดังตาราง 4.3

การใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150 องศาเซลเซียส จะได้นมผงที่ไม่แห้ง มีลักษณะเหนียวและจับตัวเป็นก้อนแข็ง ส่วนที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 175 องศาเซลเซียส ทำให้นมผงแห้ง มีนมผงตกค้างในห้องอบแห้งของเครื่องอบแห้งเพียงเล็กน้อย ลักษณะปรากฏร่วน เป็นผงละเอียด ส่วนการใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 190 องศาเซลเซียส จะได้นมผงที่มีสีน้ำตาลเล็กน้อย มีกลิ่นไหม้ ดังนั้นอุณหภูมิลมร้อนที่เหมาะสมในการอบแห้งน้ำนมคืนรูป คือ 175 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของตัวอย่างเท่ากับ 60-70 องศาเซลเซียส

การใช้หัวฉีดพ่นเบอร์ 1 จะเกิดการอุดตันของน้ำนม ส่วนหัวฉีดพ่นเบอร์ 1.5 หัวฉีดไม่เกิดการอุดตัน ลักษณะน้ำนมที่พ่นออกมาเป็นฝอย มีการกระจายตัวดี สำหรับการใช้หัวฉีดพ่นเบอร์ 2 จะได้ลักษณะของน้ำนมที่พ่นออกมาไม่เป็นฝอย การกระจายตัวไม่ดี ทำให้สัมผัสกับลมร้อนไม่ทั่วถึง ซึ่งการเลือกใช้หัวฉีดพ่น ต้องสัมพันธ์กับการปรับแรงดัน และอัตราการไหลด้วย

ความดัน เป็นความดันของปั๊มเพื่อทำการส่งตัวอย่างเข้าสู่ห้องอบแห้ง โดยความดันที่ 15 บาร์ ให้อัตราการไหล 200 มิลลิลิตรต่อนาที และตัวอย่างมีการฟุ้งกระจายของละอองสม่ำเสมอ ส่วนความดัน 20 บาร์ ให้อัตราการไหล 250 มิลลิลิตรต่อนาที มีการฟุ้งกระจายของละอองที่สม่ำเสมอ แต่ตัวอย่างจะถูกส่งผ่านหัวฉีดเร็วมาก ทำให้นมผงผลิตภัณฑ์ไม่แห้ง และตกค้างในห้องอบแห้งในปริมาณมาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การใช้ความเร็วในการพ่นของเหลว 35 รอบต่อวินาที ทำให้ตัวอย่างถูกเป่าให้ลอยในห้องอบแห้งที่สัมพันธ์กับระยะเวลา จะได้นมผงผลิตภัณฑ์ที่แห้ง เป็นผงละเอียด แต่ที่ความเร็วในการพ่น 40 รอบต่อวินาที พบว่าตัวอย่างถูกเป่าด้วยความเร็วที่เร็วเกินไป นมผงผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่แห้งเนื่องจากสัมผัสกับลมร้อนในระยะเวลาน้อยเกินไป สำหรับความเร็วปั๊มลม 25 รอบต่อวินาที ซึ่ง

เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่แนะนำในคู่มือการใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (บริษัท เจ ซี เครื่องจักรกล และงานโยธา จำกัด, ประเทศไทย)

ตาราง 4.3 ลักษณะของนมผงเสริมบีตาแคโรทีนที่อบแห้งในสภาวะต่างๆ

สภาวะในการอบแห้ง					ลักษณะของนมผง
อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (^oC)	หัวฉีดพ่นเบอร์	ความดันปั๊มของเหลว (บาร์)	ความเร็วในการพ่นของเหลว (รอบต่อวินาที)	ความเร็วปั๊มลม (รอบต่อวินาที)	
150	1.0	15	35	25	หัวฉีดอุดตัน
	1.0	15	40	25	หัวฉีดอุดตัน
	1.0	20	35	25	หัวฉีดอุดตัน
	1.0	20	40	25	หัวฉีดอุดตัน
	1.5	15	35	25	นมผงไม่แห้ง
	1.5	15	40	25	นมผงไม่แห้ง
	1.5	20	35	25	นมผงไม่แห้ง
	1.5	20	40	25	นมผงไม่แห้ง
	2.0	15	35	25	นมผงไม่แห้ง
	2.0	15	40	25	นมผงไม่แห้ง
	2.0	20	35	25	นมผงไม่แห้ง
	2.0	20	40	25	นมผงไม่แห้ง
175	1.0	15	35	25	หัวฉีดอุดตัน
	1.0	15	40	25	หัวฉีดอุดตัน
	1.0	20	35	25	หัวฉีดอุดตัน
	1.0	20	40	25	หัวฉีดอุดตัน
	1.5	15	35	25	น้ำนมกระจายตัวดีนมผงแห้ง
	1.5	15	40	25	น้ำนมกระจายตัวดีนมผงไม่แห้ง
	1.5	20	35	25	นมผงไม่แห้ง
	1.5	20	40	25	นมผงไม่แห้ง
	2.0	15	35	25	น้ำนมกระจายตัวไม่ดี
	2.0	15	40	25	น้ำนมกระจายตัวไม่ดี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.3 ลักษณะของนมผงเสริมบีตาแคโรทีนที่อบแห้งในสภาวะต่างๆ (ต่อ)

สภาวะในการอบแห้ง					ลักษณะของนมผง
อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (^oC)	หัวฉีดพ่นเบอร์	ความดันปั๊มของเหลว (บาร์)	ความเร็วในการพ่นของเหลว (รอบต่อวินาที)	ความเร็วปั๊มลม (รอบต่อวินาที)	
175	2.0	20	35	25	น้ำนมกระจายตัวไม่ดี
	2.0	20	40	25	น้ำนมกระจายตัวไม่ดี
190	1.0	15	35	25	หัวฉีดอุดตัน
	1.0	15	40	25	หัวฉีดอุดตัน
	1.0	20	35	25	หัวฉีดอุดตัน
	1.0	20	40	25	หัวฉีดอุดตัน
	1.5	15	35	25	นมผงไหม้
	1.5	15	40	25	นมผงไหม้
	1.5	20	35	25	นมผงไหม้
	1.5	20	40	25	นมผงไหม้
	2.0	15	35	25	นมผงไหม้
	2.0	15	40	25	นมผงไหม้
	2.0	20	35	25	นมผงไหม้
	2.0	20	40	25	นมผงไหม้

การศึกษานี้ ได้คัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการอบแห้งน้ำนมเสริมบีตาแคโรทีน โดยใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 175 องศาเซลเซียส หัวฉีดพ่นชนิดใช้แรงดันสูงเบอร์ 1.5 ความดันปั๊มของเหลว 15 บาร์ ความเร็วในการพ่นของเหลว 35 รอบต่อวินาที ความเร็วปั๊มลม 25 รอบต่อวินาที ทั้งนี้เนื่องจากสามารถผลิตนมผงให้ได้ลักษณะปรากฏที่แห้ง เป็นผงละเอียด มีสีและกลิ่นใกล้เคียงกับนมวัตถุดิบ และมีส่วนที่ตกค้างในห้องอบแห้งน้อย นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณความชื้นของนมผงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน คือ ไม่เกินร้อยละ 5 โดยมวล (ตาราง 4.4)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.4 ผลของการใช้น้ำมันถั่วเหลืองหรือน้ำมันดอกทานตะวันเป็นตัวละลายแคโรทีนอยด์ร่วมกับทิศทางการพ่นกระแสลมร้อน ในการอบแห้งน้ำนมเสริมบีตาแคโรทีนด้วยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอยต่อสมบัติของนมผง

สิ่งทดลอง	สมบัติของนมผง[1]				สี	ลักษณะปรากฏ
	ความชื้น (ร้อยละ)	ค่า L	ค่าสี a*	ค่าสี b*		
control	1.88^{a}±0.02	70.41^{e}±0.04	(+)7.54^{e}±0.07	(+)33.67^{c}±0.03	เหลืองคล้ำ	แห้ง ร่วนผงละเอียด
SB-CO	2.06^{b}±0.12	71.84^{d}±0.06	(+)7.16^{d}±0.05	(+)33.96^{c}±0.09	เหลืองเข้ม	แห้ง ผงละเอียด
SB-CT	2.87^{c}±0.13	75.36^{b}±0.09	(+)5.21^{b}±0.04	(+)32.79^{b}±0.04	เหลืองเข้ม	แห้ง ผงละเอียด
SF-CO	2.99^{c}±0.04	74.42^{c}±0.05	(+)6.02^{c}±0.06	(+)33.79^{d}±0.02	เหลืองนวล	แห้ง ผงละเอียด
SF-CT	3.31^{d}±0.11	77.64^{a}±0.05	(+)4.33^{a}±0.02	(+)31.54^{a}±0.04	เหลืองอ่อน	แห้ง ผงละเอียดเนื้อเนียน

หมายเหตุ :

a,b,c,... ในแถวแนวตั้งเดียวกันที่มีอักษรกำกับเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

1 ผลการวิเคราะห์เป็นค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

control = นมผงผ่านกระบวนการอบแห้งที่ไม่ได้เติมบีตาแคโรทีน

SB = นมผงเสริมบีตาแคโรทีนที่ใช้น้ำมันถั่วเหลืองเป็นตัวละลายแคโรทีนอยด์

SF = นมผงเสริมบีตาแคโรทีนที่ใช้น้ำมันดอกทานตะวันเป็นตัวละลายแคโรทีนอยด์

CO = ทิศทางการพ่นแบบตามกระแสลมร้อน

CT = ทิศทางการพ่นแบบสวนกระแสลมร้อน

จากตาราง 4.4 พบว่า ปริมาณความชื้นในนมผง SB-CT และ SF-CO ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่ค่าสี L, a* และ b* ของสิ่งทดลองทั้งหมดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แสดงว่าชนิด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ของน้ำมันที่ใช้ละลายบีตาแคโรทีน และทิศทางการพ่นลมร้อนมีผลต่อปริมาณความชื้น ค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองของนมผงเสริมบีตาแคโรทีนเมื่อเทียบกับนมผงควบคุม การพ่นแบบตามกระแสลมร้อนจะได้นมผงที่มีค่าความชื้นต่ำกว่าการพ่นแบบสวนกระแสลมร้อน และการใช้น้ำมันถั่วเหลืองเป็นตัวละลายให้นมผงที่มีสีเข้มกว่าการใช้น้ำมันดอกทานตะวัน ทั้งนี้เนื่องจาก การพ่นแบบตามกระแสลมร้อนน้ำนมที่ถูกฉีดพ่นออกมาจากหัวฉีดสัมผัสกับความร้อนสูงทันที ทำให้ปริมาณน้ำถูกระเหยออกไปอย่างรวดเร็ว จึงทำให้มีค่าความชื้นที่ต่ำและมีสีที่เข้มมากกว่า ซึ่งในทางทฤษฎีการพ่นแบบตามกระแสลมร้อนจะให้สีที่เข้มน้อยกว่า และความชื้นจะต้องมากกว่าการพ่นแบบสวนกระแสลมร้อน เนื่องจากเมื่อสัมผัสกับความร้อนสูงแต่ในตัวอย่างมีปริมาณน้ำมาก การสูญเสียแคโรทีนอยด์จะน้อย จึงทำให้ตัวอย่างมีสีของแคโรทีนอยด์อยู่มาก ค่าความสว่างมาก และในตัวอย่างจะมีปริมาณน้ำคงเหลือมาก

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาค่าความสว่างของนมผงที่ใช้เป็นวัตถุดิบเทียบกับนมผงที่ผ่านการอบแห้ง พบว่า นมผงที่ผ่านการอบแห้งจะมีค่าความสว่างน้อยกว่านมผงวัตถุดิบ (ค่าความสว่างของนมวัตถุดิบเท่ากับ 86.15 จากตาราง 4.2) อาจเนื่องจากการนำนมผงวัตถุดิบกลับมาละลายและผ่านความร้อนสูง จึงทำให้เกิดสีที่เข้มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Baechler et al. (2005) ที่ได้รายงานว่านมผงที่ถูกให้ความร้อนในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม จะมีสีเข้มขึ้นหรือสีน้ำตาลอันเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction)

ข. การเปลี่ยนแปลงปริมาณบีตาแคโรทีนในนมผงที่อบแห้งโดยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย

จากการศึกษาปริมาณการเสริมบีตาแคโรทีนในนมผง โดยใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 175 องศาเซลเซียส หัวฉีดพ่นชนิดใช้แรงดันสูงเบอร์ 1.5 ความดันปั๊มของเหลว 15 บาร์ ความเร็วในการพ่นของเหลว 35 รอบต่อวินาที ความเร็วปั๊มลม 25 รอบต่อวินาที ในการอบแห้งแบบพ่นฝอย พบว่า หลังจากนมผงผ่านกระบวนการอบแห้งแล้ว ปริมาณบีตาแคโรทีนมีการเปลี่ยนแปลง ดังแสดงในตาราง 4.5

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.5 การลดลงของปริมาณบีตาแคโรทีนที่เสริมในนมหลังการทำแห้ง

ปริมาณของบีตาแคโรทีนที่เติมในน้ำนมก่อนการอบแห้ง (IU/qt)*	ปริมาณของบีตาแคโรทีนหลังการอบแห้ง (IU/qt)	ปริมาณบีตาแคโรทีนที่เปลี่ยนแปลงหลังการอบแห้ง (ร้อยละ)
3000	170.07	94.33
4000	219.29	94.52
5000	312.19	93.77

หมายเหตุ * qt = quart (1 qt = 0.945 L)

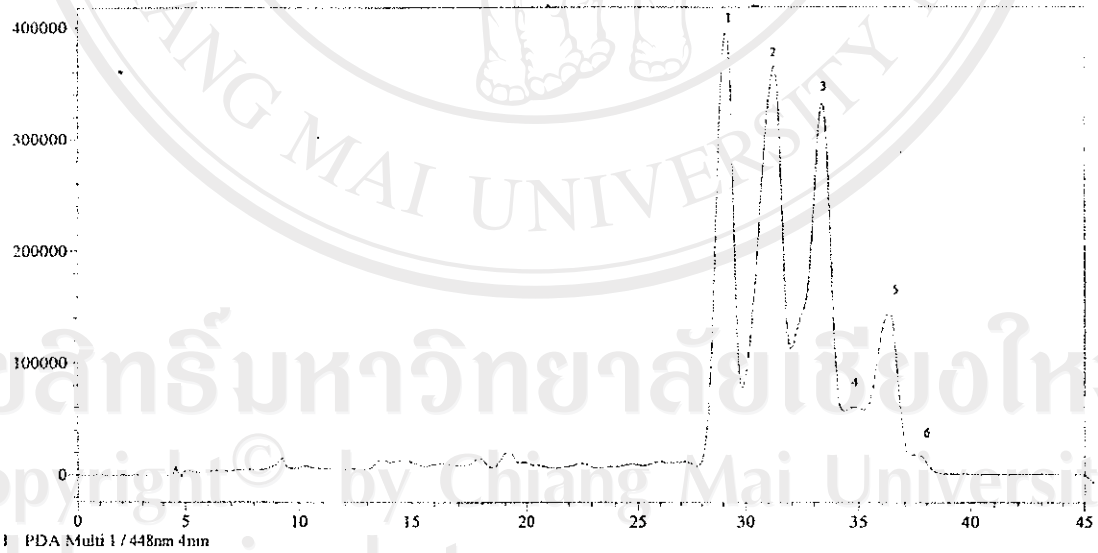
จากตาราง 4.5 จะเห็นได้ว่า เมื่อเติมบีตาแคโรทีนในปริมาณ 3000, 4000 และ 5000 IU/qt ในน้ำนมก่อนทำการอบแห้ง และเมื่อผ่านกระบวนการอบแห้งแล้ว พบว่า ปริมาณบีตาแคโรทีนลดลงเหลือ 170.07, 219.29 และ 312.19 IU/qt ตามลำดับ และเมื่อคิดปริมาณของบีตาแคโรทีนที่เปลี่ยนแปลง พบว่า มีการสูญเสียไประหว่างกระบวนการอบแห้งเฉลี่ยกว่าร้อยละ 94 ซึ่งอาจเนื่องมาจากเกิดการออกซิเดชันในขั้นตอนการอบแห้ง Karabulut et al. (2007) ได้รายงานว่า การทำแห้งอะพริคอท (*Prunus armenica* L.) โดยใช้แสงอาทิตย์และตู้อบลมร้อน เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการทำแห้งจะทำให้บีตาแคโรทีนลดลง เนื่องจากเกิดการออกซิเดชันและการใช้อุณหภูมิสูงร่วมด้วย โดยอุณหภูมิของตู้อบลมร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส จะทำลายสี และองค์ประกอบทางโภชนาการของอะพริคอท ฉะนั้น ในการศึกษานี้เมื่อต้องการที่จะทำการเสริมบีตาแคโรทีนในนมที่ผ่านกระบวนการอบแห้ง จะต้องเติมบีตาแคโรทีนในปริมาณที่มากขึ้น และควรป้องกันการเกิดออกซิเดชัน ซึ่งอาจเกิดขึ้นในการอบแห้ง โดยการออกแบบเครื่องผสมน้ำนมให้เป็นระบบปิดและลดปริมาณออกซิเจนในเครื่องอบแห้ง ซึ่งเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยได้มีการออกแบบให้มีการใช้แก๊สเฉื่อย เช่น แก๊สไนโตรเจน สำหรับผลิตภัณฑ์ผงที่จะเกิดออกซิเดชันระหว่างการอบแห้ง (BETE Fog Nozzle Inc, 2005) ทั้งนี้ ปริมาณการเติมบีตาแคโรทีนจะต้องคำนึงถึงปริมาณที่กฎหมายอนุญาต โดยทางองค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา กำหนดให้มีการเสริมวิตามินในนมขาดมันเนยเมื่อนำมาละลายกลับแล้ว จะต้องมีปริมาณวิตามินเอ 2000 IU/qt (Lloyd et al., 2004)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2 การศึกษาความคงตัวของแคโรทีนอยด์ในนมผง

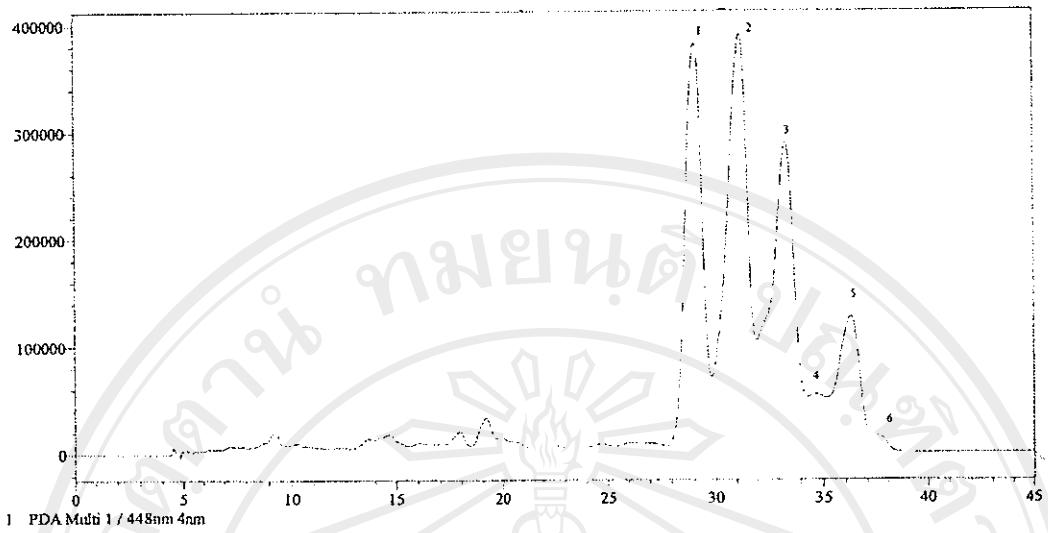
ก. การเปลี่ยนแปลงอนุพันธ์ของแคโรทีนในนมผง

อนุพันธ์ของแคโรทีนที่สกัดได้จากน้ำมันปาล์มดิบแล้วนำไปทำให้บริสุทธิ์และเข้มข้น ด้วยวิธีสะปอนิฟิเคชัน และเตรียมให้อยู่ในรูปของน้ำมันโดยใช้น้ำมันถั่วเหลือง (ภาพ 4.2) และน้ำมันดอกทานตะวันเป็นตัวละลาย (ภาพ 4.3) พบว่ามีแอลฟ่าแคโรทีนและบีตาแคโรทีนในปริมาณสูง โดยพบบีตาแคโรทีนในน้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันดอกทานตะวันที่ใช้ละลายแคโรทีนอยด์ ในปริมาณ 39,567 และ 34,995 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำมัน หรือมีปริมาณร้อยละ 71.43 และ 71.57 ของแคโรทีนอยด์ในรูปของแอลฟ่าและบีตาแคโรทีน ตามลำดับ และไอโซเมอร์อยู่ในรูปของทรานส์และซิส ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Rodriguez (1996) ที่ได้รายงานว่า ในน้ำมันปาล์มดิบมีปริมาณของแอลฟ่าแคโรทีนและบีตาแคโรทีนอยู่สูงมาก จึงเป็นแหล่งสำคัญของโปรวิตามินเอ นอกจากนี้ยังมีรายงานของ Mortensen (2005) ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณแคโรทีนจากน้ำมันปาล์มดิบ โดยใช้เทคนิค HPLC พบว่ามี *cis*-isomer ของแอลฟ่าแคโรทีน บีตาแคโรทีนและแกมมาแคโรทีนในปริมาณมากโดยแอลฟ่าแคโรทีนและบีตาแคโรทีน มีปริมาณมากที่สุดในจำนวนแคโรทีนอยด์ที่วิเคราะห์ได้ คือ มีปริมาณเท่ากับร้อยละ 17.9 และ 12.3 ตามลำดับ



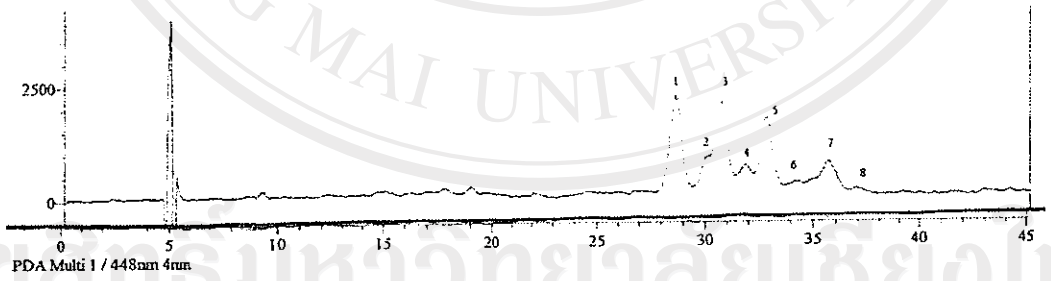
ภาพ 4.2 โครมาโตแกรมของอนุพันธ์แคโรทีนในสารสกัดแคโรทีนอยด์ที่เตรียมในรูปน้ำมันโดยใช้น้ำมันถั่วเหลืองจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC : 1 = all-*trans*-α-carotene, 2 = all-*trans*-β-carotene, 3 = 9-*cis*-β-carotene, 4 = non-identified *cis*-α-carotene, 5 = 13-*cis*-β-carotene, 6 = 15-*cis*-β-carotene

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



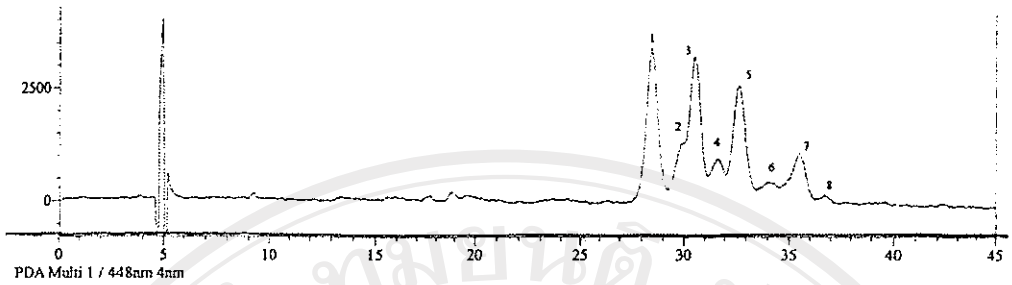
ภาพ 4.3 โครมาโตแกรมของอนุพันธ์แคโรทีนในสารสกัดแคโรทีนอยด์ที่เตรียมในรูปน้ำมันโดยใช้น้ำมันดอกทานตะวันจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC : 1 = all-*trans*-α-carotene, 2 = all-*trans*-β-carotene, 3 = 9-*cis*-β-carotene, 4 = non-identified *cis*-α-carotene, 5 = 13-*cis*-β-carotene, 6 = 15-*cis*-β-carotene

การวิเคราะห์นมผงเสริมบีตาแคโรทีนเมื่อผ่านการอบแห้งแบบพ่นฝอยด้วยเทคนิค HPLC พบว่า ปริมาณแอลฟาแคโรทีนและบีตาแคโรทีนลดลง เมื่อเทียบกับปริมาณเริ่มต้นที่เตรียมในรูปของน้ำมัน ดังภาพ 4.4 – 4.7

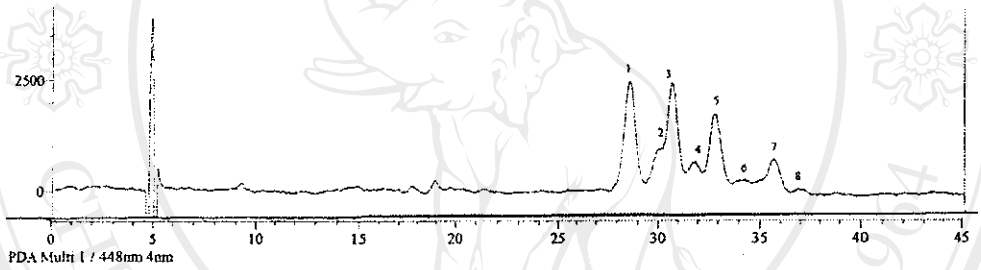


าพ 4.4 โครมาโตแกรมของแคโรทีนในตัวอย่างสิ่งทดลอง SB-CO หลังผ่านการอบแห้งแบบพ่นฝอยจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC : 1 = all-*trans*-α-carotene, 2 = 9-*cis*-α-carotene, 3 = all-*trans*-β-carotene, 4 = 13-*cis* และ 13′-*cis*-α-carotene, 5 = 9-*cis*-β-carotene, 6 = non-identified *cis*-α-carotene, 7 = 13-*cis*-β-carotene, 8 = 15-*cis*-β-carotene

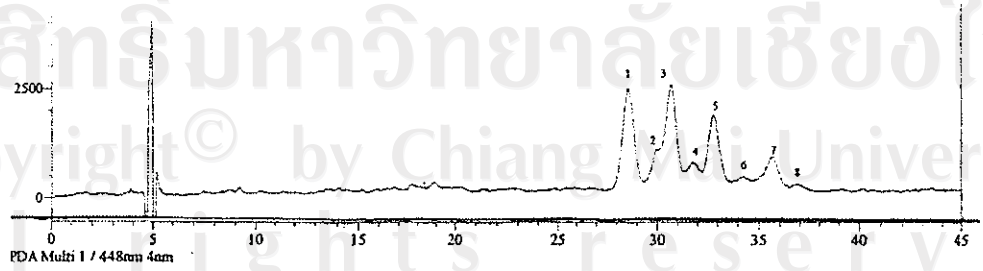
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.5 โครมาโตแกรมของแคโรทีนในตัวอย่างสิ่งทดลอง SB-CT หลังผ่านการอบแห้งแบบพ่นฝอยจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC : 1 = all-*trans*-α-carotene, 2 = 9-*cis*-α-carotene, 3 = all-*trans*-β-carotene, 4 = 13-*cis* และ 13´-*cis*-α-carotene, 5 = 9-*cis*-β-carotene, 6 = non-identified *cis*-α-carotene, 7 = 13-*cis*-β-carotene, 8 = 15-*cis*-β-carotene



ภาพ 4.6 โครมาโตแกรมของแคโรทีนในตัวอย่างสิ่งทดลอง SF-CO หลังผ่านการอบแห้งแบบพ่นฝอยจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC : 1 = all-*trans*-α-carotene, 2 = 9-*cis*-α-carotene, 3 = all-*trans*-β-carotene, 4 = 13-*cis* และ 13´-*cis*-α-carotene, 5 = 9-*cis*-β-carotene, 6 = non-identified *cis*-α-carotene, 7 = 13-*cis*-β-carotene, 8 = 15-*cis*-β-carotene

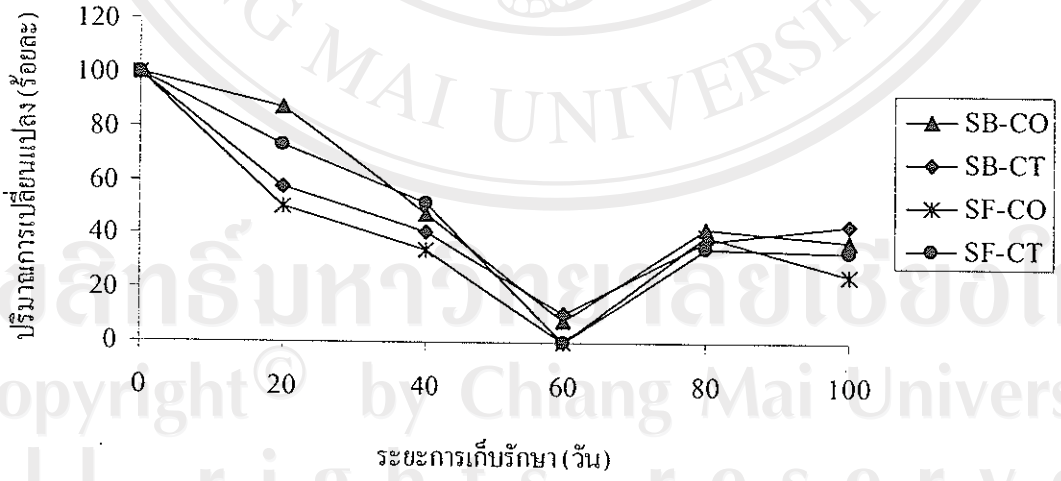


ภาพ 4.7 โครมาโตแกรมของแคโรทีนในตัวอย่างสิ่งทดลอง SF-CT หลังผ่านการอบแห้งแบบพ่นฝอยจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC : 1 = all-*trans*-α-carotene, 2 = 9-*cis*-α-carotene, 3 = all-*trans*-β-carotene, 4 = 13-*cis* และ 13´-*cis*-α-carotene, 5 = 9-*cis*-β-carotene, 6 = non-identified *cis*-α-carotene, 7 = 13-*cis*-β-carotene, 8 = 15-*cis*-β-carotene

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

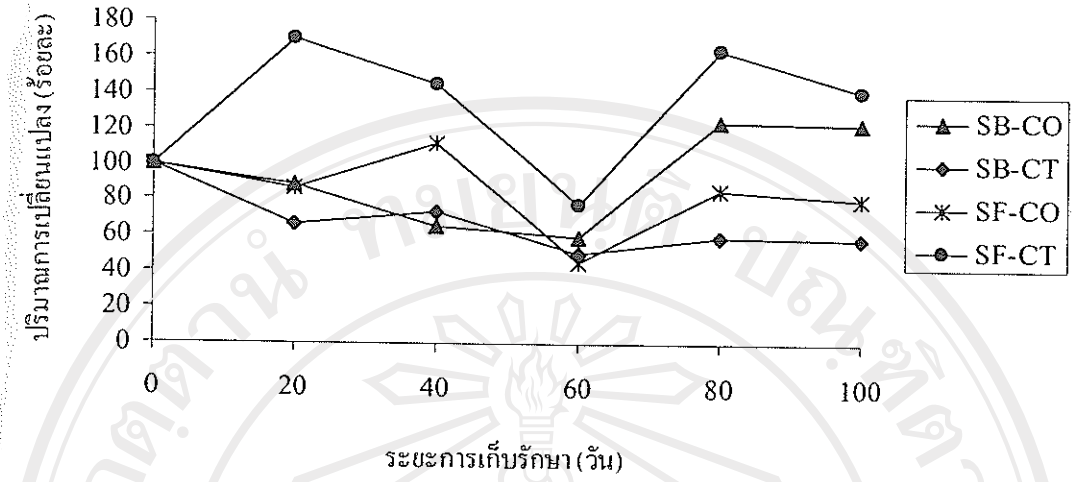
จากภาพ 4.4 – 4.7 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณบีตาแคโรทีนที่ทำการเสริมในนมผงลดลงในทุกสิ่งทดลอง แต่สิ่งทดลอง SB-CT ที่ใช้น้ำมันถั่วเหลืองเป็นตัวละลายแคโรทีนอยด์ และใช้สภาวะในการอบแห้งแบบการพ่นแบบสวนกระแสลมร้อน พบว่า หลังจากผ่านกระบวนการอบแห้งจะมีปริมาณบีตาแคโรทีนเหลืออยู่ในปริมาณมากกว่าสิ่งทดลองอื่น และในทุกสิ่งทดลองอนุพันธ์แอลฟาแคโรทีน จะมีรูป *cis*-isomer เพิ่มขึ้นมาอีก 2 รูปแบบคือ 9-*cis*-α-carotene และ 13-*cis* and 13′-*cis*-α-carotene ทั้งนี้อาจเนื่องจากได้รับความร้อนซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนจากรูปทรานส์เป็นซิส (อนุตตราและบุญตา, 2540; กัณณพนต์, 2538; อนุสรณ์และสุรศักดิ์, 2534)

ตาราง ก-1 – ก-4 (ภาคผนวก ก) และภาพ 4.8-4.15 แสดงการเปลี่ยนแปลงอนุพันธ์ของแคโรทีนในนมผงที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ตลอดระยะการเก็บรักษา 100 วัน จะเห็นว่า ทุกสิ่งทดลองมีการเปลี่ยนแปลงอนุพันธ์บีตาแคโรทีนลดลง ขณะที่อนุพันธ์แอลฟาแคโรทีนจะลดลงแต่เปลี่ยนเป็นรูปซิสมากขึ้น และสิ่งทดลอง SB-CT มีการเปลี่ยนแปลงของอนุพันธ์แคโรทีนเช่นเดียวกัน แต่มีความคงตัวของทุกอนุพันธ์มากที่สุดตลอดระยะการเก็บรักษาเมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งทดลองอื่น นอกจากนี้รูปแบบของแอลฟาแคโรทีนและบีตาแคโรทีน จะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกัน ขณะที่ all-*trans*-α-carotene และ 15-*cis*-β-carotene มีการเปลี่ยนแปลงที่ลดลงอย่างรวดเร็ว

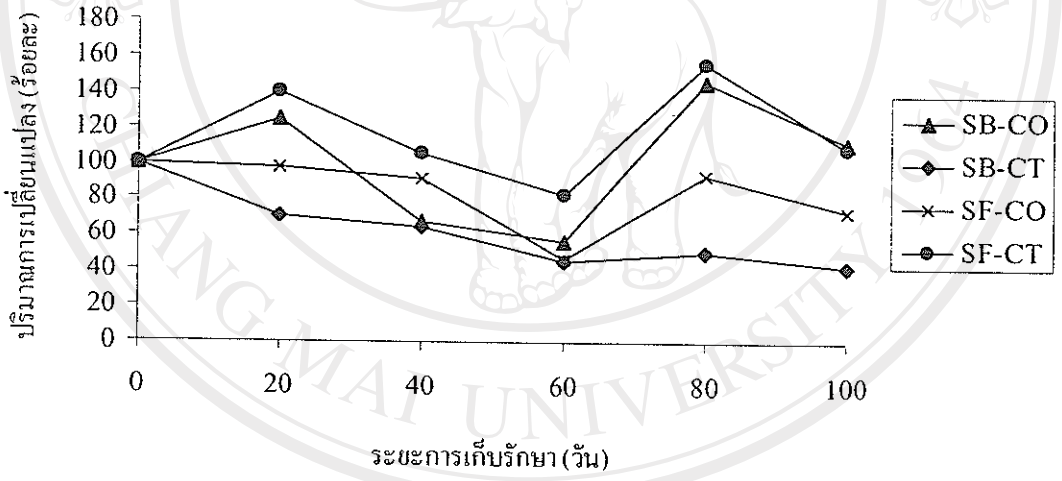


ภาพ 4.8 การเปลี่ยนแปลงของ all-*trans*-α-carotene ในนมผง ที่ระยะการเก็บรักษาต่างๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

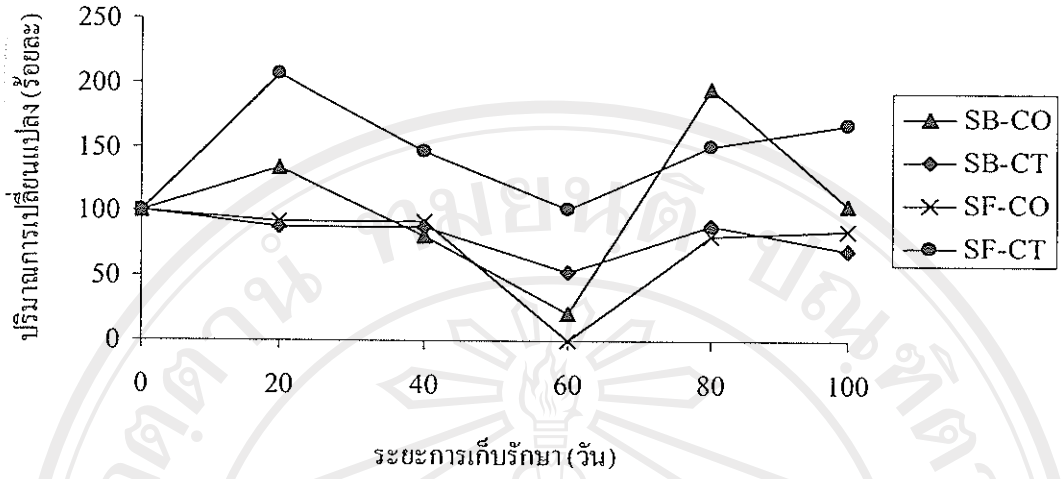


ภาพ 4.9 การเปลี่ยนแปลงของ 9-*cis*-α-carotene ในนมผง ที่ระยะการเก็บรักษาต่างๆ

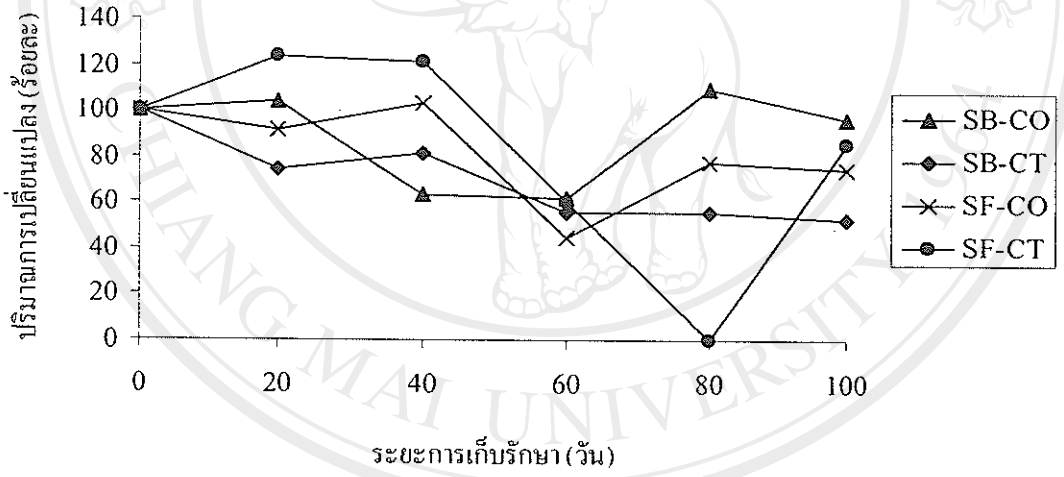


ภาพ 4.10 การเปลี่ยนแปลงของ 13-*cis* และ 13´-*cis*-α-carotene ในนมผง ที่ระยะการเก็บรักษาต่างๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

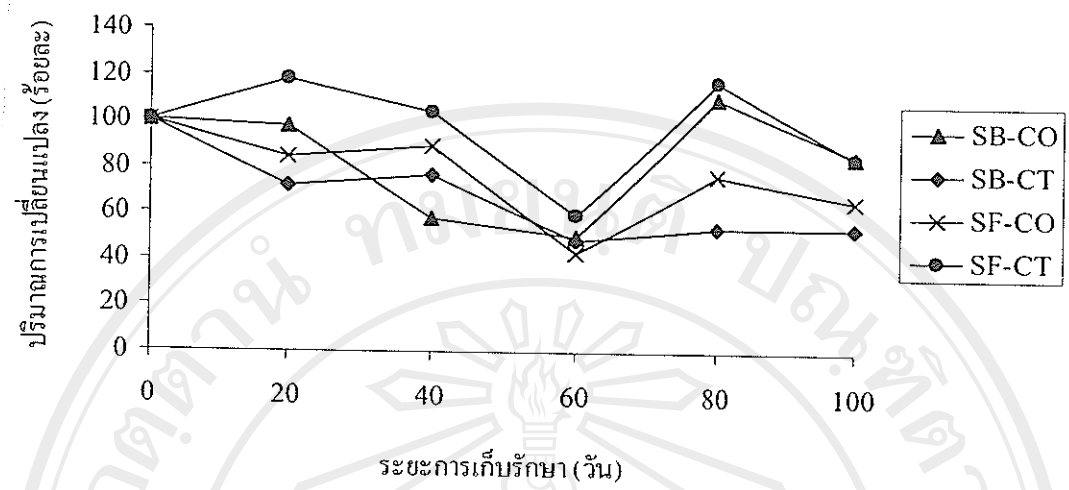


ภาพ 4.11 การเปลี่ยนแปลงของ non-identified *cis*-α-carotene ในนมผงที่ระยะการเก็บรักษาต่างๆ

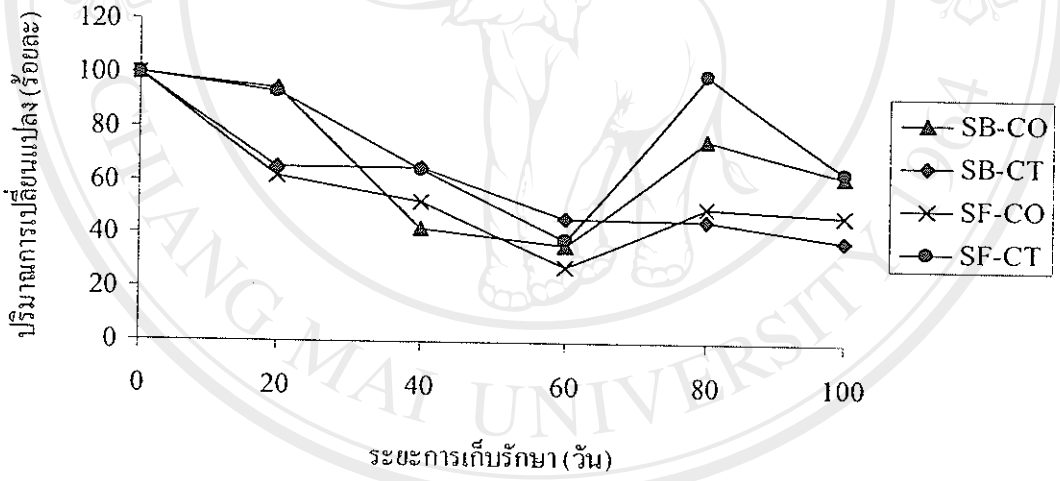


ภาพ 4.12 การเปลี่ยนแปลงของ all-*trans*-β-carotene ในนมผง ที่ระยะการเก็บรักษาต่างๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

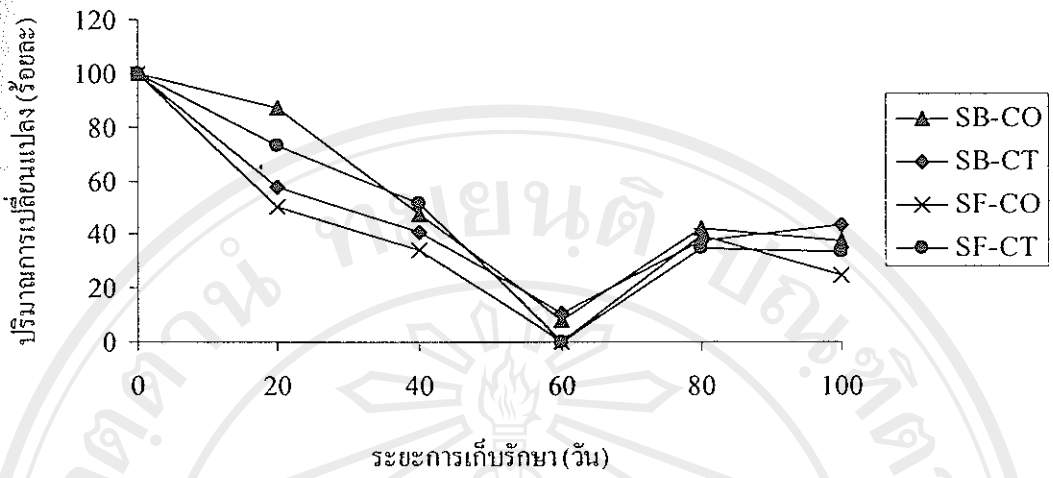


ภาพ 4.13 การเปลี่ยนแปลงของ 9-*cis*-β-carotene ในนมผง ที่ระยะการเก็บรักษาต่างๆ



ภาพ 4.14 การเปลี่ยนแปลงของ 13-*cis*-β-carotene ในนมผง ที่ระยะการเก็บรักษาต่างๆ

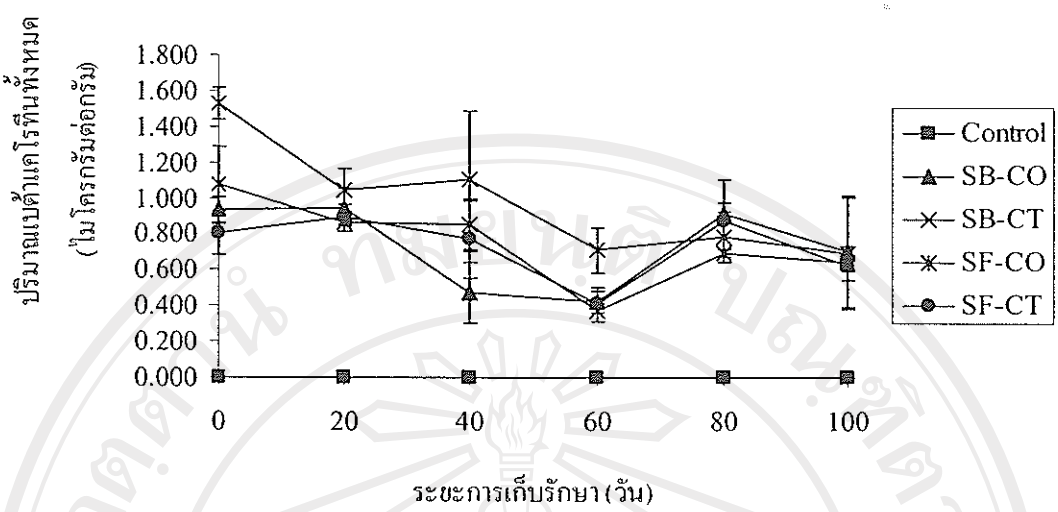
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.15 การเปลี่ยนแปลงของ 15-*cis*-β-carotene ในนมผง ที่ระยะการเก็บรักษาต่างๆ

จากการวิเคราะห์ปริมาณบีตาแคโรทีนที่เหลืออยู่ในนมผงด้วยเทคนิค HPLC (ภาพ 4.16) จะเห็นว่าปริมาณบีตาแคโรทีนในนมผงทุกสิ่งทดลองมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น โดยปริมาณบีตาแคโรทีนเริ่มต้นของสิ่งทดลอง SB-CO, SB-CT, SF-CO และ SF-CT มีค่าเท่ากับ 0.934, 1.525, 1.071 และ 0.803 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ (ผลการทดลองแสดงในภาคผนวก ก) และเมื่อเก็บรักษา 100 วัน พบว่า ปริมาณบีตาแคโรทีนมีค่าเท่ากับ 0.704, 0.696, 0.639 และ 0.628 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งการลดลงของปริมาณบีตาแคโรทีนในระหว่างการเก็บรักษานั้น อาจมีสาเหตุเนื่องจากเกิดการออกซิเดชันจากออกซิเจน และกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ทำให้เกิดการออกซิเดชันร่วม (co-oxidation) ซึ่งน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันดอกทานตะวันประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวร้อยละ 74 และ 85 โดยมวลของกรดไขมันทั้งหมดตามลำดับ การศึกษานี้แสดงว่าบีตาแคโรทีนในน้ำมันถั่วเหลืองจะถูกออกซิไดส์ได้ง่ายกว่าเมื่อผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งมีการสัมผัสกับอากาศและความร้อนสูง อีกสาเหตุหนึ่งอาจมีการซึมผ่านของออกซิเจนจากถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ที่ใช้บรรจุได้บางส่วนด้วย (นิธิยา, 2548; อนุตตราและบุญตา, 2540; กัณณพนต์, 2538; อนุสรณ์และสุรศักดิ์, 2534; Walstra et al., 2006) อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาสภาวะในการอบแห้ง และชนิดของน้ำมันที่ใช้ละลายแคโรทีนอยด์ต่อความคงตัวของบีตาแคโรทีนในนมผง ยังต้องพิจารณาสมบัติทางกายภาพ และจุลชีววิทยา

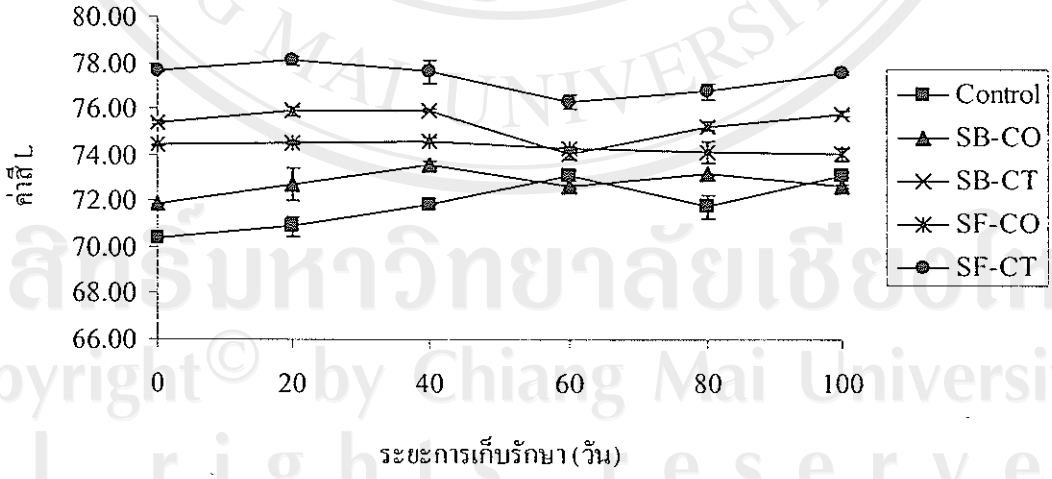
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.16 ปริมาณของบีตาแคโรทีนในนมผงระหว่างการเก็บรักษานาน 100 วัน

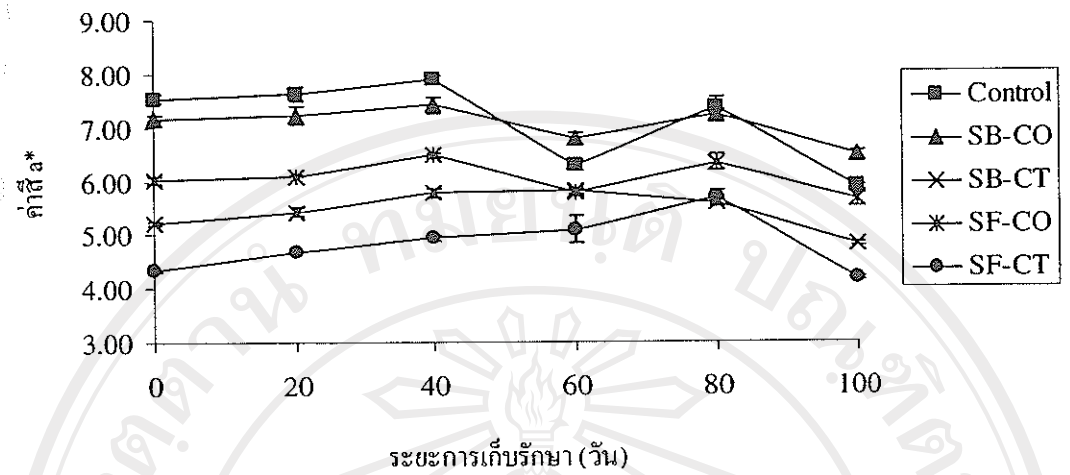
ข. การวิเคราะห์สมบัติของนมผง

การวิเคราะห์สมบัติของนมผงเสริมบีตาแคโรทีนระหว่างการเก็บรักษานาน 100 วัน ได้ผลการวิเคราะห์ค่าสีของนมผงเสริมบีตาแคโรทีนในรูปนมผง (ภาพ 4.17, 4.18 และ 4.19) ค่าสีของน้ำนมที่ได้จากการละลายนมผง (ภาพ 4.20, 4.21 และ 4.22) ความชื้น (ภาพ 4.23) และสมบัติด้านจุลชีววิทยา (ตาราง 4.6)

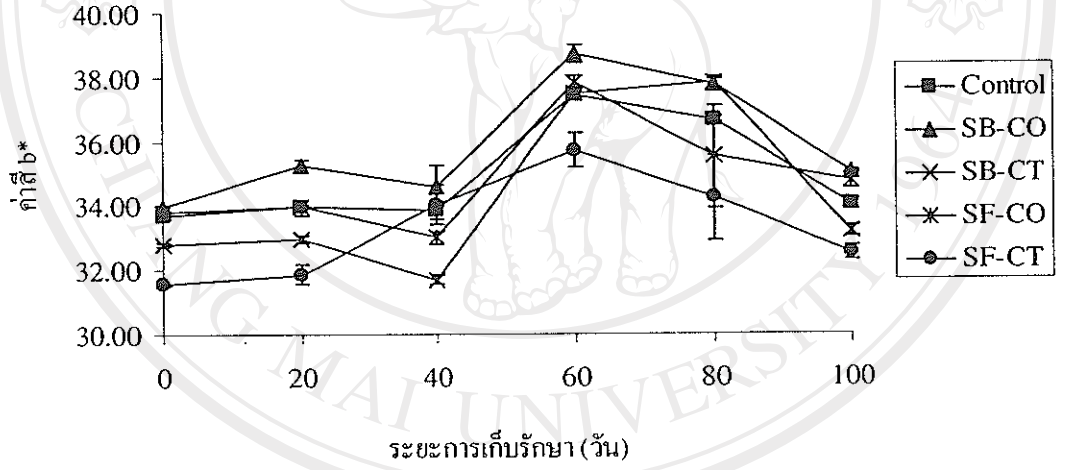


ภาพ 4.17 ค่าสี L ของนมผงเสริมบีตาแคโรทีนในรูปนมผงระหว่างการเก็บรักษา 100 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.18 ค่าสี a* ของนมผงเสริมบีตาแคโรทีนในรูปนมผงระหว่างการเก็บรักษา 100 วัน



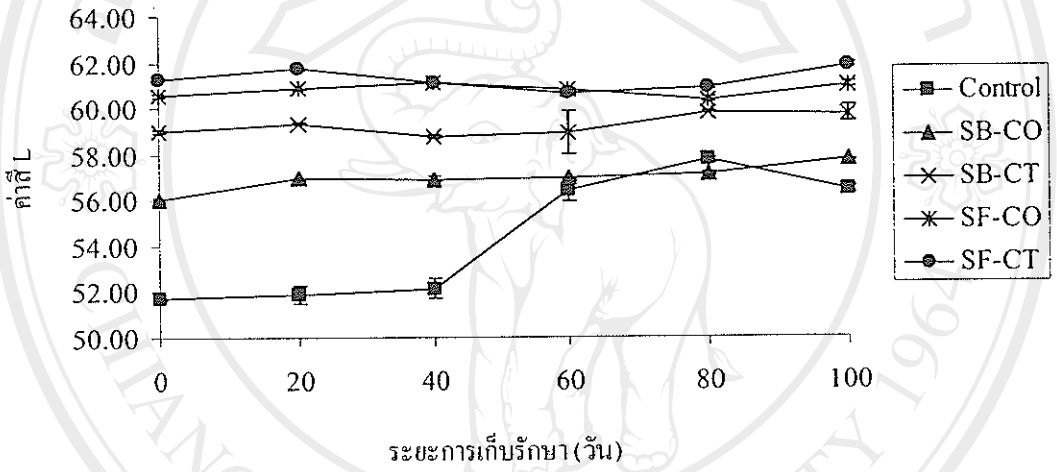
ภาพ 4.19 ค่าสี b* ของนมผงเสริมบีตาแคโรทีนในรูปนมผงระหว่างการเก็บรักษา 100 วัน

ผลการวิเคราะห์ค่าสี L, a* และ b* ของนมผงเสริมบีตาแคโรทีนในรูปนมผงระหว่างการเก็บรักษา 100 วัน พบว่า ค่าสี L ในนมผงเสริมบีตาแคโรทีนของทุกสิ่งทดลองมีค่าความสว่างและค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้น ส่วนค่าสีแดงลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับค่า L, a* และ b* เริ่มต้น ทั้งนี้อาจมีสาเหตุจากการสูญเสียบีตาแคโรทีน หรือการเปลี่ยนรูปของซิสไอโซเมอร์ (*cis*-isomers) จึงทำให้สีของอาหารจางลง (Tang and Chen, 2000)

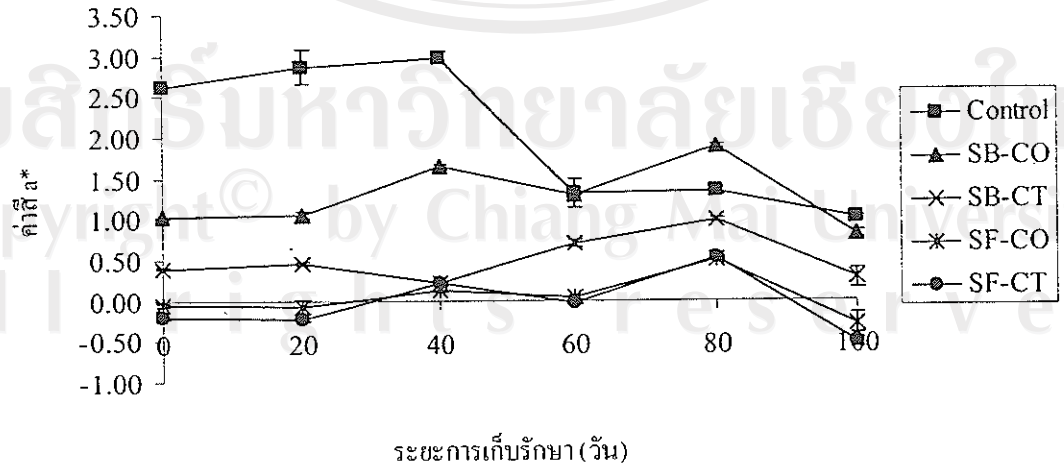
ส่วนค่าสี C* (chroma) เป็นค่าที่บอกถึงความเข้มของสีที่ปรากฏ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0 (มืด) ถึง 60 (สว่าง) ได้จากการนำค่าสี a* และ b* มาคำนวณตามสูตร $C^* = SQRT(a^{*2} + b^{*2})$ และค่าสี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

h* (hue angle) เป็นค่าที่อยู่ในรูปองศาของวงกลม บอกถึงสีที่แท้จริงที่ปรากฏให้เห็น โดยสีในแกนหลักได้แก่ 0° สีแดง 90° สีเหลือง 180° สีเขียว และ 270° สีน้ำเงิน คำนวณได้จากสูตร h* = arctan(b*/a*) (Karabulut, et al., 2007) จากผลการทดลองพบว่า นมผงเสริมบีตาแคโรทีนในรูปของนมผงมีค่า C* เริ่มต้นอยู่ในช่วง 31.84 – 34.71 (ผลการทดลองแสดงในภาคผนวก ก) แสดงว่านมผงมีความเข้มสีในระดับปานกลาง และค่า h* มีค่าระหว่าง 77.38 – 82.19 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงแกนหลักของสีเหลือง ทั้งนี้เกิดจากเม็ดสีของสารบีตาแคโรทีนที่สกัดได้จากน้ำมันปาล์มดิบซึ่งเป็นองค์ประกอบที่มีปริมาณมากกว่าร้อยละ 90 ของแคโรทีนรูปอื่นที่พบในน้ำมันปาล์ม (Tay and Choo, 2000; Yap, et al., 1991)

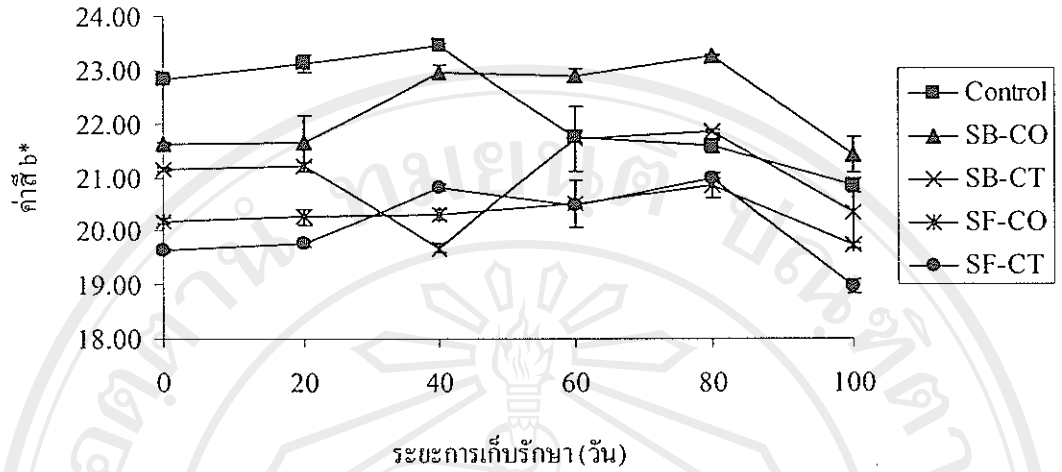


ภาพ 4.20 ค่าสี L ของน้ำนมเสริมบีตาแคโรทีนที่ได้จากการละลายนมผงตลอดการเก็บรักษา



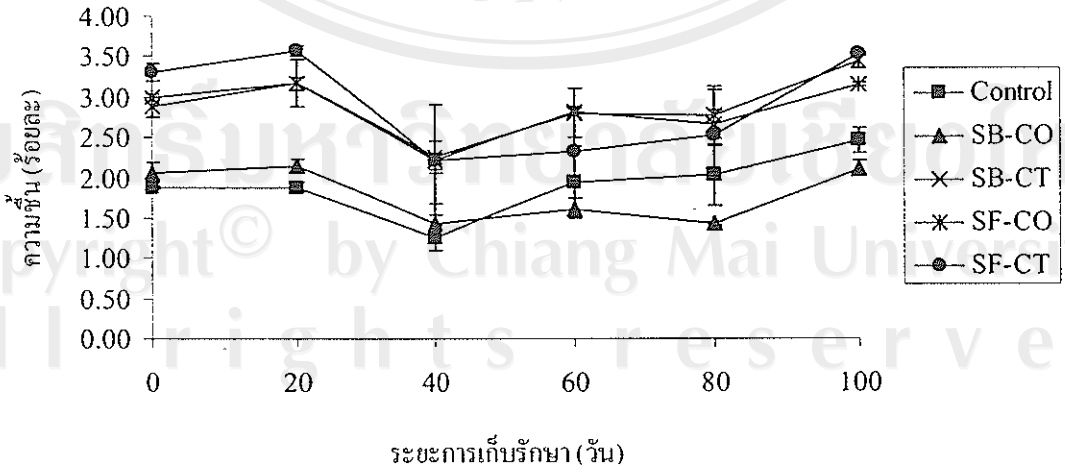
ภาพ 4.21 ค่าสี a* ของน้ำนมเสริมบีตาแคโรทีนที่ได้จากการละลายนมผงตลอดการเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.22 ค่าสี b* ของน้ำนมเสริมบีตาแคโรทีนที่ได้จากการละลายนมผงตลอดการเก็บรักษา

ผลการวิเคราะห์ค่าสี L, a* และ b* ของน้ำนมเสริมบีตาแคโรทีนที่ได้จากการละลายนมผงตลอดการเก็บรักษา พบว่า ในแต่ละสิ่งทดลองมีค่าความสว่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน ขณะที่ค่าสีแดงและค่าสีเหลืองมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่มากขึ้น และจะสังเกตได้ว่า ค่าความสว่าง ค่าสีแดงและค่าสีเหลืองของน้ำนมเสริมบีตาแคโรทีนที่ได้จากการละลายจะมีค่าน้อยกว่าค่าของนมผงเสริมบีตาแคโรทีนในรูปของนมผง อาจเนื่องจากว่าการนำนมผงมาละลายนั้น มีเพียงของแข็งบางส่วนที่สามารถละลายน้ำได้ ส่วนบีตาแคโรทีนเป็นสารที่ละลายในน้ำมัน ทำให้ค่าสีที่ได้จึงแตกต่างกัน



ภาพ 4.23 ปริมาณความชื้นของนมผงเสริมบีตาแคโรทีนระหว่างการเก็บรักษา 100 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากภาพ 4.23 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นในนมผงเสริมบีตาแคโรทีนระหว่างการเก็บรักษา 100 วัน พบว่า ในทุกสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ปริมาณความชื้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาเมื่อเทียบจากปริมาณเริ่มต้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการเก็บรักษานมผงในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์เป็นเวลานาน ทำให้แก๊สออกซิเจนมีโอกาสซึมผ่านนมผงจึงดูดความชื้นจากภายนอกเข้าไป ซึ่งโดยปกติแล้วในทางอุตสาหกรรมจะมีการเก็บรักษานมผงด้วยวิธีการบรรจุใส่กระป๋องที่มีฝาปิดสนิทและเติมแก๊สไนโตรเจนเพื่อป้องกันการดูดความชื้นของนมผงและป้องการการเกิดออกซิเดชัน (Onwulata, 2005)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของนมผงเสริมบีตาแคโรทีนตลอดระยะการเก็บรักษา (ตาราง 4.6) เห็นได้ว่า เมื่อระยะการเก็บรักษานานขึ้นมีการตรวจพบปริมาณจุลินทรีย์ที่ลดลง ยกเว้นในสิ่งทดลองควบคุม และสิ่งทดลอง SB-CO ทั้งนี้ ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขได้กำหนดมาตรฐานการตรวจพบแบคทีเรียได้ไม่เกิน 50,000 ในนมผง 1 กรัม และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนดจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในนมผง 1 กรัม ไม่เกิน 100,000 โคโลนี (มอก.391-2524, 2545) จากข้อมูลที่ได้แสดงว่านมผงทุกสิ่งทดลองมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ทั้งนี้การศึกษานี้ไม่ได้ตรวจเชื้อยีสต์และรา เนื่องจากเก็บรักษานมผงในสภาวะสูญญากาศ ซึ่งไม่เอื้อต่อการเจริญของยีสต์และรา

ตาราง 4.6 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนีต่อกรัม) ของนมผงเสริมบีตาแคโรทีนระหว่างการเก็บรักษา 100 วัน

สิ่งทดลอง	ระยะการเก็บรักษา (วัน)					
	0	**20**	**40**	**60**	**80**	**100**
control	7.9×10^{2}	3.3×10^{3}	1.6×10^{3}	8.8×10^{2}	< 250	9.4×10^{2}
SB-CO	1.7×10^{2}	5.1×10^{2}	2.5×10^{2}	< 250	< 250	3.4×10^{2}
SB-CT	1.2×10^{3}	< 250	< 250	< 250	< 250	< 250
SF-CO	< 250	2.6×10^{2}	3.4×10^{2}	< 250	< 250	< 250
SF-CT	< 250	1.8×10^{2}	< 250	< 250	< 250	< 250

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการศึกษาสภาวะในการอบแห้งแบบพ่นฝอยของน้ำนมเสริมบีตาแคโรทีน ชนิดของน้ำมันที่ใช้ทำละลายแคโรทีนอยด์ ความคงตัวของอนุพันธ์แคโรทีนในนมผง ตลอดจนสมบัติทางกายภาพ และจุลชีววิทยา ทำให้ทราบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้ง คือ ใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 175 องศาเซลเซียส หัวฉีดพ่นชนิดใช้แรงดันสูงเบอร์ 1.5 ความดันปั๊มของเหลว 15 บาร์ ความเร็วในการพ่นของเหลว 35 รอบต่อวินาที ความเร็วปั๊มลม 25 รอบต่อวินาที ทิศทางการพ่นแบบสวนกระแสลมร้อน ใช้น้ำมันถั่วเหลืองเป็นตัวละลายแคโรทีนอยด์ เพื่อให้ได้นมผงที่มีความคงตัวของปริมาณบีตาแคโรทีนมากที่สุดที่จะนำไปทำการทดสอบทางประสาทสัมผัส

4.3 การศึกษาสมบัติทางประสาทสัมผัสของนมผง

การทดสอบความชอบหรือการยอมรับรวมของผู้บริโภคต่อนมผงเสริมบีตาแคโรทีน โดยใช้แบบทดสอบ Hedonic 9 scale ผู้ทดสอบชิม 50 คน ให้คะแนนตามความชอบจาก 1 ถึง 9 โดยที่ 9 เป็นคะแนนที่ชอบมากที่สุดตามลำดับไปจนถึง 1 เป็นคะแนนที่ชอบน้อยที่สุด โดยใช้นมที่เสริมบีตาแคโรทีนปริมาณ 1500 IU ซึ่งเป็นปริมาณที่แนะนำให้บริโภคต่อวัน โดยใช้น้ำมันถั่วเหลืองเป็นตัวละลาย และทิศทางการพ่นแบบสวนกระแสลมร้อน ใช้นมที่ไม่ได้เสริมบีตาแคโรทีนและนมผงตามท้องตลาดเป็นตัวควบคุม พบว่า ผู้ทดสอบมีความชอบหรือยอมรับในนมผงเสริมบีตาแคโรทีนแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในคุณลักษณะด้านสี รสชาติ และการยอมรับรวม เมื่อเปรียบเทียบกับนมผงจากท้องตลาด ดังแสดงในตาราง 4.7

ตาราง 4.7 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางประสาทสัมผัสของนมผงเสริมบีตาแคโรทีน

สิ่งทดลอง	คุณลักษณะ			
	สี	กลิ่น	รสชาติ	การยอมรับรวม
นมผงจากท้องตลาด	$7.52^{a} \pm 1.39$	$5.96^{a} \pm 1.63$	$5.98^{a} \pm 1.84$	$6.36^{a} \pm 1.56$
นมผงควบคุม	$6.02^{b} \pm 1.76$	$6.58^{a} \pm 1..47$	$5.76^{a} \pm 1.80$	$6.10^{a} \pm 1.56$
นมผงเสริมบีตาแคโรทีน	$5.00^{c} \pm 2.13$	$6.02^{a} \pm 1.80$	$4.06^{b} \pm 1.98$	$4.80^{b} \pm 1.74$

หมายเหตุ : ^{a,b,c} ในแถวแนวตั้งเดียวกันที่มีอักษรกำกับเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$)

นมผงควบคุม = นมผงผ่านกระบวนการอบแห้งที่ไม่ได้เติมบีตาแคโรทีน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การยอมรับในนมผงเสริมบีตาแคโรทีนของคุณลักษณะด้านสี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.00 ซึ่งผู้ทดสอบไม่สามารถบอกได้ว่าชอบหรือไม่ชอบในผลิตภัณฑ์ ขณะที่ให้คะแนนความชอบเล็กน้อยในด้านกลิ่น แต่ไม่ชอบเล็กน้อยในคุณลักษณะของรสชาติ และการยอมรับรวม ทั้งนี้อาจเนื่องจากเมื่อทดสอบทางด้านรสชาติแล้วผู้บริโภคจะรับรู้กลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ได้ชัดเจนกว่าการดมกลิ่นจึงทำให้ผู้บริโภครับกลิ่นรสของน้ำมันถั่วเหลืองที่ใช้เป็นตัวละลายได้มากขึ้น ซึ่งน้ำมันถั่วเหลืองจะเกิดออกซิเดชันได้ง่ายเมื่อสัมผัสกับอากาศและความร้อนสูง (นิธิยา, 2548) จึงเกิดกลิ่นที่ผู้บริโภคมีความชอบน้อยลงเมื่อทำการประเมินด้านรสชาติ นอกจากนี้ การที่บีตาแคโรทีนถูกทำลายจะทำให้คุณค่าทางโภชนาการของวิตามินเอและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระลดลง การเกิดออกซิเดชันของบีตาแคโรทีนเป็นสาเหตุทำให้สูญเสียรสชาติ และลดคุณลักษณะด้านสี ซึ่งทำให้ผู้บริโภคยอมรับในผลิตภัณฑ์น้อย หรือไม่ยอมรับเลย (Jia et al., 2007)

จากผลการศึกษาเรื่องสภาวะในการอบแห้ง ชนิดของน้ำมันที่ใช้ละลายแคโรทีนอยด์ ความคงตัวของบีตาแคโรทีน สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางจุลชีววิทยา ตลอดจนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำนมเสริมบีตาแคโรทีนที่อบแห้งด้วยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้ง คือ ใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 175 องศาเซลเซียส ใช้หัวฉีดพ่นแรงดันสูงเบอร์ 1.5 ที่ความดันปั๊มของเหลว 15 บาร์ ที่ความเร็วในการพ่นของเหลว 35 รอบต่อวินาที ความเร็วปั๊มลม 25 รอบต่อวินาที ใช้ทิศทางการพ่นแบบสวนกระแสลมร้อน และเลือกใช้น้ำมันถั่วเหลืองเป็นตัวละลายแคโรทีนอยด์ ซึ่งพบว่าปริมาณบีตาแคโรทีน และอนุพันธ์แคโรทีนมีความคงตัวมากที่สุดตลอดระยะการเก็บรักษา 100 วัน มีค่าความสว่าง ค่าสีแดง ค่าสีเหลือง (L, a*, b*) และปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดลดลง ทั้งนี้การยอมรับโดยรวมของผู้ทดสอบชิมต่อผลิตภัณฑ์อยู่ในระดับไม่ชอบเล็กน้อย และมีความชอบในคุณลักษณะด้านกลิ่นไม่แตกต่างกับนมผงจากท้องตลาด ($p > 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved