



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการการลดต้นทุนการผลิตและการเพิ่มมูลค่าของเหลือทิ้งในกระบวนการ
ผลิตแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบ
โครงการย่อยเรื่อง นมผงเสริมบีตาแคโรทีนที่สกัดจากน้ำมันปาล์มดิบ

โดย ผศ.ดร.พัชรินทร์ ระวียัน

กุมภาพันธ์ 2551

สัญญาเลขที่ RDG4920053

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการการลดต้นทุนการผลิตและการเพิ่มมูลค่าของเหลือทิ้งในกระบวนการ
ผลิตแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบ
โครงการย่อยเรื่อง นมผงเสริมบีตาแคโรทีนที่สกัดจากน้ำมันปาล์มดิบ

ผู้วิจัย

ผศ. ดร. พัชรินทร์ ระวังเย็น

สังกัด

คณะอุตสาหกรรมเกษตร มช.

ชุดโครงการปาล์มน้ำมัน

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

สารบัญ

	หน้า
สารบัญตาราง	๗
สารบัญภาพ	๘
บทสรุปผู้บริหาร	4
บทคัดย่อภาษาไทย	6
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	7
เนื้อหางานวิจัย	8
บทที่ 1 หลักการและเหตุผล	8
บทที่ 2 สาระสำคัญจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	10
บทที่ 3 วัตถุประสงค์และวิธีการศึกษา	37
บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิจารณ์	49
เอกสารอ้างอิง	74
ภาคผนวก ก	82
ภาคผนวก ข	117
ภาคผนวก ค	123
ภาคผนวก ง	128
ภาคผนวก จ	130

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 สารในกลุ่มแคโรทีนอยด์เมื่อเปรียบเทียบกับกิจกรรมของวิตามินเอ	20
2.2 องค์ประกอบและปริมาณของกรดไขมันในน้ำมันปาล์มดิบ	25
2.3 ปริมาณแคโรทีนของน้ำมันปาล์มเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์อาหารชนิดอื่นๆ	26
2.4 ค่าสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคประจำวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป	36
4.1 ค่าการดูดกลืนแสงของบีตาแคโรทีนมาตรฐานที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร	50
4.2 สมบัติของน้ำมันสีนํ้าที่ใช้เป็นวัตถุเติม	52
4.3 ลักษณะของนมผงเสริมบีตาแคโรทีนที่อบแห้งในสภาวะต่างๆ	53
4.4 ผลของการใช้น้ำมันถั่วเหลืองหรือน้ำมันดอกทานตะวันเป็นตัวละลายแคโรทีนอยด์ร่วมกับทิศทางการพ่นกระแสนํ้าร้อน ในการอบแห้งนํ้านมเสริมบีตาแคโรทีนด้วยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอยต่อสมบัติของนมผง	56
4.5 การลดลงของปริมาณบีตาแคโรทีนที่เสริมในนมหลังการทำแห้ง	57
4.6 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนีต่อกรัม) ของนมผงเสริมบีตาแคโรทีนระหว่างการเก็บรักษา 180 วัน	71
4.7 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางประสาทสัมผัสของนมผงเสริมบีตาแคโรทีน	72
ก-1 การเปลี่ยนแปลงอนุพันธ์ของแคโรทีนในนมผงของสิ่งทดลอง SB-CO ตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษา	83
ก-2 การเปลี่ยนแปลงอนุพันธ์ของแคโรทีนในนมผงของสิ่งทดลอง SB-CT ตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษา	85
ก-3 การเปลี่ยนแปลงอนุพันธ์ของแคโรทีนในนมผงของสิ่งทดลอง SF-CO ตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษา	87
ก-4 การเปลี่ยนแปลงอนุพันธ์ของแคโรทีนในนมผงของสิ่งทดลอง SF-CT ตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษา	89
ก-5 ปริมาณบีตาแคโรทีนทั้งหมด (ไมโครกรัมต่อกรัม) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 180 วัน	91
ก-6 ปริมาณ all-trans-β-carotene (ไมโครกรัมต่อกรัม) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 180 วัน	93
ก-7 ค่าสี L ของนมผงเสริมบีตาแคโรทีนในรูปนมผงระหว่างการเก็บรักษา 180 วัน	95
ก-8 ค่าสี a* ของนมผงเสริมบีตาแคโรทีนในรูปนมผงระหว่างการเก็บรักษา 180 วัน	97

ก-9	ค่าสี b^* ของนมผงเสริมปีตาแคโรทีนในรูปนมผงระหว่างการเก็บรักษา 180	99
ก-10	ค่าสี C^* (chroma) ของนมผงเสริมปีตาแคโรทีนในรูปนมผงระหว่างการเก็บรักษา 180 วัน	101
ก-11	ค่าสี h^* (hue angle) ของนมผงเสริมปีตาแคโรทีนในรูปนมผงระหว่างการเก็บรักษา 180 วัน	103
ก-12	ค่าสี L ของน้ำนมเสริมปีตาแคโรทีนที่ได้จากการละลายนมผงระหว่างการเก็บรักษา 180 วัน	105
ก-13	ค่าสี a^* ของน้ำนมเสริมปีตาแคโรทีนที่ได้จากการละลายนมผงระหว่างการเก็บรักษา 180 วัน	107
ก-14	ค่าสี b^* ของน้ำนมเสริมปีตาแคโรทีนที่ได้จากการละลายนมผงระหว่างการเก็บรักษา 180 วัน	109
ก-15	ค่าสี C^* (chroma) ของน้ำนมเสริมปีตาแคโรทีนที่ได้จากการละลายนมผงระหว่างการเก็บรักษา 180 วัน	111
ก-16	ค่าสี h^* (hue angle) ของน้ำนมเสริมปีตาแคโรทีนที่ได้จากการละลายนมผงระหว่างการเก็บรักษา 180 วัน	113
ก-17	ปริมาณความชื้นของนมผงเสริมปีตาแคโรทีนระหว่างการเก็บรักษา 180 วัน	115

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
2.1	สูตรโครงสร้างของเรตินอล
2.2	การเปลี่ยนบีตาแคโรทีนเป็นวิตามินเอในร่างกาย
2.3	โครงสร้างของแคโรทีนอยด์
2.4	โครงสร้างของไลโคพีน
2.5	โครงสร้างของแกมมาแคโรทีน
2.6	โครงสร้างของแอลฟาแคโรทีน และบีตาแคโรทีน
2.7	โครงสร้างของคริปโตแซนทิน
2.8	ลักษณะรูปแบบซิสและทรานส์ในโครงสร้างของแคโรทีนอยด์
2.9	แผนภูมิการสลายตัวของ all-trans- β -carotene
4.1	กราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้นของบีตาแคโรทีน กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร
4.2	โครมาโตแกรมของอนุพันธ์แคโรทีนในสารสกัดแคโรทีนอยด์ที่เตรียมในรูปน้ำมัน โดยใช้น้ำมันถั่วเหลืองจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC
4.3	โครมาโตแกรมของอนุพันธ์แคโรทีนในสารสกัดแคโรทีนอยด์ที่เตรียมในรูปน้ำมัน โดยใช้น้ำมันดอกทานตะวันจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC
4.4	โครมาโตแกรมของแคโรทีนในตัวอย่างสิ่งทดลอง SB-CO หลังผ่านการอบแห้ง แบบฉีดพ่นฝอยจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC
4.5	โครมาโตแกรมของแคโรทีนในตัวอย่างสิ่งทดลอง SB-CT หลังผ่านการอบแห้ง แบบฉีดพ่นฝอยจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC
4.6	โครมาโตแกรมของแคโรทีนในตัวอย่างสิ่งทดลอง SF-CO หลังผ่านการอบแห้ง แบบฉีดพ่นฝอยจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC
4.7	โครมาโตแกรมของแคโรทีนในตัวอย่างสิ่งทดลอง SF-CT หลังผ่านการอบแห้ง แบบฉีดพ่นฝอยจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC
4.8	การเปลี่ยนแปลงของ all-trans- α -carotene ในนมผง ที่ระยะการเก็บรักษาต่างๆ
4.9	การเปลี่ยนแปลงของ 9-cis- α -carotene ในนมผง ที่ระยะการเก็บรักษาต่างๆ
4.10	การเปลี่ยนแปลงของ 13-cis และ 13'-cis- α -carotene ในนมผง

ที่ระยะการเก็บรักษาต่างๆ	63
4.11 การเปลี่ยนแปลงของ non-identified <i>cis</i> - α -carotene ในนมผง	
ที่ระยะการเก็บรักษาต่างๆ	63
4.12 การเปลี่ยนแปลงของ all- <i>trans</i> - β -carotene ในนมผงที่ระยะการเก็บรักษาต่างๆ	64
4.13 การเปลี่ยนแปลงของ 9- <i>cis</i> - β -carotene ในนมผง ที่ระยะการเก็บรักษาต่างๆ	64
4.14 การเปลี่ยนแปลงของ 13- <i>cis</i> - β -carotene ในนมผง ที่ระยะการเก็บรักษาต่างๆ	65
4.15 การเปลี่ยนแปลงของ 15- <i>cis</i> - β -carotene ในนมผง ที่ระยะการเก็บรักษาต่างๆ	65
4.16 ปริมาณของบีตาแคโรทีนในนมผงระหว่างการเก็บรักษานาน 100 วัน	66
4.17 ค่าสี L ของนมผงเสริมบีตาแคโรทีนในรูปนมผงระหว่างการเก็บรักษา 100 วัน	67
4.18 ค่าสี a* ของนมผงเสริมบีตาแคโรทีนในรูปนมผงระหว่างการเก็บรักษา 100 วัน	67
4.19 ค่าสี b* ของนมผงเสริมบีตาแคโรทีนในรูปนมผงระหว่างการเก็บรักษา 100 วัน	68
4.20 ค่าสี L ของน้ำมันเสริมบีตาแคโรทีนที่ได้จากการละลายนมผงตลอดการเก็บรักษา	69
4.21 ค่าสี a* ของน้ำมันเสริมบีตาแคโรทีนที่ได้จากการละลายนมผงตลอดการเก็บรักษา	69
4.22 ค่าสี b* ของน้ำมันเสริมบีตาแคโรทีนที่ได้จากการละลายนมผงตลอดการเก็บรักษา	70
4.23 ปริมาณความชื้นของนมผงเสริมบีตาแคโรทีนระหว่างการเก็บรักษา 180 วัน	70
ข-1 น้ำมันปาล์มดิบ	118
ข-2 การให้ความร้อนในขั้นตอนการกำจัดกัมในน้ำมันปาล์มดิบ	118
ข-3 การกรองในขั้นตอนการกำจัดกัมในน้ำมันปาล์มดิบ	118
ข-4 น้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการกำจัดกัม	118
ข-5 น้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการกำจัดกัมเข้าสู่อุปกรณ์การผสมเฮกเซนและน้ำมันปาล์มดิบ	118
ข-6 การผสมเฮกเซนและน้ำมันปาล์มดิบ	118
ข-7 การกรองแยกผลึกไขมัน (1)	119
ข-8 การกรองแยกผลึกไขมัน(2)	119
ข-9 ผลึกไขมันที่แยกได้	119
ข-10 สารสกัดแคโรทีนอยด์ที่ผ่านการกรองแยกไขมันที่ตกผลึกออกแล้ว	119
ข-11 สารสกัดแคโรทีนอยด์	119
ข-12 สารสกัดแคโรทีนอยด์ผสมเอทานอล	119
ข-13 โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 25 ในเอทานอล	119
ข-14 ขั้นตอนการทำปฏิกิริยาในกระบวนการซาปอนนิฟิเคชัน	119
ข-15 ขั้นตอนการแยกของผสมแคโรทีนอยด์ออกจากสบู่	120
ข-16 ขั้นตอนการล้างค้างส่วนเกิน (1)	120
ข-17 ขั้นตอนการล้างค้างส่วนเกิน (2)	120

ข-18	ขั้นตอนการล้างค้างส่วนเกิน (3)	120
ข-19	สารสกัดแคโรทีนอยด์ที่ผ่านกระบวนการซาปอนนิฟิเคชัน	120
ข-20	สารสกัดแคโรทีนอยด์หลังจากกระเหยเฮกเซนออกด้วยระบบสุญญากาศ	120
ข-21	บีตาแคโรทีนในรูปของน้ำมัน	120
ข-22	น้ำมันที่เติมบีตาแคโรทีนในถังพัก	120
ข-23	นมวัตถุคิบบและนมผงเสริมบีตาแคโรทีนในรูปนมผง	121
ข-24	น้ำมันวัตถุคิบบและน้ำมันเสริมบีตาแคโรทีนจากการละลายนมผง	121
ข-25	ผลิตภัณฑ์นมผงใช้ทดสอบสมบัติทางประสาทสัมผัส	121
ข-26	น้ำมันที่ได้จากการละลายนมผงใช้ทดสอบสมบัติทางประสาทสัมผัส	121
ข-27	เครื่องสกัดแคโรทีนอยด์	121
ข-28	เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย	121
ข-29	เครื่องโครมาโตกราฟฟีสมรรถนะสูง	122
ข-30	เครื่องปั่นแบบมือจับ	122
ข-31	โครมาโตแกรมของสารมาตรฐานบีตาแคโรทีนจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC	122

สัญญาเลขที่ RDG4920053

โครงการ “การลดต้นทุนการผลิตและการเพิ่มมูลค่าของเหลือทิ้งในกระบวนการผลิตแคโรทีนอยด์
จากน้ำมันปาล์มดิบ”

โครงการย่อยเรื่อง นมผงเสริมเบต้าแคโรทีนสกัดจากน้ำมันปาล์มดิบ

สรุปรายงานฉบับสมบูรณ์

รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่ 1 กันยายน พ.ศ. 2549 ถึงวันที่ 31 พฤษภาคม พ.ศ. 2551

ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน : ผศ. ดร. พชรินทร์ ระวัง

หน่วยงาน : ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สถานที่ใช้ทำการวิจัยและรวบรวมข้อมูล (Location)

ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ระยะเวลาที่ทำการวิจัย (Duration)

ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัยทั้งหมด 1 ปี 8 เดือน

- เริ่มต้นจากเดือน กันยายน 2549 ถึง สิงหาคม 2550
- ได้รับการขยายเวลาถึง 31 พฤษภาคม 2551

วัตถุประสงค์ของโครงการ

- ศึกษาภาวะและปริมาณการเติมบีตาแคโรทีนที่เหมาะสมในการเสริมบีตาแคโรทีนที่สกัด
ได้จากน้ำมันปาล์มดิบในน้ำมันที่ทำเป็นผงโดยการอบแห้งแบบพ่นฝอย
- ศึกษาความคงตัวของบีตาแคโรทีนในนมผงที่เสริมบีตาแคโรทีน
- ศึกษาสมบัติทางประสาทสัมผัสของนมผงที่เสริมบีตาแคโรทีน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

ได้แนวทางในการเสริมบีตาแคโรทีนที่สกัดได้จากน้ำมันปาล์มดิบที่เหมาะสมที่สุด เพื่อ
รักษาความคงตัวของบีตาแคโรทีนในนมผงให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ช่วยลดปัญหาการขาด
วิตามินเอและเป็นทางเลือกให้ผู้บริโภคได้มีผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายในการบริโภคเพื่อประโยชน์
ตามความต้องการ

กิจกรรมที่ดำเนินการมาและผลที่ได้รับตลอดโครงการ

วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางแผนไว้	กิจกรรมที่ดำเนินการมา	ผลที่ได้รับตลอดโครงการ
1. การตรวจเอกสารที่เกี่ยวข้อง	ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับ น้ำมันปาล์มดิบ การสกัดแคโรทีนอยด์ การอบแห้งแบบพ่นฝอย การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC	ปฏิบัติตามกิจกรรมตามที่ วางแผนไว้	ได้ข้อมูลพื้นฐานในการทำงานวิจัย
2. ศึกษาสภาวะและ ปริมาณการเติมปีตา แคโรทีนที่เหมาะสมใน การเสริมปีตาแคโรทีนที่ สกัดได้จากน้ำมันปาล์ม ดิบในน้ำมันที่ทำเป็นผง โดยอบแห้งแบบพ่น ฝอย	ศึกษาการสกัดแคโรทีนอยด์ วิเคราะห์แคโรทีนอยด์ที่สกัด ได้จากน้ำมันปาล์มดิบ สมบัติ ของน้ำมันกึ่งรูปที่ใช้เป็น วัตถุดิบ สภาวะในการอบ แห้งแบบพ่นฝอยและปริมาณ การเติมปีตาแคโรทีนที่ เหมาะสมในน้ำมันที่ทำเป็น ผงโดยอบแห้งแบบพ่นฝอย	ปฏิบัติตามกิจกรรมตามที่ วางแผนไว้	ได้สภาวะและปริมาณ การเติมปีตาแคโรทีนที่ สกัดจากน้ำมันปาล์มดิบ ที่เหมาะสมในน้ำมันที่ทำ เป็นผงโดยอบแห้ง แบบพ่นฝอย
3. ศึกษาความคงตัวของ ปีตาแคโรทีนในนมผงที่ เสริมปีตาแคโรทีน	ศึกษาการเปลี่ยนแปลง อนุพันธ์ของแคโรทีนและ ความคงตัวของปีตาแคโรทีน ในนมผงและสมบัติของนม ผงเสริมปีตาแคโรทีน	ปฏิบัติตามกิจกรรมได้ตามที่ วางแผนไว้	ได้ข้อมูลการเปลี่ยนแปลง อนุพันธ์ของ แคโรทีน ปริมาณของ ปีตาแคโรทีนในนมผง และสมบัติของนมผง เสริมปีตาแคโรทีนเมื่อ เก็บนาน 180 วัน
4. ศึกษาสมบัติทาง ประสาทสัมผัสของนม ผงที่เสริมปีตาแคโรทีน	ศึกษาสมบัติทางประสาท สัมผัสของนมผงที่เสริมปีตา แคโรทีน	ปฏิบัติตามกิจกรรมตามที่ วางแผนไว้	ได้ข้อมูลสมบัติทาง ประสาทสัมผัสของนม ผงที่เสริมปีตาแคโรทีน

ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆ ต่อสกว.

.....

ลงนาม.....

(ผศ. ดร. พัทธินันท์ ระวีอั่น)

วันที่.....

บทสรุปผู้บริหาร

งานวิจัยเรื่อง นมผงเสริมบีตาแคโรทีนสกัดจากน้ำมันปาล์มดิบ มีวัตถุประสงค์หลัก คือ เพื่อศึกษาภาวะและปริมาณการเติมบีตาแคโรทีนที่สกัดได้จากน้ำมันปาล์มดิบในน้ำมันที่ทำเป็นผงโดยการอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยเปรียบเทียบทิศทางการพ่นแบบตามกระแสลมร้อนและสวนกระแสลมร้อน และเปรียบเทียบการใช้น้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันดอกทานตะวันในการละลายแคโรทีนอยด์ และศึกษาความคงตัวของบีตาแคโรทีนในนมผงที่เสริมบีตาแคโรทีนที่เก็บนาน 180 วัน โดยใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบของเหลวสมรรถนะสูงในการวิเคราะห์ปริมาณ และการเปลี่ยนแปลงของอนุพันธ์แคโรทีนอยด์ นอกจากนี้ยังทำการเปรียบเทียบการยอมรับทางทางประสาทสัมผัสของนมผงที่เสริมบีตาแคโรทีน กับนมผงที่ไม่เสริมบีตาแคโรทีน และนมผงที่จำหน่ายในท้องตลาด ซึ่งผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้

สภาวะที่เหมาะสมในการเสริมบีตาแคโรทีนที่สกัดได้จากน้ำมันปาล์มดิบ ในน้ำมันที่ทำเป็นผงโดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย คือ ใช้อุณหภูมิลมร้อนเข้า 175 องศาเซลเซียส ใช้หัวพ่นชนิดใช้แรงดันสูงเบอร์ 1.5 ความดันที่ออกจากปั๊ม 15 บาร์ ที่ความเร็วในการพ่นของเหลว 35 รอบต่อวินาที และใช้ความเร็วปั๊มลม 25 รอบต่อวินาที โดยใช้ทิศทางการพ่นแบบสวนกระแสลมร้อน ซึ่งนมผงที่ได้มีลักษณะที่แห้ง เป็นผงละเอียด มีสีและกลิ่นใกล้เคียงกับนมวัตถุดิบ มีส่วนที่ตกค้างในหีบอบแห้งของเครื่องอบแห้งน้อยและมีปริมาณความชื้นของนมผงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน คือ ไม่เกินร้อยละ 5 โดยมวล

การเติมบีตาแคโรทีนในปริมาณ 3000, 4000 และ 5000 IU/qt ในน้ำมันก่อนทำการอบแห้ง และเมื่อผ่านกระบวนการอบแห้งแล้ว พบว่า ปริมาณบีตาแคโรทีนลดลงเหลือ 170.07, 219.29 และ 312.19 IU/qt ตามลำดับ ซึ่งปริมาณลดลงมีค่าประมาณร้อยละ 94 ทั้งนี้เนื่องจากบีตาแคโรทีนเกิดการสูญเสียจากการสัมผัสแสง และออกซิเจนในระหว่างการผสมน้ำมันกับบีตาแคโรทีนในถังผสม ซึ่งน้ำมันจะต้องอยู่ในถังผสมซึ่งเป็นระบบเปิดประมาณ 1 ชั่วโมง ถ้าออกแบบเครื่องผสมให้เป็นระบบปิด ก็จะช่วยป้องกันการสูญเสียในขั้นตอนผสมได้ นอกจากนี้ หากสามารถทดแทนหัวพ่นเป็นแบบหัวเหวี่ยง ก็จะช่วยลดการสูญเสียบีตาแคโรทีนระหว่างการทำแห้งได้อีก เนื่องจากอนุภาคน้ำมันจะมีขนาดเล็กกว่าการใช้หัวพ่น จึงแห้งได้เร็วกว่า

จากการศึกษาปริมาณบีตาแคโรทีน และการเปลี่ยนแปลงอนุพันธ์ของแคโรทีนอยด์ ในนมผง ตลอดระยะเวลาเก็บรักษา 180 วัน พบว่า หลังจากผ่านกระบวนการอบแห้ง สิ่งทดลองที่ใช้น้ำมันถั่วเหลืองเป็นตัวละลายแคโรทีนอยด์ มีปริมาณบีตาแคโรทีนลดลงมากกว่าร้อยละ 54 และสภาวะที่ใช้ในการอบแห้งเป็นการพ่นแบบสวนกระแสลมร้อนจะมีการลดลงของปริมาณบีตาแคโรทีนน้อย

กว่าการพ่นแบบตามกระแสลมร้อนอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และสิ่งทดลองที่ใช้ น้ำมันถั่วเหลือง เป็นตัวละลายแคโรทีนอยด์ และใช้สภาวะในการอบแห้งเป็นการพ่นแบบสวนกระแสลมร้อน มีการเปลี่ยนแปลงของอนุพันธ์แคโรทีนอยด์น้อยกว่าสิ่งทดลองอื่น และมีปริมาณจุลินทรีย์ตลอดจน ความชื้นได้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

จากการทดสอบความชอบหรือการยอมรับรวมของผู้บริโภคต่อนมผงเสริมบีตาแคโรทีน ปริมาณ 1500 IU ซึ่งใช้น้ำมันถั่วเหลืองเป็นตัวทำละลายแคโรทีนอยด์ และทำแห้งโดยใช้ทิศทางการ พ่นแบบสวนกระแสลมร้อน เปรียบเทียบกับนมที่ไม่ได้เสริมบีตาแคโรทีนและนมผงดูเม็กซ์ (DUMEX dugro 1 plusTM) โดยใช้แบบทดสอบ Hedonic 9 scale ใช้ผู้ทดสอบชิม 50 คน พบว่า ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับนมผงเสริมบีตาแคโรทีนด้านกลิ่นไม่แตกต่าง ($p > 0.05$) กับนมที่ไม่ได้ เติมน้ำมันถั่วเหลือง แต่ให้การยอมรับด้านสี รสชาติ และการยอมรับรวมน้อยกว่า ($p \leq 0.05$) จึงควรมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยการปรุงแต่งกลิ่นรสนมผงเสริมบีตาแคโรทีนต่อไป

บทคัดย่อ

การศึกษานมผงเสริมบีตาแคโรทีนที่สกัดจากน้ำมันปาล์มดิบ มีวัตถุประสงค์ 3 ประการ คือ 1) ศึกษาสถานะและปริมาณการเติมบีตาแคโรทีนที่เหมาะสมในการเสริมบีตาแคโรทีนที่สกัดได้จากน้ำมันปาล์มดิบในน้ำมันที่ทำเป็นผงโดยการอบแห้งแบบพ่นฝอย 2) เพื่อศึกษาความคงตัวของบีตาแคโรทีนในนมผงที่เสริมบีตาแคโรทีน 3) เพื่อศึกษาสมบัติทางประสาทสัมผัสของนมผงที่เสริมบีตาแคโรทีน การศึกษาสถานะอบแห้งแบบพ่นฝอยได้ศึกษาเปรียบเทียบทิศทางการพ่นแบบตามกระแสลมร้อนและสวนกระแสลมร้อน และเปรียบเทียบการใช้ไขมันถั่วเหลืองและน้ำมันดอกทานตะวันในการละลายแคโรทีนอยด์ โดยใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบของเหลวสมรรถนะสูงในการวิเคราะห์ปริมาณ และการเปลี่ยนแปลงของอนุพันธ์แคโรทีนอยด์ในระหว่างการเก็บรักษา

ผลการศึกษา พบว่า สถานะการอบแห้งที่ทำให้อนุพันธ์แอลฟาและบีตาแคโรทีนมีความคงตัวมากที่สุด คือการใช้อุณหภูมิลมร้อนเข้า 175 องศาเซลเซียส ใช้หัวฉีดพ่นชนิดใช้แรงดันสูงเบอร์ 1.5 ความดันที่ออกจากปั๊ม 15 บาร์ ใช้ความเร็วในการพ่นของเหลว 35 รอบต่อวินาที และใช้ความเร็วปั๊ม 25 รอบต่อวินาที โดยปริมาตรของเหลวที่ออกจากหัวฉีดเท่ากับ 200 มิลลิลิตรต่อนาที ใช้ไขมันถั่วเหลืองเป็นตัวละลายแคโรทีนอยด์ และใช้ทิศทางการพ่นแบบสวนกระแสลมร้อน เมื่อเก็บรักษาตัวอย่างนมผงเป็นเวลา 180 วัน พบว่า บีตาแคโรทีนมีปริมาณลดลงร้อยละ 56 เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเริ่มต้น และมีการเปลี่ยนแปลงไอโซเมอร์จากทรานส์ไปเป็นซิสบางส่วน มีค่าความสว่างค่าสีแดง และค่าสีเหลืองเท่ากับ 75.02, +5.48 และ +34.39 ตามลำดับ มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 250 โคโลนีต่อนมผง 1 กรัม ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับนมผงเสริมบีตาแคโรทีนด้านกลิ่นไม่แตกต่าง ($p>0.05$) กับนมที่ไม่ได้เติมบีตาแคโรทีน และนมผงที่จำหน่ายในท้องตลาด แต่ให้การยอมรับด้านสี รสชาติ และการยอมรับรวมน้อยกว่า ($p\leq 0.05$)

ABSTRACT

The study on fortification of milk powder with beta-carotene extracted from crude palm oil was aimed to 1) determine the optimum condition of spray drying and amount of beta-carotene 2) determine the stability of beta-carotene within milk powder and 3) sensory evaluation of milk powder enriched beta-carotene. Drying of milk fortified with beta-carotene extracted from crude palm oil by a spray dryer was studied. The co-current and counter-current flows of spray drying were compared. Carotenoids solubilities in soybean and sunflower oils were also compared. HPLC was used to analyze the total beta-carotene contents and the changes of carotenoids derivatives during storage.

The highest stability of alpha and beta-carotenes was obtained when soybean oil was used to dissolve carotenoids and dried using counter-current flow with inlet air temperature of 175°C, nozzle pressure atomizer number 1.5, pump pressure of 15 bar, blower speed of 35 Hertz, pump speed of 25 Hertz and flow rate of 200 mL/min. At the storage time of 180 days, the content of total beta-carotene in milk powder produced at optimum condition decreased by 56%. Some of *trans*-isomers of carotenoids derivatives changed to *cis*-isomers. The Hunter L, a* and b* values were 75.02, +5.48 and +34.39, respectively. The total plate count was less than 250 CFU/g, which was within the standard. The acceptable of odor of the fortified milk was similar to that of the control and the commercial milks ($p > 0.05$), but the color, flavor and overall acceptances of the fortified milk were less acceptable ($p \leq 0.05$).

บทที่ 1

หลักการและเหตุผล

วิตามินเอ (vitamin A) เป็นวิตามินที่ละลายในไขมัน พบเฉพาะในสัตว์เท่านั้น และสะสมอยู่ในตับ ซึ่งเมื่อร่างกายต้องการจะปล่อยเข้าสู่กระแสเลือด หลังจากนั้นเซลล์เยื่อบุผิวที่มีอยู่ทั่วร่างกายจะนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป อาหารที่มีวิตามินเอมาก ได้แก่ น้ำมันตับปลา โดยเฉพาะปลาคอดและปลาทูน่า นอกจากนี้ยังพบวิตามินเอมากในตับของสัตว์ต่างๆ และไข่แดง อาหารที่ได้จากพืชไม่มีวิตามินเอ แต่มีสารประกอบแคโรทีนอยด์ (carotenoid) ซึ่งสามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ที่ผนังลำไส้เล็ก ตับ และไต จึงเรียกแคโรทีนอยด์ว่าเป็นโปรวิตามินเอ (provitamin A) แคโรทีนอยด์พบมากในพืชผักที่มีสีเขียวและสีเหลือง และผลไม้ที่มีสีเหลืองหรือสีส้มแดง เช่น แครอท ฟักทอง มะละกอสุก มะเขือเทศ ใบกะนํ้า ใบขมิ้น และใบตำลึง แคโรทีนอยด์ที่พบในธรรมชาติมีหลายชนิด ได้แก่ แอลฟาแคโรทีน บีตาแคโรทีน และแกมมาแคโรทีน เป็นต้น ความคงตัวของแคโรทีนอยด์ขึ้นอยู่กับกระบวนการแปรรูป และภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาอาหาร (นิธิยา, 2545)

วิตามินเอมีความสำคัญอย่างมากต่อร่างกายในหลายด้าน เช่น ช่วยในการมองเห็นในที่สลัว การบำรุงรักษาเยื่อบุผิวของอวัยวะต่างๆ เช่น ระบบทางเดินหายใจ และทางเดินอาหาร การขาดวิตามินเอทำให้เกิดอาการทางตา ที่เรียกว่า ซีรอฟทาลเมีย (Xerophthalmia) โดยในระยะแรกมีอาการตาบอดกลางคืน เยื่อบุตาขาวแห้ง เกิดสะเก็ดที่กระจกตาแห้ง กระจกตาเป็นแผล และกระจกตาขุ่นเหลว ถ้าการขาดวิตามินเอมีความรุนแรงเพิ่มขึ้นและไม่ได้รับการรักษาอย่างรีบด่วนจะทำให้ตาบอด (แสงโสม, 2548; Kaufman, 2005) จากรายงานการวิจัยต่างๆ พบว่าการขาดวิตามินเอแม้เพียงในระดับอ่อน แม้จะไม่ปรากฏอาการเปลี่ยนแปลงทางตา (Mild or subclinical vitamin A) แต่จะมีความสัมพันธ์กับการเสี่ยงต่อการตายและการติดเชื้อต่างๆ เช่น โรคหัด การติดเชื้อระบบทางเดินหายใจ และโรคท้องเสียในเด็ก เป็นต้น การเสริมสร้างวิตามินเอแก่เด็กกลุ่มที่เสี่ยงต่อการขาดวิตามินเอในระดับอ่อนและปานกลางจึงสามารถลดอัตราการตายและการติดเชื้อได้ (สมลักษณ์, 2534) บีตาแคโรทีนนอกจากจะเป็นโปรวิตามินเอแล้ว ยังทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชัน ช่วยทำลายอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในร่างกายจึงช่วยชะลอความแก่และยับยั้งการเกิดมะเร็ง (นิธิยา, 2545) ปัญหาการขาดสารอาหารหรือภาวะทุพโภชนาการในเด็กนับว่าเป็นปัญหาที่สำคัญยิ่ง เพราะทำให้เด็กมีร่างกายแคระแกร็น สติปัญญาไม่ดี เมื่อเติบโตขึ้นก็จะเป็นประชากรที่ไม่มีคุณภาพเป็นภาระและสร้างปัญหาให้กับสังคม รวมทั้งเป็นอุปสรรคใน การพัฒนาประเทศ (ลิลิต และคณะ, 2544)

โรคขาดวิตามินเอในประเทศที่กำลังพัฒนาเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เด็กประมาณ 5 แสนราย เสียชีวิตในแต่ละปี และยังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็น 3-4 เท่า สุขภาพของเด็กจึงเป็นปัญหาสำคัญต่อประเทศดังกล่าว การแก้ปัญหาจึงมีการสนับสนุนให้เด็กได้รับวิตามินเอ โดยขอความร่วมมือจากครอบครัวและรัฐบาลให้เด็กได้รับวิตามินเอเป็นระยะๆ และมีการเลือกอาหารที่มีวิตามินเอ การเสริมวิตามินเอลงในอาหารเป็นวิธีหนึ่งที่จะทำให้อาหารมีปริมาณวิตามินเอสูงขึ้นจนสามารถใช้ อาหารนั้นเป็นแหล่งของวิตามินเอ วิธีนี้เรียกว่า food fortification วิตามินเอที่ใช้เสริมในอาหาร จะอยู่ในรูปของ retinyl palmitate หรือ retinyl acetate หรือ vitamin A palmitate 250s ซึ่ง มีการเสริมลงในผลิตภัณฑ์ เช่น นม มาการีน อาหารเข้าธัญพืช และนมผง (Murphy, 1995; Hicks, Hansan and Rushing, 1996) ซึ่งวิธีนี้ประสบความสำเร็จในประเทศที่พัฒนาแล้ว นอกจากนี้ได้มีการเสริมวิตามินเอในอาหารเพิ่มขึ้นอย่างกว้างขวางในประเทศที่กำลังพัฒนา เช่น น้ำมันที่ใช้ประกอบอาหาร น้ำตาล แป้งข้าวโพด และแป้งข้าวสาลี (Nestel and Nalubola, 2003) การเติมวิตามินลงในอาหารในปริมาณเฉพาะเจาะจงเท่ากับที่มาตรฐานกำหนดหรือเท่าที่ ร่างกายต้องการต่อวัน เรียกว่า food enrichment เช่น การเติมวิตามินเอและวิตามินดีในเนยเทียม หรือการเสริมสารอาหารต่างๆ ทั้งแร่ธาตุและวิตามินลงในนมผงสำหรับใช้เลี้ยงทารก (นิธิยา, 2545) ในบราซิลมีการเติมบีตาแคโรทีนในน้ำมันถั่วเหลืองเพื่อควบคุมความคงตัวจากความร้อนในการปรุงอาหารและอุณหภูมิในการทอด ซึ่งเป็นทางเลือกที่ดีในการแก้ไขปัญหาคำนำเข้าวิตามินเอ (Favaro and Oliveira, 1999) สำหรับในประเทศไทยรัฐบาลได้ตระหนักถึงความสำคัญและ พยายามแก้ปัญหาการขาดสารอาหารในเด็กมาโดยตลอด เช่น มีการจัดโครงการอาหารเสริม หรือ โครงการนมโรงเรียน การส่งเสริมให้บริโภคอาหารที่อุดมด้วยวิตามินเอ หรือการกระจายยาเม็ด วิตามินเอสู่เด็กในชนบท (ลิลิต และคณะ, 2544)

การขาดวิตามินเอเป็นปัญหาสำคัญกับเด็กไทย เนื่องจากขาดความรู้ด้านโภชนาการและ วิตามินเอที่นำเข้าจากต่างประเทศมีราคาสูง ด้วยเหตุนี้การวิจัยเรื่องการสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมัน ปาล์มดิบ (พัชรินทร์ และคณะ, 2548) จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะทำให้ประเทศไทยสามารถผลิต แคโรทีนอยด์ที่มีราคาถูกลง การศึกษาการเสริมบีตาแคโรทีนที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบจะมีสมบัติ แตกต่างจากบีตาแคโรทีนที่ผลิตจากต่างประเทศ เนื่องจากสมบัติและแหล่งของแคโรทีนอยด์ที่ ได้มานั้นมีความแตกต่างกัน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาสมบัติทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และการยอมรับของผู้บริโภคในผลิตภัณฑ์นมผงที่เสริมบีตาแคโรทีนที่สกัดจากน้ำมันปาล์มดิบ การเสริมบีตาแคโรทีนในนมจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยลดปัญหาการขาดวิตามินเอในเด็ก นอกจากนี้ยังเป็นการนำแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้จากน้ำมันปาล์มดิบมาใช้ประโยชน์ในด้านอื่นให้ กว้างขวางยิ่งขึ้นต่อไป

บทที่ 2

สาระสำคัญจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

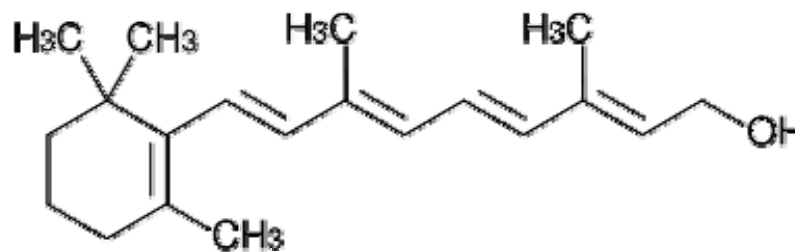
2.1 วิตามินเอ

เมื่อ 1500 ปีก่อนคริสต์ศักราช มีการอธิบายกันไว้อย่างกว้างขวางในหมู่ชนชาวจีน อียิปต์ และกรีกว่าได้มีผู้สังเกตอาการของคนที่เป็นโรคตาฟางในเวลาพลบค่ำ (night blindness) ซึ่งไม่สามารถมองเห็นสิ่งของได้ในที่ๆ มีแสงสว่างว่าเกิดจากการขาดวิตามินเอ ปี ค.ศ.1904 Mori และ Monrad ได้ใช้น้ำมันตับปลารักษาโรคเยื่อตาอักเสบในเด็กชาวเดนมาร์ก มีการสันนิษฐานว่าเนื่องจากเด็กขาดสารบางอย่างที่ละลายในไขมัน เพราะเด็กไม่ค่อยได้รับประทานอาหารไขมันจากสัตว์นั่นเอง (ศิริวรรณ, 2527) ในปี ค.ศ.1912 Hopkins ได้เลี้ยงหนูด้วยอาหารบริสุทธิ์ ปรากฏว่าหนูเจ็บโตช้าแต่ถ้าเติมนมลงไปเล็กน้อยจะทำให้การเจริญเติบโตเป็นปกติได้ ในเวลาใกล้เคียงกัน Osborne และ Mendel ได้ศึกษาการเจริญเติบโตของหนูโดยเลี้ยงด้วยอาหารบริสุทธิ์ร่วมกับไขมันชนิดต่างๆ ปรากฏว่า ถ้าใช้ไขมันจากน้ำมันหมูหรือน้ำมันพืชอัลมอนต์ หนูจะไม่เจริญเติบโต นัยน์ตาแห้งอักเสบ และเป็นหนอง แต่เมื่อเติมน้ำมันตับปลา ไขมันจากเนยหรือไข่แดงลงไปด้วย หนูจะเจริญเติบโตได้ดี และโรคนัยน์ตาก็หายไป แสดงว่า น้ำมันตับปลา ไขมันเนย และไข่แดง มีสารซึ่งรักษาอาการดังกล่าวได้ ในปี ค.ศ.1915 McCollum และ Davis ได้สกัดเนยและไข่แดงด้วยอีเทอร์ ได้สารสำคัญที่ช่วยทำให้หนูเจริญเติบโต และรักษาโรคนัยน์ตาแห้ง (Xerophthalmia) ได้ และตั้งชื่อว่า “Fat soluble A” การศึกษาต่อมาพบว่า ในพืชก็มีสารที่ออกฤทธิ์เหมือนวิตามินเอ ในที่สุด Moore ได้พิสูจน์ว่า บีตาแคโรทีนในพืช สามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ในร่างกาย ในปี ค.ศ.1942 Karer ได้พบสูตรโครงสร้างวิตามินเอ และบีตาแคโรทีน และปี ค.ศ.1947 Wald สามารถอธิบายบทบาทของวิตามินเอในแง่ของชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับการมองเห็น (สมทรง, 2543)

2.1.1 สูตรเคมีและสมบัติ

วิตามินเอ เป็นอนุพันธ์แอลกอฮอล์ชนิดหนึ่ง พบมากในรูปเอสเทอร์ของกรดไขมัน มีลักษณะเป็น long chain primary alcohol ที่มี isomeric form ได้หลายรูปแบบ ในธรรมชาติส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของ *trans*-form ของเรตินอล (retinol) (ภาพ 2.1) วิตามินเอมีสีเหลืองอ่อน ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์และไขมัน ทนกรด ด่าง และความร้อน ซึ่งในการประกอบอาหารหรือทำอาหารกระป๋องที่ใช้การพาสเจอไรเซชัน (pasteurization) สเตอริไลเซชัน

(sterilization) หรือดีไฮเดรชัน (dehydration) จะทำให้สูญเสียวิตามินเอไปเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (สมทรง, 2543) แต่ถูกออกซิไดส์ได้ง่ายเมื่อสัมผัสกับอากาศที่อุณหภูมิสูง แสงอัลตราไวโอเลต หรือแสงแดด หรือเมื่อละลายอยู่ในน้ำมันที่เกิดการหืน (นิธิยา, 2545) ซึ่งน้ำมันที่เกิดการหืนนี้ เนื่องจากมีสารเพอรอกไซด์เกิดขึ้นในน้ำมันอย่างช้าๆ ในระหว่างที่น้ำมันถูกเก็บไว้ให้สัมผัสกับอากาศ ซึ่งเป็นการเกิดออกซิเดชันที่เพิ่มขึ้นที่พันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว มีผลทำให้คุณค่าทางโภชนาการของน้ำมันลดลง และทำลายวิตามินต่างๆ ที่ละลายในไขมันและน้ำมัน (นิธิยา, 2548)

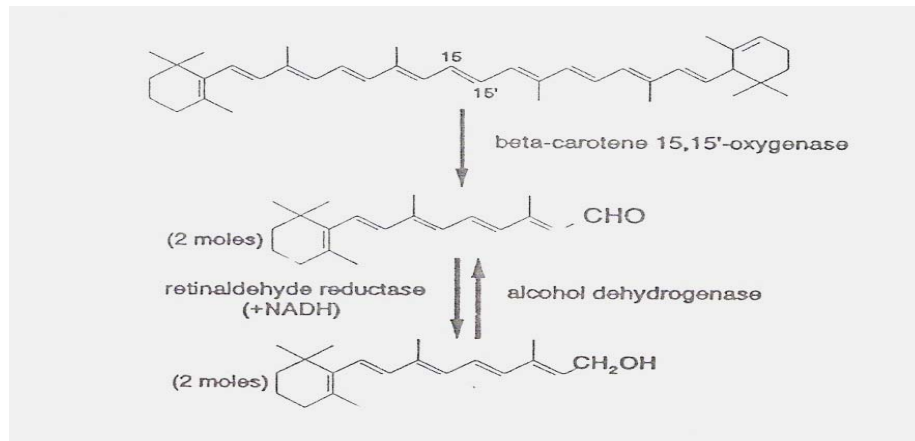


ภาพ 2.1 สูตรโครงสร้างของเรตินอล

ที่มา : Wikimedia Foundation, Inc., 2008

2.1.2 แหล่งที่พบ

วิตามินเอพบเฉพาะในสัตว์เท่านั้น เช่น น้ำมันตับปลา ตับ และไข่แดง เป็นต้น อาหารที่ได้จากพืชไม่มีวิตามินเอ แต่มีสารประกอบแคโรทีนอยด์ ซึ่งสามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ที่ผนังลำไส้เล็ก ตับ และไต จึงเรียกแคโรทีนอยด์ว่าเป็นโปรวิตามินเอ (ภาพ 2.2) แคโรทีนอยด์พบมากในพืชผักที่มีสีเขียวและสีเหลือง และผลไม้ที่มีสีเหลืองหรือสีส้มแดง เช่น แครอท ฟักทอง มะละกอสุก มะม่วงสุก กว๊ายไข่ มะเขือเทศ ใบคะน้า ใบยอ ใบตำลึง ชะอม พริกชี้หนู กระเพราแดง ใบชะพลู ใบขี้เหล็ก ผักบุ้งจีน ตั้งโอ๋ ผักบุ้งไทย และข้าวโพด แคโรทีนอยด์ที่พบในธรรมชาติมีหลายชนิด ได้แก่ แอลฟา (alpha-) บีตา (beta-) แกมมาแคโรทีน (gamma carotene) แคโรทีนอยด์ชนิดที่มีความสำคัญ ได้แก่ แอลฟาแคโรทีน บีตาแคโรทีน บีตาคริปโตแซนธิน (beta-cryptaxanthin) ลูทีน (lutein) ไวโอตาแซนธิน (viokaxanthin) นีโอแซนธิน (neoxanthin) และไลโคพีน (lycopene) ซึ่งแคโรทีนอยด์ที่ได้รับการศึกษาอย่างกว้างขวางและมีประโยชน์ต่อร่างกายมากที่สุด คือบีตาแคโรทีน อาหารแต่ละชนิดจะมีวิตามินเอและแคโรทีนอยด์ในปริมาณที่แตกต่างกัน และความคงตัวจะแปรผันไปกับการบวนการแปรรูป และภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาอาหาร (นิธิยา, 2545; สมทรง, 2543; Alam and Sultan, 2004)



ภาพ 2.2 การเปลี่ยนบีตาแคโรทีนเป็นวิตามินเอในร่างกาย
ที่มา : สมทรง, 2543

2.1.3 หน้าที่และประโยชน์

วิตามินเอมีความสำคัญสำหรับการมองเห็น การเจริญเติบโต การแบ่งแยกเนื้อเยื่อ ทำให้นเนื้อเยื่อชนิดบุผิวที่มีอยู่บริเวณผิวหนังและเยื่อเมือกต่างๆ ทำงานได้ตามปกติ การบำรุงรักษาสุขภาพและการอยู่รอดของเด็ก อีกทั้งยังเพิ่มภูมิคุ้มกันให้กับร่างกายเพื่อให้ร่างกายสามารถต่อต้านการติดเชื้อและโรคต่างๆ ได้ บีตาแคโรทีนทำหน้าที่สำคัญในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ช่วยป้องกันการเกิดสารที่ออกซิไดส์ได้ง่าย เช่น กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่มากกว่า 1 พันธะ (polyunsaturated fatty acids; PUFAs) ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ช่วยสร้างเสริมความสมบูรณ์แก่ร่างกายทุกสัดส่วน ช่วยทำให้ร่างกายเกิดความสมดุล ช่วยควบคุมระบบการทำงานภายในร่างกายให้เป็นปกติ และยังต่อสู้กับสารที่เป็นผลให้เกิดอันตรายของอนุมูลอิสระ (free radicals) ในร่างกายด้วย ซึ่งจะเป็นการช่วยป้องกันโรคมะเร็งบางชนิดและโรคเรื้อรังอื่นๆ (ยูดี, 2542; Fox and Cameron, 1995)

2.1.4 การขาดวิตามินเอ

การขาดวิตามินเอมี 2 ลักษณะคือ การขาดปฐมภูมิและการขาดทุติยภูมิ การขาดปฐมภูมิเกิดจากการได้รับวิตามินเอไม่เพียงพอ พบมากในเด็กทารกและเด็กเล็ก เนื่องจากวิตามินนี้ผ่านรกได้ยาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในขณะแม่ตั้งครรภ์หรือให้นมบุตร ทารกจะมีวิตามินเอสะสมอยู่น้อย ถ้าไม่ได้รับอาหารเสริมที่มีวิตามินเอจะทำให้เกิดการขาดได้ การขาดวิตามินเอพบมากในเด็กก่อนวัยเรียนตามชนบทในประเทศไทยและประเทศที่กำลังพัฒนา ส่วนการขาดทุติยภูมิ อาจเกิดเนื่องจากภาวะที่มีการขัดขวางการดูดซึมหรือสะสมวิตามินเอ เช่น โรคตับและท่อน้ำดีอุดตัน หรือมีการขัดขวางการเปลี่ยนแคโรทีนอยด์ไปเป็นวิตามินเอ เช่น โรคเบาหวาน หรือการเกิดโรคบาง

ชนิดจะทำให้ร่างกายมีการสูญเสียวิตามินเอโดยรวดเร็ว เช่น นิวโมเนีย ไฮเพอร์ไทรอยติซึม ถูกไฟไหม้หรือน้ำร้อนลวกร่างกายเป็นบริเวณกว้าง การขาดสังกะสีซึ่งเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ดีไฮโดรจีเนสที่เปลี่ยนเรตินอลไปเป็นเรตินาลในจอตา จะทำให้อาการตาฟางในที่สลัวไม่หายไป แม้จะให้วิตามินเอเข้าไปในปริมาณเกินพอแล้วก็ตาม (สมทรง, 2543) เมื่อขาดวิตามินเอ เยื่อบุผิวที่บริเวณตาจะได้รับผลกระทบโดยจะลดการทำงานของส่วนรับภาพในบริเวณจอตา ซึ่งจะมีผลให้มองเห็นไม่ชัดในที่มืดแสงสลัว และจะทำให้เยื่อบุตาขาวแห้ง ย่น หรือเป็นรอยแผล และอาการจะรุนแรงยิ่งขึ้น คือ เยื่อบุกระจกตาหรือตาตำแห้ง กระจกตาขุ่นเหลวซึ่งหากไม่ได้รับการรักษาอย่างทันที่ทั้งนี้จะทำให้ตาบอดได้ นอกจากนี้การขาดวิตามินเอจะทำให้ภูมิคุ้มกันต้านโรคลดลง ทำให้เกิดการรับและติดเชื้อได้ง่าย ซึ่งความผิดปกตินี้ครอบคลุมระบบทางเดินหายใจและระบบทางเดินอาหารด้วย และยังทำให้เกิดความผิดปกติของฮอร์โมนที่ตอบสนองต่อความเครียด ตลอดจนเกิดปัญหาของการนำธาตุเหล็ก ไปใช้ในร่างกายซึ่งเป็นเหตุให้เกิดภาวะโลหิตจางรุนแรงยิ่งขึ้น เด็กที่ขาดวิตามินเอจะเจริญเติบโตช้าและไม่เจริญอาหาร หากป่วยด้วยโรคหัด โรคท้องร่วง หรือโรคติดเชื้อของระบบทางเดินหายใจจะมีอาการรุนแรงกว่าปกติ และเมื่อเกิดโรคเหล่านี้ขึ้นยังจะทำให้เกิดการขาดวิตามินเอรุนแรงขึ้น ซึ่งจะนำไปสู่อาการตาบอดและอาจเสียชีวิต (ใกล้หมอ, 2537)

2.1.5 สถานการณ์การขาดวิตามินเอและแนวทางการดำเนินงานควบคุมป้องกันในประเทศไทย

ในปี พ.ศ. 2503 มีรายงานการสำรวจปัญหาการขาดวิตามินเอ พบว่าผู้ป่วยที่มีการขาดโปรตีนและพลังงานที่เข้ารับรักษาตัวในโรงพยาบาลศิริราชและเชียงใหม่มีร้อยละ 25 ของผู้ป่วยเหล่านี้มีอาการขาดวิตามินเอ คือ มีกระจกตาเปื่อยและเป็นแผล (corneal ulcer) โดยรายงานนี้ได้ระบุว่า ปัญหาการขาดวิตามินเอสามารถพบได้ทั่วประเทศ (ไกรสิทธิ์, 2525)

ปี พ.ศ. 2533 กองโภชนาการ กระทรวงสาธารณสุข ได้สำรวจสถานการณ์การขาดวิตามินเอในเขตภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือในเด็กวัยก่อนเรียน (2-6 ปี) จำนวน 996 คน พบอาการตาบอดกลางคืนร้อยละ 1 นอกจากนี้ตัวชี้วัดการประเมินการสะสมวิตามินเอในระดับโดยเทคนิค Relative Dose Response (RDR) และการตรวจลักษณะเยื่อบุตาขาวโดยเทคนิค Conjunctival Impression Cytology (CIC) ของการสำรวจครั้งนี้ พบวิตามินเอสะสมในระดับไม่เพียงพอ ร้อยละ 20 และความผิดปกติของเซลล์เยื่อบุตาขาว (Abnormal CIC) ร้อยละ 18 สรุปการสำรวจได้ว่า ปัญหาการขาดวิตามินเอในภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนืออยู่ในระดับที่ไม่แสดงอาการทางคลินิก และพบว่าเด็ก 1 คนใน 5 คน มีวิตามินเอสะสมในระดับไม่เพียงพอ และ

มีความผิดปกติของเซลล์เยื่อบุตาขาว (Nutrition Division, 1991) ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการสำรวจความชุกของสภาวะพร่องวิตามินเอในประเทศไทยโดย แสงโสม และคณะ พบว่าเด็กก่อนวัยเรียนอายุ 2-6 ปี ในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีสภาวะการขาดวิตามินระดับอ่อน ซึ่งยังไม่มีอาการเปลี่ยนแปลงทางตาอย่างชัดเจนประมาณร้อยละ 20 (สมลักขมี, 2534) ในขณะที่เดียวกันองค์การกาทอลิครีลิฟเซอรัวิสเซสแห่งประเทศไทย (2534) ได้มีการศึกษาพบปัญหาการขาดวิตามินเอระดับอ่อนเกิดขึ้นอย่างกว้างขวาง ในเด็กวัยเรียนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งอาจเกิดจากการที่ร่างกายได้รับอาหารที่มีเรตินอลหรือบีตาแคโรทีนต่ำ หรือจากการบริโภคอาหารที่ช่วยดูดซึมวิตามินเอสู่ร่างกายน้อย และอาหารพื้นบ้านมีไขมันเป็นส่วนประกอบเพียงร้อยละ 3-6 เท่านั้น

ในปี พ.ศ. 2535 กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข ได้ทำการสำรวจสภาวะการขาดวิตามินเอในเด็กวัยก่อนเรียนอายุ 2-6 ปี ใน 5 จังหวัดภาคใต้ตอนล่าง คือ ยะลา ปัตตานี สตูล นราธิวาส และสงขลา จำนวน 460 คน พบว่า มีกระจกตาขุ่นเหลือง 2 ราย คิดเป็นร้อยละ 0.43 และแผลเป็นของกระจกตาดำ (Corneal scar) 4 ราย คิดเป็นร้อยละ 0.87 (Nutrition Division, 1995) ซึ่งตามเกณฑ์ขององค์การอนามัยโลกได้ให้ข้อกำหนดไว้ว่า หากพบกระจกตาขุ่นเหลือง ในเด็กวัยก่อนเรียนมากกว่าร้อยละ 0.01 และแผลเป็นที่กระจกตามากกว่าร้อยละ 0.05 ให้จัดว่าชุมชนนั้นมีการขาดวิตามินเอในระดับเป็นปัญหาสาธารณสุข (WHO, 1995)

ต่อมาในปี พ.ศ. 2538 กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข ได้จัดให้มีการประเมินผลสถานการณ์โรคขาดวิตามินเอ ใน 5 จังหวัดภาคใต้ตอนล่าง พบว่าปัญหาได้ลดระดับความรุนแรงลงอย่างชัดเจน และจากรายงานเฝ้าระวังโรคขาดวิตามินเอ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2536 จนถึงปี พ.ศ. 2540 นั้น ไม่พบเด็กรายใหม่ที่ขาดวิตามินเอในระดับรุนแรง ซึ่งแสดงอาการทางตา (Nutrition Division, 1996) และในปี พ.ศ. 2536 องค์การอนามัยโลกได้จัดให้ประเทศไทยเป็นกลุ่มประเทศโรคขาดวิตามินเอ ชนิดไม่แสดงอาการทางคลินิกขั้นปานกลาง (Moderate subclinical vitamin A deficiency) (Micronutrient Deficiency Information System, 1992)

กรมอนามัยได้กำหนดนโยบายและแนวทางควบคุมและป้องกันโรคขาดวิตามินเอในพื้นที่ภาคใต้ ตามลำดับความเร่งด่วนไว้ 3 แนวทาง

แนวทางแรก คือ การกระจายยาเม็ดวิตามินเอ (vitamin A supplementation) ตามขนาดที่องค์การอนามัยโลกเสนอแนะแก่เด็ก 0-5 ปี ในพื้นที่ 5 จังหวัดภาคใต้ตอนล่าง

แนวทางที่สอง คือ การเสริมวิตามินเอในอาหาร (vitamin A fortification) ได้แก่ การส่งเสริมให้มีการเติมวิตามินเอ ขนาด 1,100 หน่วยสากลในนมข้นหวาน 100 กรัม ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ลงวันที่ 11 ตุลาคม 2536 รวมทั้งการเสริมวิตามินเอร่วมกับสารอาหารอื่นๆ ที่จำเป็น

แนวทางที่สาม คือ การผสมผสานกิจกรรมด้านอาหาร (food diversification) ได้แก่ การส่งเสริมการบริโภคอาหารที่อุดมด้วยวิตามินเอโดยผ่านสื่อต่างๆ ของการสื่อสารทางโภชนาการ เช่น สปอติวิทุย สปอดโทรทัศน์ ชุมนิทรรศการ โปสเตอร์ เป็นต้น รวมทั้งการพัฒนาตำรับอาหารท้องถิ่นที่เป็นที่นิยมเพื่อให้ประชาชนมีระดับวิตามินเอเพิ่มขึ้น (กรมอนามัย, 2539)

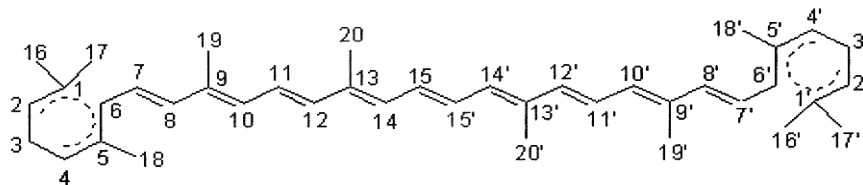
ในปี พ.ศ. 2542 ตามการกำหนดนโยบายควบคุมป้องกันโรคและส่งเสริมสุขภาพประชาชนไทยให้มีประสิทธิภาพด้วยต้นทุนต่ำ (Good Health at Low Cost) ของกระทรวงสาธารณสุข กรมอนามัยจึงได้เสนอ “แนวทางการควบคุมและป้องกันโรคขาดวิตามินเอด้วยมาตรการเสริมวิตามินเอ เพื่อลดความเสี่ยงและความรุนแรงของการเจ็บป่วยด้วยโรคติดเชื้อในประชากรกลุ่มเสี่ยงของประเทศไทย” ซึ่งประชากรกลุ่มเสี่ยงดังกล่าว คือทารกและเด็กวัยก่อนเรียน ให้สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดพิจารณาโดยสามารถใช้หมวดเงินอุดหนุนงานรักษาพยาบาลผู้มีรายได้น้อยในการจัดซื้อวิตามินเอ (กรมอนามัย, 2542) ในปี 2545 กองโภชนาการ กรมอนามัยและสถาบันวิจัยโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล ได้ทำการศึกษาคุณภาพนมแม่ในพื้นที่อำเภอมกน้อย จังหวัดเชียงใหม่ โดยแบ่งออกเป็นพื้นที่ใกล้เมืองและเขตภูเขา พบว่า ความเข้มข้นของวิตามินเอในนมแม่ที่อาศัยในเขตเมืองสูงกว่าในเขตภูเขาทั้งฤดูฝนและฤดูแล้ง อัตราชุกของภาวะขาดวิตามินเอจากตัวชี้วัดระดับวิตามินเอในน้ำนมแม่ พบว่า หญิงให้นมบุตรในพื้นที่เขตภูเขาของอำเภอมกน้อย ประมาณร้อยละ 72 มีภาวะขาดวิตามินเอ (ณัฐิกา, 2545) กองโภชนาการ ศูนย์อนามัยที่ 10 เชียงใหม่ กรมอนามัย สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงใหม่ และสถาบันวิจัยโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล ได้ร่วมจัดทำโครงการเร่งด่วนเพื่อแก้ไขปัญหาโดยฝึกอบรมเจ้าหน้าที่สาธารณสุขและบุคลากรที่เกี่ยวข้องในการค้นหาเด็กที่มีภาวะขาดวิตามินเอที่แสดงอาการทางตา และเด็กที่มีภาวะเสี่ยงสูงต่อการขาดวิตามินเอ รวมทั้งกระจายวิตามินเอแก่เด็ก 0-5 ปี ในพื้นที่ดังกล่าว ตามข้อเสนอแนะขององค์การอนามัยโลก (WHO, 1997) เพื่อป้องกันมิให้เกิดความรุนแรงเพิ่มขึ้น

ในปี พ.ศ. 2546 กองโภชนาการได้กระจายวิตามินเอแก่เด็ก 6 เดือนถึง 5 ปี ที่อยู่ในพื้นที่เสี่ยง ได้แก่ ตำบลที่มีเด็กขาดสารอาหาร โปรตีนและพลังงานทุกระดับรวมกัน มากกว่าร้อยละ 10 และหรือตำบลที่ยังคงมีเด็กขาดสารอาหารระดับ 2 หรือ 3 โดยให้จังหวัดคัดเลือกเองตาม

เกณฑ์ที่กำหนด กองโภชนาการได้สนับสนุนวิตามินเอแคปซูล ขนาด 200,000 หน่วยสากล ตามจำนวนเด็กทั้งหมดที่อยู่ในพื้นที่เสี่ยง และมีคู่มือการดำเนินงานเสริมวิตามินเอสำหรับเจ้าหน้าที่ (กองโภชนาการ, 2548)

2.2 แคโรทีนอยด์

แคโรทีนอยด์ (ภาพ 2.3) เป็นกลุ่มของรงควัตถุที่พบในพืช ให้สีเหลือง ส้ม และส้มแดง มีสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในน้ำมันและตัวทำละลายอินทรีย์ แคโรทีนอยด์ชนิดที่ถูกสังเคราะห์โดยสาหร่ายชนิดต่างๆ ได้แก่ ฟิวโคแซนทิน (fucoxanthin) ลูทีน ไวโอลาแซนทิน และนีโอแซนทิน ส่วนแคโรทีนอยด์ที่ถูกสังเคราะห์โดยพืช ได้แก่ แคโรทีน ซีแซนทิน (zexanthin) ไลโคพีน แคพแซนทิน (capxanthin) และไบซีน (bixin) เป็นต้น (นิธิยา, 2545)



ภาพ 2.3 โครงสร้างของแคโรทีนอยด์

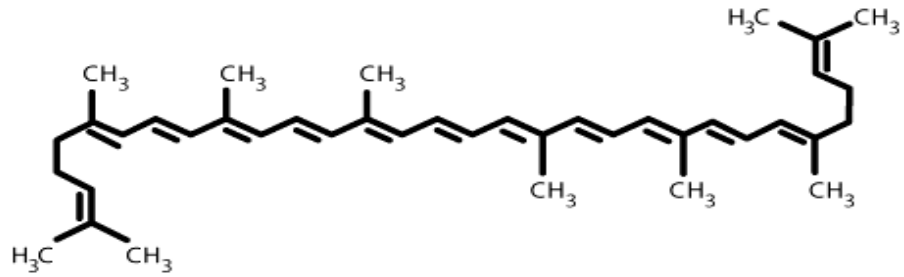
ที่มา : Britton, 1996

2.2.1 การแบ่งกลุ่มของแคโรทีนอยด์

แคโรทีนอยด์ แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ (นิธิยา, 2545)

1. กลุ่มที่เป็นไฮโดรคาร์บอน คือ แคโรทีนซึ่งเป็นแคโรทีนอยด์กลุ่มที่มีโครงสร้างหลักประกอบด้วยหน่วยไอโซพรีนซึ่งเป็นไดอีน (diene) $[CH_2=C-(CH_3)-CH=CH_2]$ มาเรียงต่อกัน 8 หน่วย จึงมีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุล 40 อะตอม มีสูตรเป็น $C_{40}H_{56}$ แบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยได้อีก 3 กลุ่ม ได้แก่

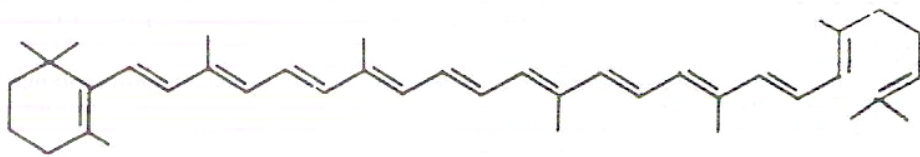
- 1.1 Acyclic คือ ไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีวงแหวนอยู่ในโมเลกุล เช่น ไลโคพีน มีสูตรโครงสร้างดังนี้



ภาพ 2.4 โครงสร้างของไลโคพิน

ที่มา : Wikimedia Foundation, Inc., 2008

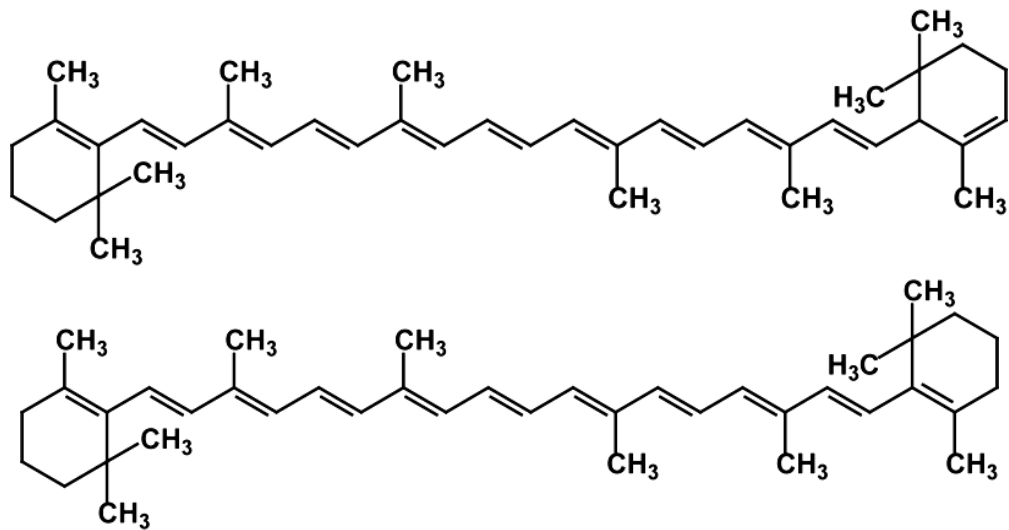
1.2 Monocyclic คือไฮโดรคาร์บอนที่มีวงแหวนอยู่ในโมเลกุลที่ปลายด้านหนึ่ง เช่น แกมมาแคโรทีน ทำให้ครึ่งหนึ่งของโครงสร้างโมเลกุลของแกมมาแคโรทีนเหมือนกับไลโคพีน และอีกครึ่งหนึ่งเหมือนกับบีตาแคโรทีน สูตรโครงสร้างโมเลกุลของแกมมาแคโรทีนมีดังนี้



ภาพ 2.5 โครงสร้างของเกมมาแคโรทิน

ที่มา : นิธิยา, 2545

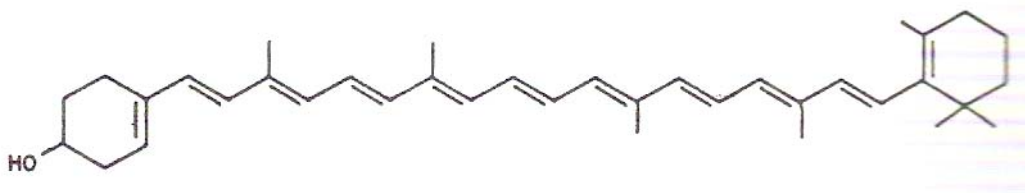
1.3 Bicyclic คือ ไฮโดรคาร์บอนที่มีวงแหวนอยู่ในโมเลกุลที่ปลายทั้งสองด้าน เช่น แอลฟา และบีตาแคโรทีน แอลฟาแคโรทีนต่างจากบีตาแคโรทีนที่ตำแหน่งพันธะคู่ของวงแหวนที่ 2 มีสูตรโครงสร้างโมเลกุลดังภาพ 2.6



ภาพ 2.6 โครงสร้างของแอลฟาแคโรทีน (บน) และบีตาแคโรทีน (ล่าง)

ที่มา : Wikimedia Foundation, Inc., 2008

2. กลุ่มที่มีออกซิเจนในโมเลกุล เป็นกลุ่มของอนุพันธ์ไฮโดรคาร์บอนที่มีหมู่ไฮดรอกซิล เมทอกซิล คาร์บอกซิล คีโต หรืออีพอกไซด์ รวมเรียกว่า แซนโทฟิลล์ (xanthophylls) แคโรทีนอยด์ กลุ่มนี้พบในพืชและมักจะอยู่ร่วมกับแคโรทีน ตัวอย่างเช่น คริปโตแซนธิน นอกจากนี้แซนโทฟิลล์ ยังอาจอยู่ในรูปอนุพันธ์เอสเทอร์กับกรดไขมันก็ได้ สารกลุ่มนี้จะเป็นรงควัตถุหลักในข้าวโพด พริกแดง มะละกอสุก และส้ม คริปโตแซนธินมีสูตรโครงสร้างโมเลกุลดังนี้



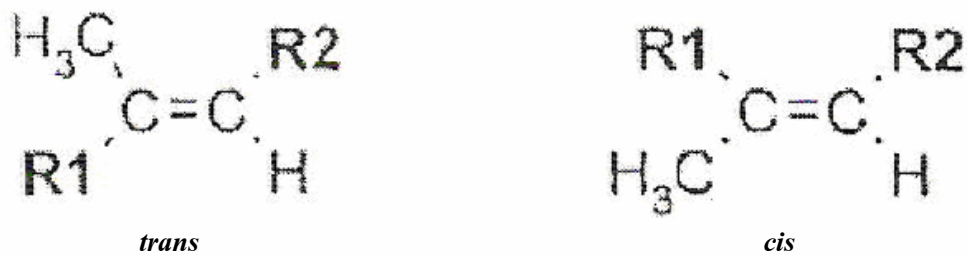
ภาพ 2.7 โครงสร้างของคริปโตแซนธิน

ที่มา : นิธิยา, 2545

2.2.2 แคโรทีนอยด์ในอาหาร

แคโรทีนอยด์มาจากชื่อของแครอท เนื่องจากพบแคโรทีนอยด์มากในแครอท สีของ แคโรทีนอยด์จะผันแปรไปตามจำนวนพันธะคู่แบบ conjugate double bond ในโมเลกุล ถ้ามี จำนวนพันธะคู่มากจะทำให้มีสีแดงเข้มขึ้น จำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของแคโรทีนอยด์ที่น้อยที่สุด

มี 7 พันธะ ซึ่งจะให้สี่เหลี่ยม พันธะคู่อาจอยู่ในรูปซิส (cis) หรือทรานส์ (trans) (ภาพ 2.8) แต่แคโรทีนอยด์ที่พบในอาหารส่วนใหญ่อยู่ในรูป all-trans อาจพบซิสบ้างเป็น mono-cis หรือ di-cis แต่น้อยมาก แคโรทีนอยด์ที่มีโครงสร้างอยู่ในรูป all-trans จะมีสีเข้ม ถ้ามีจำนวนพันธะคู่ที่อยู่ในรูปซิสเพิ่มมากขึ้นสีจะจางลง ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนจากทรานส์เป็นซิส คือ แสง ความร้อน และกรด เมื่ออาหารได้รับอุณหภูมิสูงจะเกิด trans-cis isomerization ได้ หากอยู่ในรูปซิสมากขึ้นจะทำให้กิจกรรมของวิตามินเอ (vitamin A activity) ลดลง (นิธิยา, 2545) ซึ่งรูปซิสที่เกิดขึ้นมีผลให้ความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงได้สูงสุดของแคโรทีนอยด์เปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย และเป็นสาเหตุของการสูญเสียแคโรทีนอยด์ (Macrae, 1988) นอกจากนี้ แคโรทีนอยด์ยังสลายตัวได้ง่ายเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยเฉพาะเมื่อละลายอยู่ในน้ำมันจึงถูกทำลายได้ง่ายเมื่อน้ำมันเกิดการออกซิเดชัน ปฏิกิริยาการสลายตัวของบีตาแคโรทีนเนื่องจากปัจจัยต่างๆ แสดงในภาพ 2.9 (นิธิยา, 2545)



cis : ตำแหน่งของ R1 และ R2 ที่อยู่บนพันธะคู่จะอยู่ด้านเดียวกัน

trans : ตำแหน่งของ R1 และ R2 ที่อยู่บนพันธะคู่จะอยู่ตรงข้ามกัน

ภาพ 2.8 ลักษณะรูปแบบซิสและทรานส์ในโครงสร้างของแคโรทีนอยด์

ที่มา : Schoefs, 2002

แคโรทีนอยด์มีความสำคัญต่อร่างกายเพราะสามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ โดยเฉพาะบีตาแคโรทีน 1 โมเลกุล สามารถสลายตัวได้เป็นวิตามินเอ 2 โมเลกุล แต่แกมมาแคโรทีน ซึ่งมีวงแหวน 1 อัน เมื่อสลายตัวได้วิตามินเอเพียง 1 โมเลกุลเท่านั้น (นิธิยา, 2545) และสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์เมื่อเปรียบเทียบกับเป็นกิจกรรมของวิตามินเอ จะแสดงในตาราง 2.1

น้ำมันพืชมีแคโรทีนอยด์ตามธรรมชาติ โดยเฉพาะน้ำมันปาล์มมีแคโรทีนอยด์ประมาณร้อยละ 0.05-0.20 ซึ่งมากกว่าน้ำมันชนิดอื่นๆ ใช้ประโยชน์เป็นแหล่งโปรวิตามินเอได้ กระบวนการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์ เช่น การฟอกสี และการไฮโดรจิเนชันจะทำลายแคโรทีนอยด์ทำให้น้ำมันมีสีจางลง (นิธิยา, 2545)

ตาราง 2.1 สารในกลุ่มแคโรทีนอยด์เมื่อเปรียบเทียบกับเป็นกิจกรรมของวิตามินเอ

แคโรทีนอยด์	ร้อยละของกิจกรรม (%activity)
all- <i>trans</i> - β -carotene	100
9- <i>cis</i> - β -carotene	38
13- <i>cis</i> - β -carotene	53
all- <i>trans</i> - α -carotene	53
9- <i>cis</i> - α -carotene	13
13- <i>cis</i> - α -carotene	16
all- <i>trans</i> -cryptoxanthin	57
9- <i>cis</i> -cryptoxanthin	27
15- <i>cis</i> -cryptoxanthin	42
β -carotene 5,6-epoxide	21
β -carotene 5,8-epoxide	80
γ -carotene	42-50
β -zeacarotene	20-40

ที่มา : ดัดแปลงจากกัณณพนต์, 2538

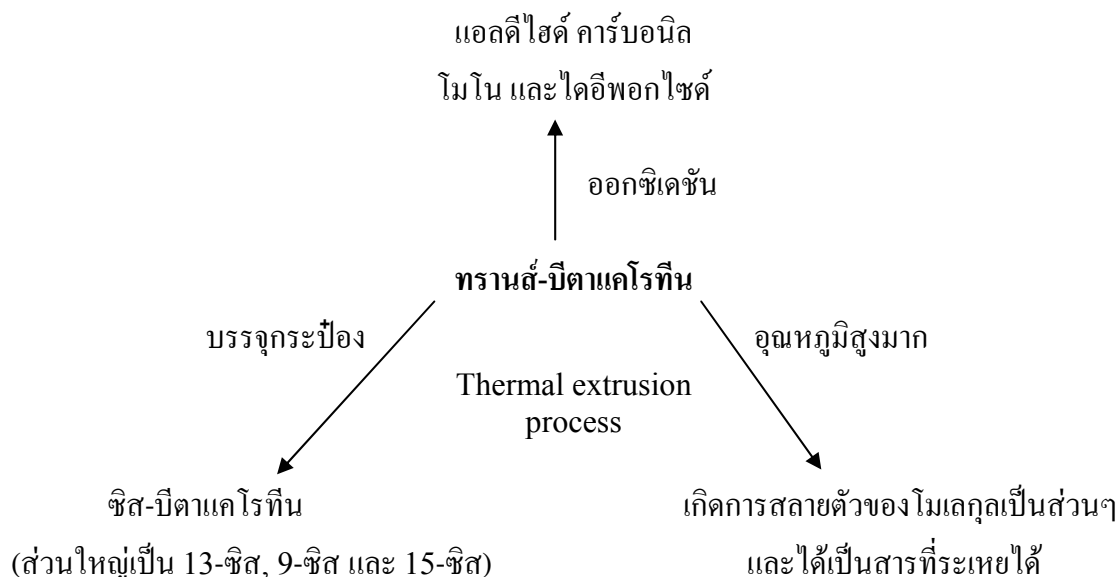
2.2.3 การเสื่อมสลายของแคโรทีนอยด์

การเสื่อมสลายของแคโรทีนอยด์ เกิดจาก 2 ปฏิกริยา ดังนี้ (อนุตตราและบุญตา, 2540; กัณณพนต์, 2538; อนุสรณ์และสุรศักดิ์, 2534)

1. ปฏิกริยาไอโซเมอไรเซชัน (isomerization) เกิดจากปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

1.1 ความร้อน แคโรทีนอยด์ที่พบในธรรมชาติส่วนใหญ่เป็นรูปทรานส์ หากได้รับแสงและความร้อนหรือรังสี จะทำให้โครงสร้างเกิดการบิดตัวไป 180 องศา เปลี่ยนเป็นรูปซิส ซึ่งรูปซิสนี้จะไม่ค่อยเสถียร มีการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสั้นลง และมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง (molecular extinction coefficient) ต่ำ สีที่ปรากฏจะอ่อนกว่ารูปทรานส์ การเกิดไอโซเมอไรเซชันด้วยความร้อน (thermal isomerization) เป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิตโดยอุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดการสูญเสียแคโรทีนอยด์ และควรเก็บรักษาตัวอย่างอาหารที่มีสารแคโรทีนอยด์ที่อุณหภูมิต่ำจะช่วยชะลอการสูญเสียแคโรทีนอยด์ไว้ได้

1.2 ความเป็นกรด ในสภาพความเป็นกรดทำให้ปีตาแคโรทีนเปลี่ยนเป็นไอโซเมอร์ อีพอกไซด์ (epoxide isomer) ซึ่งเกิดจากการจับตัวของออกซิเจนที่พันธะคู่ของวงแหวนใน โครงสร้าง



ภาพ 2.9 แผนภูมิการสลายตัวของทรานส์-บีตาแคโรทีน

ที่มา : นิธิยา, 2545

2. ปฏิกริยาออกซิเดชัน มีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

2.1 ออกซิเจน เมื่อแคโรทีนอยด์สัมผัสกับอากาศ ที่ตำแหน่งพันธะคู่ในโครงสร้างของ โมเลกุลจะไปจับออกซิเจนเกิดเป็นสีน้ำตาลของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide; ROOH) สารประกอบคาร์บอนิลและสารระเหยอื่นๆ ปฏิกริยานี้เกิดขึ้นโดยตรง (direct oxidation) อัตรา การสูญเสียแคโรทีนอยด์จากปฏิกริยาออกซิเดชันไม่ได้ขึ้นอยู่กับออกซิเจนเพียงอย่างเดียว แต่ขึ้นกับ อุณหภูมิและความเข้มของแสงซึ่งเป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกริยาดังกล่าว การเก็บรักษาแคโรทีนอยด์ใน สภาวะที่มีออกซิเจน บีตาแคโรทีนจะสูญเสียเป็นอันดับแรก

การป้องกันการออกซิเดชันจากออกซิเจน สามารถกระทำได้โดยการเติมสารต้าน ออกซิเดชัน (antioxidants) เช่น กรดแอสคอร์บิก และบิวทิลไฮดรอกซีโทลูอิน (BHT) เป็นต้น หรือไม่ให้อาหารสัมผัสกับอากาศขณะเก็บรักษา เช่น ใช้น้ำมันเคลือบผิว หรือบรรจุก๊าซเฉื่อยใน ภาชนะบรรจุ หรือบรรจุแบบสุญญากาศ

2.2 กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว เนื่องจากกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้และทำให้แคโรทีนอยด์เกิดออกซิเดชันไปด้วย เรียกว่า การเกิดออกซิเดชันร่วม (co-oxidation) เป็นปฏิกิริยาแบบทางอ้อม (indirect oxidation) สามารถป้องกันได้โดยใช้กรดไขมันชนิดอิ่มตัวในการผสมกับแคโรทีนอยด์

2.3 การปนเปื้อนของโลหะ ไอออนของโลหะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้แคโรทีนอยด์เสื่อมสภาพ และถ้ามีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวรวมอยู่ด้วย การเสื่อมสลายจะยิ่งเร็วขึ้น เช่น โลหะทองแดงจะเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไลโคพีนให้เร็วขึ้น 3.5 เท่า เนื่องจากไอออนจากทองแดงจะไปเร่งให้เกิดอนุมูลอิสระ

2.4 แสงสว่าง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสี กลิ่น และรสชาติ การเกิดออกซิเดชันจากแสงสว่างจะรุนแรงมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับปริมาณของออกซิเจนในอากาศด้วย

2.5 เอนไซม์ การเสื่อมสลายของแคโรทีนอยด์ที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ จะเกิดขึ้นได้เนื่องจากแคโรทีนอยด์ที่อยู่ภายในเซลล์ในรูปของสารเชิงซ้อนของรงควัตถุกับโปรตีน ซึ่งมีความเสถียรมาก ดังนั้นต้องมีสารที่สามารถมาทำลายโครงสร้างนี้ได้ คือ เอนไซม์ เมื่อแคโรทีนอยด์อยู่ในรูปอิสระก็จะเกิดการเสื่อมสลายได้ง่าย เอนไซม์ที่ทำให้เกิดการสูญเสียแคโรทีนอยด์ ได้แก่ เปอร์ออกซิเดส (Peroxidase; POD) เป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนสารแคโรทีนอยด์ทั้งทางตรงและทางอ้อม ซึ่งทางอ้อมคือการเกิดออกซิเดชันของไขมัน มีผลกระทบทำให้แคโรทีนอยด์เกิดการออกซิเดชันตามไปด้วย ไลโปออกซิเดส (Lipoxygenase) จะทำให้ไขมันเกิดอนุมูลอิสระ และอนุมูลอิสระของไขมันนี้จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับแคโรทีนอยด์ และไลโปเปอร์ออกซิเดส (Lipoperoxidase) ทำให้เกิดการสลายของแคโรทีนอยด์เมื่อมีเปอร์ออกไซด์ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวรวมอยู่ด้วย ซึ่งเกิดจากไลโปออกซิเดส หรือเกิดจากการออกซิเดชันโดยอาศัยเอนไซม์

2.6 น้ำ เป็นส่วนประกอบที่ช่วยให้เอนไซม์ทำงานได้ดี หากตัวอย่างถูกกำจัดน้ำออกไปบางส่วนจะทำให้เอนไซม์ทำงานได้ลดลง แต่การที่ไม่มีน้ำอยู่ในตัวอย่างเลยจะทำให้ผิวนอกของตัวอย่างมีโอกาสสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศได้มากขึ้น และหากน้ำในตัวอย่างเหลือน้อยเกินไป จะทำให้เอนไซม์มีประสิทธิภาพมากขึ้นที่สภาวะนี้เซลล์จะเกิดความเสียหาย เอนไซม์สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารที่เกิดการออกซิเดชันได้ง่ายขึ้น ดังนั้นตัวอย่างที่มีน้ำอยู่น้อยจะเกิดการสูญเสียแคโรทีนอยด์ได้ง่าย

2.3 น้ำมันปาล์ม (palm oil)

2.3.1 ปาล์มน้ำมัน

ตระกูล ปาล์ม (Palmae หรือ Arecaceae)

ชื่อพฤกษศาสตร์ *Elaeis guineensis* Jacq.

ชื่อสามัญ ปาล์มน้ำมัน (oil palm)

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดในทวีปแอฟริกา เมื่อปี พ.ศ. 2391 ได้มีการนำพันธุ์คูราเข้ามาปลูกในสวนพฤกษศาสตร์โบกอร์ ประเทศอินโดนีเซีย และได้คัดเลือกพันธุ์แล้วนำไปปลูกที่เมืองเคลี ต่อมาในปี พ.ศ. 2418 ได้มีการนำเข้ามาปลูกในประเทศมาเลเซีย รู้จักกันในชื่อพันธุ์เคลีคูรา ซึ่งทั้งสองประเทศปลูกเพื่อเป็นการทดลอง และปี พ.ศ. 2460 ทั้งอินโดนีเซียและมาเลเซียจึงเริ่มปลูกปาล์มน้ำมันเป็นการค้า เมื่อประมาณปี พ.ศ. 2485 พระยาประดิพัทธภูบาล ได้นำพันธุ์ปาล์มน้ำมันจากมาเลเซียหรืออินโดนีเซียมาปลูกในประเทศไทย โดยปลูกเป็นไม้ประดับที่สถานียทดลองยางกองหยัง อำเภอกาหลงใหญ่ จังหวัดสงขลา และที่สถานีเกษตรกรรมพลู จังหวัดจันทบุรี หม่อมเจ้าอมรสมานลักษณ์ กิตติยากร ได้ริเริ่มปลูกปาล์มน้ำมันเพื่อเป็นการค้าโดยทรงปลูกที่ตำบลบ้านปรก จังหวัดสงขลา เป็นพื้นที่ประมาณ 1,000 ไร่ และมีการปลูกปาล์มน้ำมันเป็นการค้าอย่างจริงจังในปี พ.ศ. 2511 โดยมีโครงการที่ปลูกคือ โครงการนิคมสร้างตนเองพัฒนาภาคใต้ จังหวัดสตูล เนื้อที่ปลูก 20,000 ไร่ มีสมาชิก 1,645 คน โดยปลูกคนละ 16 ไร่ และโครงการบริษัทอุตสาหกรรมน้ำมันและสวนปาล์ม จำกัด ตำบลปลายพระยา อำเภออ่าวลึก จังหวัดกระบี่ เนื้อที่ปลูกประมาณ 20,000 ไร่ ทั้งสองโครงการได้รับความสำเร็จ มีผู้สนใจปลูกปาล์มเพิ่มขึ้นและขยายตัวอย่างรวดเร็วนับล้านไร่ (เอกชัย, 2548)

2.3.2 การแปรรูปปาล์มน้ำมัน

น้ำมันจากปาล์มสกัดได้จากส่วนของเปลือกนอก และจากเนื้อในเมล็ด โดยมีกรดไขมันแตกต่างกันกับน้ำมันมะพร้าว น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันหมู (เอกชัย, 2548)

น้ำมันปาล์มโดยทั่วไปได้จากส่วนเปลือกนอกของผลปาล์ม เมื่อหีบจะได้น้ำมันปาล์มซึ่งจะมีลักษณะเหลวมีน้ำปนอยู่ หลังจากนั้นจะนำมารองเพื่อแยกสิ่งสกปรกและเส้นใยออก และนำไปขจัดความชื้นให้อยู่ในมาตรฐาน เพื่อลดการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสระหว่างการเก็บทะลายขนส่ง น้ำมันปาล์มดิบที่ได้จะบรรจุลงในถังเพื่อรอจำหน่ายให้กับโรงกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ต่อไป และน้ำมันปาล์มดิบสามารถแยกออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นน้ำมันและส่วนที่เป็นไข โดยจะ

หลอมเหลวที่อุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส และมีจุดแข็งตัวระหว่าง 25-50 องศาเซลเซียส ซึ่งจะขึ้นกับชนิดและปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ น้ำมันปาล์มดิบจะมีสีแดงส้มเป็นส่วนของสารแคโรทีนอยด์ ประกอบด้วยเม็ดสีที่เรียกว่า แคโรทีน ไลโคพิน และแซนโทฟิลล์ และอาจมีกลิ่นซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของพวก p-inonome แคโรทีนอยด์ถูกดูดซึมได้โดยสารบางชนิดและสลายได้เมื่อถูกความร้อน ทำให้ฟอกสีได้ง่ายในขบวนการกลั่นน้ำมันปาล์มให้ใสบริสุทธิ์ องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปาล์มดิบแสดงในตาราง 2.2 ซึ่งปริมาณของกรดไขมันเหล่านี้ไม่แน่นอน ทั้งนี้ขึ้นกับชนิด พันธุ์ สภาพภูมิอากาศที่ปลูก นอกจากนี้ น้ำมันปาล์มยังประกอบด้วยสารที่ไม่สามารถทำปฏิกิริยาได้ (unsaponifiable matter) ประมาณร้อยละ 0.2-1 โดยน้ำหนัก ส่วนน้ำมันปาล์มจากเนื้อในเมล็ดปาล์ม จะมีน้ำมันประมาณร้อยละ 46-57 การหีบน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดทำได้โดยการหีบด้วยแรงอัดสูงหรือสกัดด้วยตัวทำละลาย น้ำมันที่ได้จะแตกต่างจากน้ำมันปาล์มจากเปลือกนอก น้ำมันจากเนื้อในเมล็ดมีลักษณะใส ไม่มีสีถึงสีเหลืองอ่อน กรดไขมันที่มีอยู่ส่วนมากจะเป็นกรดไขมันอิ่มตัว (เอกชัย, 2548)

การแปรรูปน้ำมันปาล์มในอุตสาหกรรมมี 3 กระบวนการ ดังต่อไปนี้ (เอกชัย, 2548)

1. กระบวนการหีบน้ำมันจากส่วนเปลือกและส่วนเนื้อในเมล็ดจะได้ น้ำมันปาล์มดิบที่ถูกกำจัดความชื้นให้อยู่ในมาตรฐานกำหนด และบรรจุถังเพื่อรอจำหน่ายหรือเข้าสู่กระบวนการต่อไป
2. กระบวนการกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ เป็นการนำเอาน้ำมันปาล์มดิบมาทำให้บริสุทธิ์โดยขจัดสิ่งเจือปนต่างๆ ออกจนน้ำมันมีความบริสุทธิ์ตามมาตรฐานที่กำหนด สามารถบริโภคได้
3. กระบวนการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ เป็นการนำน้ำมันปาล์มที่กลั่นบริสุทธิ์มาแปรรูปในอุตสาหกรรมเครื่องอุปโภคและบริโภค

2.3.3 ผลิตภัณฑ์จากปาล์มน้ำมัน

เอกชัย (2548) รายงานว่า ปาล์มน้ำมันสามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมายทั้งในด้านการอุปโภคและบริโภค ซึ่งมีการใช้ปาล์มน้ำมันเพื่อการบริโภคเป็นอันดับ 2 ของโลกรองจากถั่วเหลือง

1. น้ำมันปาล์มดิบ

1.1 การนำน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ไปเติมไฮโดรเจน (hydrogenation) จะได้ผลิตภัณฑ์เนยขาว ไขมันผสม ไขมันสำหรับทอด และไขมันนม

1.2 น้ำมันปาล์มกลั่นบริสุทธิ์ ทำผลิตภัณฑ์ครีมเทียม ครีมไอศกรีม ไอศกรีมขนมอบ (bakery) ไขมันทำขนมปัง ไขมันสำหรับทำพาย เนยเทียม เนยขาว น้ำมันทอด คอฟฟี่เมท และเนยโกโก้เคลือบแป้ง

1.3 การแยกส่วนและการสกัด (fractionation) จะได้ผลิตภัณฑ์ดังนี้ น้ำมันปาล์ม สเตียรีน นำไปเติมไฮโดรเจนจะได้ผลิตภัณฑ์ไขมันผสม เนยโกโก้ ไขมันสำหรับทำขนมอบ น้ำมันปาล์ม โอเลอิน จะได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันปรุงอาหาร น้ำมันสำหรับทอด ไขมันผสม น้ำมันสลัด เนยโกโก้ ไขมันสำหรับทำลูกกวาด เนยขาว เนยเทียม ขนมหัก ขนมหักกรอบ

2. เนื้อในกะลาปาล์มน้ำมัน

น้ำมันจากเนื้อในกะลาปาล์ม นำไปทำผลิตภัณฑ์เนยเทียม ไขมันผสม ขนมหักกรอบ ครีม ไอศกรีม และไขมันทำขนมปัง

3. องค์ประกอบทางเคมีในน้ำมันปาล์ม พบว่ามีวิตามินอีและแคโรทีนอยด์สูงมาก เมื่อเทียบกับพืชชนิดอื่น หากนำไปสกัดจะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับปาล์มน้ำมันเป็นอย่างมาก

ตาราง 2.2 องค์ประกอบและปริมาณของกรดไขมันในน้ำมันปาล์มดิบ

ชนิดของกรดไขมัน	ร้อยละโดยมวลของกรดไขมัน
กรดไขมันอิ่มตัว	
กรดลอริก (lauric acid) C12	เล็กน้อย
กรดไมริสติก (myristic acid) C12	2
กรดปาล์มิติก (palmitic acid) C18	43
กรดสเตียริก (stearic acid) C18	7
กรดอาราซิดิก (arachidic acid) C20	เล็กน้อย
กรดไขมันไม่อิ่มตัว	
กรดโอเลอิก (oleic acid) C18:1	39
กรดลิโนเลอิก (linoleic acid) C18:2	9
กรดลิโนเลนิก (linolenic acid) C18:3	เล็กน้อย

ที่มา : ประยุกต์จากเอกชัย, 2548

2.3.4 แคลโรทีนอยด์ในน้ำมันปาล์ม

น้ำมันปาล์มดิบ (crude palm oil; CPO) มีปริมาณแคลโรทีนทั้งหมด 540 ไมโครกรัมต่อกรัม มีบีตาแคโรทีน 370 ไมโครกรัมต่อกรัม คิดเป็นร้อยละ 70 ของปริมาณแคลโรทีนทั้งหมด ซึ่งมีปริมาณแคลโรทีนสูงเมื่อเทียบกับพืชชนิดอื่น (ตาราง 2.3) และถือได้ว่าน้ำมันปาล์มดิบเป็นแหล่งของบีตาแคโรทีน (Alam and Sultan, 2004; Hamilton, 1995)

Manorama and Rumini (1992) ได้รายงานความคงตัว (stability) ของบีตาแคโรทีนในผลิตภัณฑ์น้ำมันปาล์มดิบไว้ว่า ปริมาณองค์ประกอบที่สามารถดูดซับและการนำไปใช้ประโยชน์ของร่างกายในเด็กวัยเรียน ซึ่งได้รับการยอมรับเมื่อทำการผสมน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันถั่วในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 และในกระบวนการปรุงอาหารบีตาแคโรทีนจะสูญเสียในปริมาณร้อยละ 22-30 และแคลโรทีนทั้งหมดร้อยละ 24-32 น้ำมันที่นำกลับมาใช้ใหม่จำนวน 5 ครั้งอย่างต่อเนื่องจะทำให้ส่วนประกอบของบีตาแคโรทีนสูญเสียโดยจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางกายภาพ เคมี และทางประสาทสัมผัส

ตาราง 2.3 ปริมาณแคลโรทีนของน้ำมันปาล์มเปรียบเทียบกับอาหารชนิดอื่นๆ

ชนิดของผักและผลไม้	ปริมาณแคลโรทีน (ppm)
น้ำมันปาล์ม	30,000
แครอท	2,000
ผักใบเขียว	685
แอปริคอต (apricots)	250
มะเขือเทศ	100
กล้วย	30
น้ำส้ม	8

ที่มา : ดัดแปลงจาก Alam and Sultan, 2004

2.4 นมผง (milk powder)

การทำนมผงใช้น้ำนมมาระเหยน้ำออกภายใต้สูญญากาศจนมีความเข้มข้นประมาณ 3 เท่า หลังจากนั้นนำมาทำให้เป็นผงโดยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) หรือแบบลูกกลิ้ง (roller drying) นมผงที่ได้จะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดประมาณร้อยละ 97 นมผงนิยมบรรจุใส่กระป๋อง

ที่ปิดสนิท อากาศที่บรรจุภายในกระป๋องใช้แก๊สไนโตรเจนผสมกับคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดออกซิเดชัน ซึ่งจะทำให้นมผงมีรสชาติเปลี่ยนไป ส่วนประกอบทางเคมีของนมผงประกอบด้วย ความชื้นร้อยละ 2 (ไม่มากกว่าร้อยละ 5) ไขมันนมร้อยละ 27.5 (ไม่น้อยกว่าร้อยละ 26) โปรตีนร้อยละ 26.4 น้ำตาลแลคโตสร้อยละ 38.2 และเถ้าร้อยละ 5.9 (นิธิยา, 2541)

การถนอมอาหารโดยการทำให้แห้ง เพื่อเป็นการหยุดการเจริญของจุลินทรีย์ การทำให้น้ำนมแห้งมีมาตั้งแต่สมัยที่มาร์โคโพลโลเดินทางไปในเอเชียได้บันทึกไว้ว่า ชาวมองโกลได้มีการต้มนมแยกเอาครีมออก แล้วเอาส่วนที่เหลือไปตากแห้งโดยใช้แสงแดด แต่นมในสภาพแห้งเราไม่นิยมเรียกว่า นมแห้ง แต่จะเรียกว่า นมผง การผลิตนมผงในปัจจุบันมีการพัฒนาเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ด้วยเครื่องมือที่ทันสมัย ทำให้นมผงสามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน โดยไม่มีการเสื่อมคุณภาพทั้งรสชาติและคุณค่าทางอาหาร หางนมผงมีอายุการเก็บรักษา 1-3 ปี แต่นมผงทั่วไปจะมีอายุการเก็บเพียง 6 เดือน (Onwulata, 2005)

2.4.1 ประเภทของนมผง

นมผงแบ่งออกเป็นประเภทต่างๆ ได้ดังนี้ (วรรณและวิบูลย์ศักดิ์, 2531; มอก.190-2519, 2543; มอก.391-2524, 2545)

1. นมผงธรรมชาติหรือนมผงพร้อมมันเนย (dry whole milk) ตามมาตรฐานของประเทศไทย ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 5 ไขมันเนยไม่น้อยกว่าร้อยละ 26 ความเป็นกรดไม่เกินร้อยละ 0.17 ค่าดัชนีการละลาย (solubility index) เป็น 1 ปริมาณผงที่ไหม้ (scorched particle) ไม่เกินร้อยละ 22.5 จำนวนแบคทีเรียทั้งหมดไม่เกิน 1×10^5 ต่อตัวอย่าง 1 กรัม

2. นมผงพร่องมันเนย (dry partly skimmilk) มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 5 ไขมันเนยระหว่างร้อยละ 1.5-26 ความเป็นกรดไม่เกินร้อยละ 0.17 ค่าดัชนีการละลายเท่ากับ 1 ปริมาณผงที่ไหม้ไม่เกินร้อยละ 22.5 และจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดไม่เกิน 1×10^5 ต่อตัวอย่าง 1 กรัม

3. นมผงขาดมันเนย (dry skimmilk or non-fat dry milk) มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 5 ไขมันเนยไม่เกินร้อยละ 1.5 มาตรฐานความเป็นกรด จุลินทรีย์ และปริมาณผงที่ไหม้เช่นเดียวกับนมผงพร่องมันเนย

4. นมผงแปลงไขมัน (dry filled milk) คือผลิตภัณฑ์ที่ทำจากนมผงโดยใช้น้ำมันพืชและ/หรือไขมันพืชแทนมันเนยบางส่วนหรือทั้งหมด

2.4.2 กระบวนการผลิตนมผง

วัตถุดิบที่จะใช้ในการผลิต นมหรือน้ำส่วนอื่นๆ ที่ได้จากนมจะต้องเป็นนมที่ไม่ได้ รับความร้อนสูงมาก่อน เพราะจะทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพ (denaturation) ซึ่งมีผลทำให้ การละลายไม่ดี กลิ่นและรสของนมผงจะไม่ดีด้วย ดังนั้นจึงมีการตรวจสอบหาค่าเพอร์ออกซิเดส (peroxidase) เพื่อตรวจสอบว่ามีการให้ความร้อนสูงแก่นมมาก่อนหรือไม่ ก่อนที่นมจะถูก ส่งเข้าเครื่องทำให้แห้ง จะต้องมีการปรับมาตรฐานของไขมันในนม แยกอนุภาคของแข็งออก จากของเหลวด้วยการปั่นเหวี่ยง (centrifuges) แล้วจึงทำการพาสเจอไรเซชัน อุณหภูมิในการ พาสเจอไรเซชันจะต้องไม่สูงเกินไป แต่ต้องสามารถทำลายฟอสฟาเตสได้ ถ้าวัตถุดิบที่ใช้เป็น นมที่ไม่ได้ปั่นแยกเอากรีมออก จะต้องไม่มีเอนไซม์ไลเปสเหลืออยู่ด้วย (เสาวลักษณ์, 2539)

การทำแห้งสำหรับอาหารชนิดอื่นมีหลายแบบ เช่น การใช้แสงแดด ลม หรือใช้การอบ แต่สำหรับนมจะต้องมีเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูง เพราะนมมีปริมาณน้ำสูง การใช้ แสงแดด หรือการอบจะต้องใช้เวลานาน ทำให้นมอาจเสื่อมคุณภาพได้ (Kon, 1972)

การผลิตนมผงในการอุตสาหกรรมมีอยู่หลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้กันมีอยู่ 3 แบบ คือ (วรรณและวิบูลย์ศักดิ์, 2531; Onwulata, 2005)

1. การทำแห้งแบบลูกกลิ้งหรือแบบหมุน (Drum or Roller Drying) เป็นแบบดั้งเดิมที่ ใช้ในการทำนมผงยังมีประสิทธิภาพไม่ดี เพราะความสามารถในการละลายยังไม่ดี ต้องชงด้วยน้ำ ร้อนและจะมีสีเหลืองเล็กน้อย นมหรือผลิตภัณฑ์นมจะทำให้เป็นผงได้จากเครื่องที่เรียกว่า Drum Drier หรือ Roller Drier ซึ่งมีลักษณะเป็นวงล้อหมุนได้รอบตัวด้วยความเร็วประมาณ 15 รอบ ต่อนาที วงล้อหรือลูกกลิ้งมีความยาวระหว่าง 1.2-3 เมตร และเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.2-3 เมตร ซึ่งขึ้นกับกำลังการผลิต ลูกกลิ้งมีทั้งระบบเดี่ยวและระบบคู่

หลักการทำงานของเครื่องคือ การปล่อยนมให้แผ่ไปบนลูกกลิ้งที่มีความร้อนอยู่ภายใน โดยลูกกลิ้งจะหมุนตลอดเวลา น้ำที่อยู่ในนมจะระเหยออกไปโดยมีลมช่วยเป่าให้การระเหยเป็นไป ได้ดีขึ้น เครื่องมือชนิดนี้มี 2 แบบ ได้แก่

- 1.1 แบบเปิด (Open type or Atmospheric) ประกอบด้วยลูกกลิ้งใหญ่จุ่มอยู่ใน นม หรือใช้นมพ่นใส่ หรือปล่อยนมลงโดยตรงก็ได้ ติดกับข้างลูกกลิ้งมีรางอยู่ 2 ราง ข้างละราง ข้างในลูกกลิ้งบรรจุไอน้ำร้อนทำให้ลูกกลิ้งร้อน อุณหภูมิที่ใช้ประมาณ 93-148 องศาเซลเซียส (200-300 องศาฟาเรนไฮต์) ระยะห่างลูกกลิ้งประมาณ 0.03 นิ้ว ลูกกลิ้งจะหมุน

ได้รอบ แต่ต้องหมุนในทิศทางตรงข้ามกัน น้ำนมที่จะใช้ทำแห้งจะต้องระเหยน้ำออกก่อนแล้ว อัตราส่วน 3 : 1 ถึง 5 : 1 ถืดหรือพ่นน้ำนม ซึ่งทำให้ขึ้นแล้วทางตอนบนของลูกกลิ้ง หรือให้ลูกกลิ้งจุ่มลงไป在水นมซึ่งทำให้ขึ้นแล้วก็ได้ เมื่อลูกกลิ้งหมุนจะพาเอานมติดขึ้นไปเป็นคราบแผ่นบางๆ เมื่อโดนความร้อนภายในลูกกลิ้งจะทำให้ น้ำระเหยไปจนแห้งสนิทอย่างรวดเร็ว เวลาที่ใช้ทำให้เป็นนมผงประมาณ 3 วินาที คราบนมผงที่ได้จะถูกกรีดออกด้วยใบมีดที่ติดไว้ข้างๆ ลูกกลิ้ง แล้วหล่นลงรางที่มีสายพานพาไปส่งต่อเข้าเครื่องปั่นให้เป็นเกล็ดแล้วปั่นให้เป็นเศษผง เศษที่ไหม้และแข็งถูกกรองออกด้วยตะแกรง โดยวิธีนี้สามารถผลิตนมผงได้ 500-3,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ความบางของแผ่นคราบน้ำนมที่แผ่นลูกกลิ้ง จะขึ้นอยู่กับความเร็วในการปรับความห่างระหว่างลูกกลิ้งทั้งสอง อัตราการผลิตขึ้นกับความหนาบางของแผ่น อัตราการหมุนของลูกกลิ้ง อุณหภูมิและปริมาณน้ำนมที่ปล่อยลงบนลูกกลิ้ง

ในแบบเปิดนี้ การปล่อยน้ำนมลงโดยตรงบนลูกกลิ้ง และแบบที่ใช้การพ่นน้ำนมจะแตกต่างกัน คือ แบบที่ใช้การพ่นจะใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของลูกกลิ้งได้สูงถึงร้อยละ 90 โดยพ่นน้ำนมให้เป็นแผ่นบางๆ ลงไปบนลูกกลิ้ง ในขณะที่แบบแรกใช้พื้นที่ได้เพียงร้อยละ 75 ความหนาของแผ่นน้ำนมจะอยู่ที่ความดันของหัวฉีดที่ใช้พ่น ระยะเวลาที่จะทำให้แห้งควบคุมได้ด้วยอัตราการหมุนลูกกลิ้งและอุณหภูมิ

1.2 แบบสุญญากาศ (Vacuum type) ใช้หลักการเช่นเดียวกับแบบเปิด แต่ลูกกลิ้งจะอยู่ในห้องซึ่งสุญญากาศออก อุณหภูมิที่ใช้จะต่ำกว่าแบบเปิด คือประมาณ 100 องศาเซลเซียส (212 องศาฟาเรนไฮต์) ขณะที่ลูกกลิ้งหมุนน้ำนมจะติดอยู่บนผิวลูกกลิ้ง และนมจะแห้งโดยใช้เวลาเพียง 6-30 วินาที นมจะแห้งเร็วหรือช้าขึ้นกับความเข้มข้นของนมที่จะระเหย นมผงที่ผลิตโดยวิธีนี้จะละลายได้ง่ายกว่าวิธีการแบบเปิด โดยปกตินิยมใช้ Roller Drier กับผลิตภัณฑ์หางนม (Skimmilk) เวย์ (Whey) และบัตเตอร์มิลค์ (Butter milk) และนิยมใช้ในการทำเป็นอาหารสัตว์มากกว่า เพราะต้องใช้ความร้อนสูงและละลายในน้ำไม่ดี

2. การทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Drying) วิธีนี้เป็นกระบวนการทำแห้งโดยใช้หัวฉีดกำลังสูง นมผงที่ผลิตโดยเครื่องแบบลูกกลิ้งจะมีประสิทธิภาพการละลายน้ำไม่ดัดนัก ดังนั้นจึงมีผู้พยายามคิดค้นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าขึ้นมา เรียกว่า แบบที่ใช้หัวฉีดกำลังสูง ซึ่งเป็นเครื่องที่ทันสมัย มีอัตราการผลิตและประสิทธิภาพการผลิตสูงมาก ทำให้ได้นมผงที่มีคุณภาพดีมาก การละลายดีขึ้น ละลายน้ำได้มากกว่าร้อยละ 98 สามารถละลายได้ในน้ำเย็นและมีการเปลี่ยนแปลงรสชาติน้อยกว่ากระบวนการทำนมให้แห้งแบบลูกกลิ้งหรือแบบหมุน

ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องแบบนี้คือ หัวฉีดแรงสูง ที่เรียกว่า atomizer หัวฉีดจะทำหน้าที่ฉีดน้ำนมจากยอดถึง ความร้อนจะทำให้ น้ำที่อยู่ในน้ำนมระเหยออกอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำนมแห้งเป็นเม็ดเล็กๆ แล้วตกลงสู่ก้นถัง อากาศร้อนเกิดจากการเป่าลมไปบนแผ่นให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 150-250 องศาเซลเซียส ลมร้อนจะผสมกับน้ำนมที่ถูกพ่นเป็นฝอยเล็กๆ ทำให้การระเหยเป็นไปอย่างรวดเร็ว ความชื้นจะลอยขึ้นในขณะที่นมผงจะค่อยๆ ตกลงไปที่ก้นถัง นมผงจะถูกลำเลียงออกที่ก้นถัง แล้วเดินทางไปในท่อซึ่งเครื่องบรรจุโดยใช้ระบบลมดูด ทั้งนี้จะเป็นการทำให้นมผงเย็นลงแล้วจึงผ่านไปยังไซโคลน (cyclone) ซึ่งทำหน้าที่แยกเอาลมเย็นออก และให้นมผงเข้าสู่ระบบบรรจุ ในบางครั้งการทำให้แห้งอาจจะมีสิ่งแปลกปลอมที่อาจปะปนมากับอากาศ จะถูกแยกออกโดยระบบไซโคลน

การให้น้ำนมมีขนาดเล็กด้วยระบบหัวฉีดจะตอมทำให้เพิ่มพื้นที่ให้น้ำนม เพื่อให้ น้ำนมมีโอกาสได้รับความร้อนอย่างทั่วถึงและมีประสิทธิภาพ ปกติ น้ำนม 1 ลิตรจะมีพื้นที่ผิวประมาณ 0.05 ตารางเมตร แต่ถ้า น้ำนม 1 ลิตรไปฉีดพ่นฝอยด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย แต่ละเม็ดจะมีพื้นที่ผิวระหว่าง 0.05-0.15 ตารางมิลลิเมตร ดังนั้น ถ้ารอบพื้นที่ของเม็ดน้ำนมทั้ง 1 ลิตรจะทำให้มีพื้นที่ทั้งหมด 35 ตารางเมตร เป็นการเพิ่มพื้นที่ขึ้นถึง 700 เท่า

การออกแบบ atomizer ขึ้นกับขนาดและสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ สมบัติเหล่านี้ ได้แก่ ขนาดของเม็ด การละลาย ความหนาแน่น และความสามารถในการทำให้เปียก (wettability) การออกแบบหัวฉีดอาจทำเป็น 3 แบบ คือ แบบพ่นขึ้น ใช้กับถังที่มีลักษณะตันทำให้ได้เม็ดผงค่อนข้างโต แบบพ่นลง ซึ่งเป็นทางเดียวกับอากาศร้อนที่จะเป่าลงมาจากยอดถึง แบบนี้ขนาดของเม็ดจะควบคุมโดยความดันของหัวฉีด ถ้าความดันสูงจะทำให้ได้เม็ดเล็ก และมีความหนาแน่นสูง แบบที่สามเป็นแบบจานหมุน คือบนหัวฉีดจะมีจานหมุนได้ น้ำนมจะถูกพ่นออกมาโดยการหมุนของจานด้วยความเร็วสูง ทำให้น้ำนมกระจายออกเป็นฝอย ในกรณีนี้ขนาดของเม็ดนมผงจะควบคุมด้วยความเร็วของจานหมุน

ลักษณะที่ดีของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย ได้แก่ (เสาวลักษณ์, 2539; วรรณและวิบูลย์ศักดิ์, 2531; Kon, 1972)

1. เป็นระบบต่อเนื่อง
2. ใช้แรงงานน้อยในการผลิต
3. ใช้ในการทำแห้งอาหารได้หลายชนิด เช่น นม ไข่
4. ระยะเวลาให้ความร้อนน้อย มีผลคือ ไม่ทำให้โปรตีนเกิดการแปรสภาพ
5. Thermal efficiency ต่ำ
6. ผลิตได้เป็นจำนวนมาก

7. แยกส่วนที่เป็นผลิตภัณฑ์และอากาศได้ดี
8. อุปกรณ์ง่ายต่อการทำความสะอาด
9. ผลิตภัณฑ์ที่จะทำแห้งต้องทำให้ขึ้นก่อน เพื่อแยกการควบคุมความชื้น
10. สามารถควบคุมสมบัติของตัวอย่างได้
11. ผลิตภัณฑ์จะไม่มีส่วนติดกับ drying chamber จึงไม่ทำให้เกิดการไหม้

3. การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze Drying) การทำแห้งวิธีนี้ประกอบด้วย การทำให้ผลิตภัณฑ์แช่แข็ง และทำให้น้ำหรือของเหลวในอาหารระเหิด ขั้นตอนการแช่แข็งจะรวดเร็วเพื่อทำให้น้ำในอาหารกลายเป็นผลึกขนาดเล็ก ซึ่งผลึกขนาดเล็กมีผลทำให้คุณภาพของอาหารเปลี่ยนแปลงไปน้อยมาก อาหารแช่แข็งจะถูกส่งไปยังห้องที่เป็นสุญญากาศสูงเพื่อไล่โมเลกุลของน้ำในสภาพของแข็ง (ผลึกน้ำแข็ง) ให้กลายเป็นไอโดยไม่ต้องผ่านการเป็นน้ำ อุณหภูมิการแช่แข็งประมาณ -30 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า การทำแห้งวิธีนี้มีต้นทุนที่สูงกว่าวิธีอื่นๆ ประมาณ 5 เท่า

2.4.3 การผลิตนมผง

นมผง หรือผลิตภัณฑ์นมในสภาพแห้ง อาจผลิตมาจากน้ำนมดิบหรือสิ่งที่เหลือจากการทำผลิตภัณฑ์นม นมในสภาพแห้งจะทำโดยการเอาน้ำจำนวนมากออกจากรวมหรือผลิตภัณฑ์นม ซึ่งมีหลักการ 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรก นมจะถูกนำมาทำให้เข้มข้นโดยใช้เครื่องระเหยให้เหลือปริมาตรตามต้องการ ขั้นตอนที่สอง นมจะถูกนำมาทำให้แห้ง โดยทั่วไปจะใช้การทำแห้งแบบลูกกลิ้ง หรือการทำแห้งแบบพ่นฝอย แต่ก่อนที่จะมาถึงกระบวนการดังกล่าวนี้ นมยังต้องผ่านขั้นตอนต่างๆ อีกหลายขั้นตอน ดังนี้ (เสาวลักษณ์, 2539; วรรณและวิบูลย์ศักดิ์, 2531; Onwulata, 2005; Kon, 1972)

- การให้ความร้อนล่วงหน้า (preheat treatment) นมก่อนที่จะทำเป็นผงต้องมีการทำลายจุลินทรีย์และเอนไซม์ เพื่อควบคุมส่วนประกอบและลักษณะของน้ำนมให้คงอยู่ อุณหภูมิขั้นต่ำที่ใช้ในการให้ความร้อนต้องใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ใช้ในการพาสเจอร์ไรเซชัน จึงจะสามารถทำลายจุลินทรีย์ได้ ซึ่งขั้นตอนนี้มีความสำคัญมากต่อการเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ในนมผง และยังสามารถยับยั้งการเกิดกรดและกลิ่นอันไม่พึงประสงค์อันเนื่องจากปฏิกิริยาต่างๆ ได้

เอนไซม์ไลเปส ซึ่งมีอยู่ในน้ำนมจะย่อยไขมันในนมโดยการไฮโดรไลซิส และผลที่ได้จะเกิดกรดไขมันอิสระ ซึ่งทำให้เกิดกลิ่นหืนในนม แต่นมที่ผ่านการทำให้แห้งแล้วจะไม่เกิดปัญหานี้ ถ้าผ่านความร้อนอย่างถูกต้องและเพียงพอที่จะทำลายเอนไซม์นี้ได้ แต่ยังมีเอนไซม์บางชนิดซึ่งเป็นส่วนน้อยที่ยังมีกิจกรรมอยู่ภายหลังการทำแห้ง และจะมีกิจกรรมเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา นมผงไว้เป็นเวลานาน และทำความเสียหายให้กับนมผง การให้ความร้อนแก่น้ำนมก่อน

ด้วยอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที หรือในช่วงอุณหภูมิ 85-90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที หรืออุณหภูมิเพียง 55 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที สามารถทำลายเอนไซม์ไลเปสได้ ส่วนเอนไซม์ชนิดอื่น เช่น โปรติเอส เปอร์ออกซิเดส และคะตะเลส อาจจะมีอยู่ในน้ำมัน แต่ก็สามารถทำลายได้โดยการให้ความร้อนล่วงหน้า มีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่หลงเหลืออยู่ในนมผง แต่ไม่มีผลต่อการทำให้นมผงเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บมากนัก

ความสามารถในการละลายของนมผงมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น เมื่อให้ความร้อนล่วงหน้าสูงขึ้นกว่า 87.8 องศาเซลเซียส เพราะจะช่วยให้โปรตีนมีความคงตัวมากขึ้น แต่ไม่สูงจนเกินไปจนทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพ เพราะจะทำให้ความสามารถในการละลายลดต่ำลง

- การทำให้เป็นเนื้อเดียวกันหรือการทำให้เม็ดไขมันแตกตัว (homogenization) การโฮโมจิไนเซชันถูกนำมาใช้เพื่อทำให้อนุภาคของไขมันเล็กลง และมีขนาดเท่าๆ กัน กระจายตัวอยู่ทั่วไปในน้ำมัน นอกจากนี้ การโฮโมจิไนเซชันยังช่วยกระจายส่วนของโปรตีนที่ไม่ละลายให้อยู่ทั่วไปในน้ำมันด้วย ถ้านมที่จะนำมาทำแห้งนั้นไม่ใช่หางนม ควรจะนำมาทำการโฮโมจิไนเซชันก่อน การโฮโมจิไนเซชันจะทำที่อุณหภูมิ 50-75 องศาเซลเซียส ใช้ความดันประมาณ 140-210 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ประมาณ 3000 psi) นมผงที่ผลิตโดยผ่านการโฮโมจิไนเซชันไขมันในนมจะกระจายอยู่ทั่วไปในนมผง ซึ่งเป็นการป้องกันการเกิดออกซิเดชันของนมผงได้ด้วย

- การทำให้น้ำมันเข้มข้น (concentration) การทำให้นมเข้มข้นก่อนการทำให้แห้งเป็นผลเป็นการปฏิบัติเพื่อเพิ่มความสามารถในการทำงานของเครื่องทำแห้ง คือทำให้เครื่องทำการผลิตได้มากขึ้น เป็นการลดค่าใช้จ่าย สำหรับวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอยจะช่วยควบคุมขนาดและปริมาณของออกซิเจนในนม การทำให้น้ำมันเข้มข้นนิยมทำในสถานะสูญญากาศ โดยใช้อุณหภูมิระหว่าง 65-80 องศาเซลเซียส และน้ำมันจะทำให้เข้มข้นโดยมีปริมาณของแข็งทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 30-55 ถ้าทำให้เข้มข้นมากกว่านี้จะเกิดการตกผลึกของแลคโตสเป็นโมเลกุลใหญ่ ซึ่งอาจทำให้เกิดการอุดตันของหัวฉีดในเครื่องทำแห้ง อีกทั้งยังต้องใช้ปั๊มกำลังสูงขึ้น นอกจากนี้จะทำให้เกิดการตกตะกอนของน้ำมันเป็นผลทำให้ทำแห้งยาก นมผงที่ผลิตได้จะละลายน้ำได้ไม่ดี ขนาดอนุภาคของนมผงจะเพิ่มขึ้น และสมบัติเชิงหน้าที่ของนมผงจะต่ำ นมผงที่ผลิตโดยทำให้เข้มข้นก่อนจะสามารถเก็บไว้ได้ดีกว่านมผงที่ผลิตโดยไม่ผ่านการทำให้เข้มข้น เนื่องจากอนุภาคของนมผงที่ได้จะมีขนาดใหญ่กว่า และมีปริมาณออกซิเจนอยู่น้อย

2.4.4 การบรรจุนมผง

Onwulata (2005) รายงานว่า การบรรจุนมผงจะแตกต่างกันทั้งวัสดุที่ใช้ ขนาดของภาชนะ วัตถุประสงค์ของการนำไปใช้ ปริมาณไขมันในนมผง และชนิดของนมผง วัสดุที่นิยมใช้ คือ ถูที่เคลือบกันน้ำและมีพลาสติกอยู่ข้างในอีกชั้นหนึ่ง ถูที่ทำจากพอลิเอทิลีนและบรรจุในกระป๋อง

- การบรรจุทางนมผง ภาชนะที่เหมาะสมสำหรับนมทำแห้งควรจะไม่ให้ความชื้น อากาศ แสงสว่าง และแมลงผ่านเข้าไปได้ มีความทนทานในการใช้งาน ทนต่อการกัดกร่อน มีราคาถูกง่ายต่อการบรรจุและปิดผนึก ขนย้ายได้สะดวกและเปิดใช้ได้ง่าย ในโรงงานอุตสาหกรรมในการเก็บทางนมผง จะบรรจุทางนมผงไว้ในถัง ถู ถังโลหะ ภาชนะขวดแก้ว หรือบรรจุกระป๋อง แต่ในทางการค้าส่วนมากจะผลิตและบรรจุใส่ถุงเคลือบ ซึ่งในการซื้อขายนั้นทางรัฐบาลของสหรัฐอเมริกาได้กำหนดให้ใช้ถุงกระดาศีน้ำตาหนา 6 ชั้น ซึ่งภายในบุด้วยพอลิเอทิลีนหนา 3 มิลลิเมตร วัตถุประสงค์ของการใช้ถุงแบบนี้เพื่อป้องกันแมลง

การบรรจุทางนมผง ในโรงงานจะใช้เครื่องจักรอัตโนมัติ มีการชั่งมวลอย่างถูกต้อง ถูที่ชั่งมวลแล้วจะเคลื่อนต่อไปเพื่อให้ถุงใหม่เข้ามา ถูที่บรรจุทางนมผงเรียบร้อยแล้วจะถูกเย็บปากถุงด้วยเครื่องจักรอีกครั้งหนึ่ง การบรรจุใส่ถุง ทางโรงงานผู้ผลิตจะใช้ถังบรรจุเพื่อส่งสินค้าซึ่งบรรจุได้ปริมาณมาก ถูที่ใช้จะทำจากโลหะต่างๆ แต่ที่นิยมมากคือ ถังอะลูมิเนียม เนื่องจากมีราคาถูกและเบา ถังชนิดนี้ได้รับการออกแบบให้สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย ใช้งานได้สะดวก โดยใช้เครื่องยก ซึ่งเป็นประโยชน์ในการลดแรงงานคนและประหยัดค่าถูงที่ใช้บรรจุนม นอกจากนี้ยังสามารถลดปัญหาเรื่องฝุ่นผงได้ด้วย ถังนี้เมื่อใช้แล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก และทำความสะอาดได้ง่าย

การบรรจุในกล่องกระดาศี ประกอบด้วยกระดาศีแข็ง ฟอยล์ และพลาสติก ซึ่งปัจจุบันถูกนำมาใช้มากขึ้นแทนภาชนะที่เป็นแก้วและโลหะใช้ในการบรรจุเพื่อขายปลีก ภาชนะบรรจุต้องป้องกันความชื้นได้ดี แบบที่ใช้ทั่วไปจะเป็นการเชื่อมประกบซ้อนกันระหว่างฟอยล์กับกระดาศี และผนังด้านในเคลือบด้วยพอลิเอทิลีนอีกชั้นหนึ่ง

- การบรรจุนมผงจากนมสด ในการผลิตนมผงจากนมสดเพื่อทำการส่งออกหรือขายปลีก จำเป็นต้องบรรจุนมผงด้วยการกำจัดแก๊สออกซิเจนเพื่อชะลอการเกิดออกซิเดชัน การเกิดกลิ่นที่ไม่ดีของนมผงเนื่องจากเกิดออกซิเดชัน ดังนั้นจำเป็นต้องยับยั้งการเกิดปฏิกิริยานี้ โดยการกำจัดปริมาณออกซิเจนจะทำการบรรจุภายใต้สุญญากาศ ปริมาณออกซิเจนสุดท้ายที่เหลือในช่องว่างอากาศ (headspace) ของภาชนะบรรจุจะต้องน้อยกว่าร้อยละ 2 นมผงที่มีคุณภาพดีจะต้องมี

ปริมาณออกซิเจนต่ำ และสามารถเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องได้นานถึง 6 เดือนหรือมากกว่า โดยปราศจากการเกิดกลิ่นอันไม่พึงประสงค์

การบรรจุโดยการแทนที่แก๊สออกซิเจนด้วยก๊าซอื่น ถูกนำมาใช้เพื่อให้เหลือปริมาณออกซิเจนที่ต่ำในภาชนะบรรจุ โดยการนำกระป๋องที่บรรจุนมผงวางเรียงกันบนสายพานและเคลื่อนเข้าสู่ช่องสูญญากาศ อากาศจะถูกดูดออกอย่างรวดเร็ว (ภายใน 60 วินาที) และสภาพสูญญากาศจะมีความดันลดลง หลังจากให้ดูดอากาศออกเป็นเวลา 2-5 นาที ความดันใหม่จะถูกสร้างขึ้นโดยบรรยากาศของไนโตรเจน หรืออาจผสมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ก็ได้ หลังจากนั้นภาชนะบรรจุจะถูกนำมาปิดผนึกด้วยเครื่องปิดฝา การบรรจุโดยการแทนที่ด้วยแก๊สจะต้องทำอย่างรวดเร็วหลังจากนมผงผ่านการทำให้แห้งแล้ว มิฉะนั้นคุณภาพอาจเสื่อมลงได้ระหว่างการเก็บรักษา นมผงซึ่งยังอุ่นๆ อยู่ จะต้องนำมาทำจัดแก๊สออกซิเจนออกโดยเร็วภายใต้สูญญากาศ จึงจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี จากการกำจัดแก๊สออกซิเจนนี้ จะทำให้ไขมันในนมผงมีโอกาสสัมผัสกับแก๊สออกซิเจนน้อยมาก จึงเป็นการป้องกันไขมันจากการถูกออกซิไดส์ได้เป็นอย่างดี ทำให้นมผงสามารถเก็บได้นาน

2.5 การเสริมวิตามินในนม (enriched milks)

นํ้านมที่เสริมวิตามิน เป็นนํ้านมที่เติมวิตามินบางชนิดลงไปให้มีปริมาณมากขึ้น วิตามินที่นิยมเติมต่อควอร์ตของนํ้านมได้แก่ วิตามินเอ (4,000 หน่วย) วิตามินดี (400 หน่วย) วิตามินบีหนึ่ง (1 มิลลิกรัม) วิตามินบีสอง (2 มิลลิกรัม) และไนอะซิน (10 มิลลิกรัม) ส่วนวิตามินซีไม่นิยมเติม เพราะจะถูกทำลายระหว่างการพาสเจอร์ไรเซชันและระหว่างการเก็บรักษา (นิธิยา, 2541)

การเสริมคุณค่าอาหารของนมโดยการเติมวิตามินดี สามารถทำได้ง่ายโดยการใส่สารละลายที่มีวิตามินดี 2 หรือดี 3 ลงในนํ้านม และเติมวิตามินดีในขั้นตอนที่เหมาะสมของกระบวนการทางอุตสาหกรรมโดยไม่มีผลต่อคุณค่าทางโภชนาการหรืออื่นๆ ในผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป การเสริมวิตามินดีพบมากในสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีการผลิตนมบรรจุขวดและนมกระเหย นอกจากนี้ยังทำกันในประเทศสวีเดน สหราชอาณาจักร เยอรมัน และประเทศกำลังพัฒนาอื่นๆ คณะอนุกรรมการเกี่ยวกับอาหารเพื่อสุขภาพกระทรวงสาธารณสุขและกรมอนามัยของสกอตแลนด์แนะนำให้เสริมวิตามินควรจะมีปริมาณวิตามินดีต่ำกว่า 1,000 หน่วยสากล (IU) ต่อนมผง 100 กรัม และวิตามินดีปริมาณ 400 หน่วยสากลต่อวัน ถือว่าเพียงพอสำหรับทารกและเด็กเล็กที่มีอายุต่ำกว่า 5 ขวบ (เสาวลักษณ์, 2539) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาระดับของการเสริมวิตามินในนํ้านมอีกมากมาย ซึ่งหนึ่งในหลายงานวิจัยได้รายงานการตรวจสอบปริมาณวิตามินเอในนมผงขาดมันเนย 17 ตัวอย่างพบว่า มี 1 ตัวอย่างที่มีการเสริมวิตามินในปริมาณที่มากเกินไป และ 7 ตัวอย่างที่เสริมวิตามินต่ำกว่า

มาตรฐาน และตามรายงานขององค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา จะต้องมีการตรวจสอบระดับการเสริมวิตามินเอ และ/หรือวิตามินดีในผลิตภัณฑ์นมทุกปี การเสริมวิตามินในนมขาดมันเนยเมื่อนำมาละลายกลับแล้วจะต้องมีปริมาณวิตามินเหมือนกับนมผงปกติ ซึ่งก็คือมีวิตามินเอ 2000 IU/qt และวิตามินดี 400 IU/qt (Lloyd *et al.*, 2004)

Murphy และคณะ (2001) ได้ศึกษาการวิเคราะห์ระดับวิตามินเอและดีในผลิตภัณฑ์นมที่มีการเสริมวิตามิน ด้วยวิธีโครมาโทกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography : HPLC) ทำการเก็บตัวอย่างเป็นระยะเวลา 4 ปี โดยเก็บตัวอย่างนมเต็มมันเนย นมที่มีไขมันร้อยละ 2 นมที่มีไขมันร้อยละ1 และนมขาดมันเนย 2 ครั้งต่อปี จากโรงงานมากกว่า 31 แห่งในนิวเจอร์ซีย์ พบว่า ใน 516 ตัวอย่าง มีการเสริมวิตามินเอร้อยละ 44.5 ที่ได้รับการยินยอมตามข้อกำหนด และพบวิตามินดีร้อยละ 47.7 ใน 648 ตัวอย่าง และตัวอย่างนมส่วนใหญ่ที่ไม่ได้รับการยอมรับเป็นนมที่ไม่ได้มีการเสริมวิตามิน

ปริมาณวิตามินที่จะทำการเสริมในนม นั้น จะต้องคำนึงถึงปริมาณการบริโภคต่อวัน เพื่อจะได้คุณประโยชน์สูงสุด และไม่เกินมาตรฐานที่กฎหมายกำหนด ซึ่งทางองค์การอาหารและยาได้กำหนดค่าสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคประจำวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป โดยคิดจากความต้องการพลังงานวันละ 2,000 กิโลแคลอรี (Thai Recommended Daily Intakes : Thai RDI) ดังแสดงในตาราง 2.4

ตาราง 2.4 ค่าสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคประจำวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป

สารอาหาร	ปริมาณที่แนะนำต่อวัน (Thai RDI)
Fat-soluble vitamins	
Vitamin A	800 µg RE* (2,664 IU)
Vitamin D	5 µg (200 IU)
Vitamin E	10 mg α - TE** (15 IU)
Vitamin K	80 µg
Water-soluble vitamins	
Vitamin B ₁ (Thiamin)	1.5 mg
Vitamin B ₂ (Riboflavin)	1.7 mg
Niacin	20 mg
Vitamin B ₆	2 mg
Folic acid	200 µg
Pantothenic acid	6 mg
Biotin	150 µg
Vitamin B ₁₂	2 µg
Vitamin C	60 mg

หมายเหตุ * RE = Retinol equivalent ; 1 RE = 1 µg retinol

** α - TE = α - Tocopherol equivalent ; 1α - TE = 1mg D-α-tocopherol

ที่มา : ประยุกต์จากองค์การอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข, 2542

บทที่ 3

วัตถุดิบและวิธีการศึกษา

3.1 วัตถุดิบ

- (1) น้ำมันปาล์มดิบ จากบริษัทชุมชนพรอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม จำกัด (มหาชน)
- (2) นมผง (MILK POWDER LITA 26, MILPRO[®], Holland)

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

- (1) เครื่องสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบด้วยตัวทำละลายที่อุณหภูมิต่ำ
- (2) เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray dryer : SDE-50 model, Thailand)
- (3) เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer : UV WINLAB version 2.85.04, PerkinElmerTM, UK)
- (4) เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง (High performance Liquid Chromatograph; HPLC : FCV-10ALvp model, SHIMADZU, Japan)
- (5) เครื่องระเหย (rotary evaporator : R-200 model, BUCHI, Switzerland)
- (6) เครื่องปั่นแบบมือจับ (MR 430 HC model, 300 Watt, BRAUN[®], Spain)
- (7) เครื่องผสม (vortex mixer : G-560E model, VORTEX-GENIE[®], Scientific Industries, USA)
- (8) เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge : Z 200A model, HERMLE[®], Germany)
- (9) เครื่องอัลตราโซนิก (ultrasonic bath : S30 model, ELMA[®], Germany)
- (10) เครื่องวัดสี (color meter : CR-300, MINOLTA[®], Japan)
- (11) อ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath : WB14 model, Memmert, Germany)
- (12) ตู้บ่ม (incubator : BD115 model, BINDER[®], Germany)

3.3 สารเคมี

- (1) กรดซิตริก (citric acid : C₆H₈O₇, MERCK, Germany)
- (2) กรดฟอสฟอริก (phosphoric acid : H₃PO₄, MERCK, Germany)

- (3) น้ำมันดอกทานตะวัน (น้ำมันดอกทานตะวันผ่านกรรมวิธี 100% ตรากู้ก, ธนาคารผลิตภัณฑ์น้ำมันพืช, ประเทศไทย)
- (4) น้ำมันถั่วเหลือง (น้ำมันถั่วเหลืองผ่านกรรมวิธี 100% ตรากู้ก, ธนาคารผลิตภัณฑ์น้ำมันพืช, ประเทศไทย)
- (5) บีโอซี (butylated hydroxyltoluene ; BHT : $C_{15}H_{24}O$, Sigma-Aldrich, USA)
- (6) ปีโตรเลียมอีเทอร์ (petroleum ether : boiling point $35-60^{\circ}C$, analytical reagent grade, J.T.Baker, USA)
- (7) สารละลายแอมโมเนีย (25% ammonia solution : NH_3 , analytical reagent grade, MERCK, Germany)
- (8) อะซิโตน (acetone : $(CH_3)_2CO$, purity 99.8%, HPLC grade, J.T.Baker, USA)
- (9) อะซิโตนไนไตรล์ (acetonitrile : C_2H_3N , purity 99.9%, HPLC grade, LAB-SCAN, Ireland)
- (10) บีตาแคโรทีนมาตรฐาน (standard beta-carotene : $C_{40}H_{56}$, purity $\geq 95\%$, HPLC grade, Sigma-Aldrich, USA)
- (11) เตตระไฮโดรฟูแรน (tetrahydrofuran : C_4H_8O , purity 99.98%, HPLC grade, Fisher Scientific, UK)
- (12) เมทานอล (methanol : CH_3OH , purity 99.9% , HPLC grade, LAB-SCAN, Ireland)
- (13) เอทานอล (ethanol : C_2H_5OH , purity 95%, ethanol 95, Imported denatured ethyl alcohol 95%)
- (14) เอทานอล (ethanol : purity 99.9%, HPLC grade, MERCK, Germany)
- (15) เอ็น-เอทิลไดไอโซโพรพิลเอมีน (N-ethyl-diisopropylamine : $C_8H_{19}N$, purity $\geq 98\%$, MERCK, Germany)
- (16) เฮกเซน (hexane : C_6H_{14} , commercial grade, Etalmar ,Thailand)
- (17) เฮกเซน (hexane : analytical reagent grade, Fisher Scientific, USA)
- (18) เฮกเซน (hexane : purity 99.5%,HPLC grade, LAB-SCAN, Ireland)
- (19) แอมโมเนียมอะซิเตต (ammonium acetate : CH_3COONH_4 , purity $\geq 98\%$, analytical reagent grade, MERCK, Germany)
- (20) ไดเอทิลอีเทอร์ (diethyl ether : $(C_2H_5)_2O$, purity 99.5% , analytical reagent grade, LAB-SCAN, Ireland)
- (21) ไซโคลเฮกเซน (cyclohexane : C_6H_{12} , purity 99%, analytical reagent grade, UNIVAR, Australia)
- (22) ไพโรแกลลอล (pyrogallol : $C_6H_6O_3$, purity $\geq 98\%$, HPLC grade, Fluka, France)
- (23) 2-โพรพานอล (2-propanol : C_3H_8O , purity 99.8%, HPLC grade, LAB-SCAN,

Ireland)

(24) โซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride : NaCl, purity 99%, analytical reagent grade, LAB-SCAN, Ireland)

(25) โซเดียมซัลเฟต (sodium sulfate; anhydrous : Na₂SO₄, purity ≥ 99%, MERCK, Germany)

(26) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide : NaOH, purity 98%, THASCO Chemical, Thailand)

(27) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide : KOH, purity ≥ 85%, analytical reagent grade, MERCK, Germany)

(28) น้ำกลั่น (distilled, demineralized, deionized water)

(29) อาหารเลี้ยงเชื้อ PCA (plate count agar : MERCK, Darmstadt, Germany)

(30) เปปโตน (peptone from casein : MERCK, Darmstadt, Germany)

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเสริมปีตาแคโรทีนที่สกัดได้จากน้ำมันปาล์มดิบในน้ำมันที่ทำเป็นผงโดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย

ก. กระบวนการสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายที่อุณหภูมิต่ำ

กรรมวิธีการกำจัดกัม (degumming)

1. นำน้ำมันปาล์มดิบใส่ภาชนะตั้งไฟ เติมกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 20 ในปริมาณร้อยละ 0.02 ของน้ำมันปาล์มดิบ และกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 75 ในปริมาณร้อยละ 0.08 ของน้ำมันปาล์มดิบ ให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที กวนให้เข้ากันตลอดเวลา ตั้งทิ้งไว้ให้อุณหภูมิลดลงเหลือ 60 องศาเซลเซียส

2. กรองด้วยระบบสุญญากาศ ใช้กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 ขนาด 11 เซนติเมตร โดยวางสำลีไว้ด้านบนกระดาษกรอง เพื่อป้องกันการอุดตันของกระดาษกรอง

3. นำน้ำมันที่กรองได้ใส่บีกเกอร์ แล้วนำไปหล่อเย็น

4. ใส่ขวดพลาสติก เก็บในที่มืด เพื่อนำไปสกัดในขั้นตอนต่อไป

กรรมวิธีการสกัดแคโรทีนอยด์

1. นำน้ำมันปาล์มที่ผ่านการกำจัดกัมและโลหะหนักเข้าเครื่องสกัดแคโรทีนอยด์ โดยใช้อัตราส่วนน้ำมันปาล์มดิบต่อเฮกเซนเป็น 1 ต่อ 3 และใช้เฮกเซนที่อุณหภูมิ -10 องศาเซลเซียส กวนผสมให้เข้ากันตลอดเวลาที่อัตราเร็วใบกวน 250 รอบต่อนาที และจับเวลาในการสกัด 5 นาที จากนั้นนำสารละลายที่ได้ กรองด้วยกระดาษกรองเพื่อแยกส่วนที่ไม่ละลายออก และนำสารสกัดแคโรทีนอยด์ที่ได้ไประเหยเฮกเซนออกด้วยระบบสูญญากาศ

2. นำสารสกัดแคโรทีนอยด์ที่ได้มาทำให้บริสุทธิ์และเข้มข้น โดยกระบวนการสะปอนิฟิเคชัน (saponification) ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 25 ในเอทานอลเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราส่วนสารสกัดแคโรทีนอยด์ 1 ส่วนต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 25 ในเอทานอล 1 ส่วน (ประยุกต์จาก Kimura *et al.*, 1990) ทำการแยกส่วนผสมของแคโรทีนอยด์ที่ไม่ทำปฏิกิริยาสะปอนิฟิเคชันออก จะได้ส่วนของผสมแคโรทีนอยด์และสบู่ แล้วจึงทำการแยกส่วนของผสมแคโรทีนอยด์จากสบู่ด้วยการเติมเฮกเซน 50 มิลลิลิตร และกรองแยกสบู่ด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 และล้างค้างส่วนเกินด้วยน้ำที่กำจัดไอออน (deionized water) 50 มิลลิลิตร 2 ครั้ง หรือจนกว่าส่วนที่ละลายในเฮกเซนจะใส จากนั้นนำส่วนดังกล่าวไประเหยเฮกเซนที่ความดัน 230 มิลลิบาร์ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และนำไปทำการวิเคราะห์ต่อไป

ข. การวิเคราะห์แคโรทีนอยด์ที่สกัดได้จากน้ำมันปาล์มดิบ

การสร้างกราฟมาตรฐานบีตาแคโรทีน

สร้างกราฟมาตรฐานบีตาแคโรทีน ตามวิธีที่ดัดแปลงจาก AOAC (2002)

วิธีการ

1. ชั่งบีตาแคโรทีนมาตรฐาน 0.0100 กรัม ลงในบีกเกอร์ 50 มิลลิลิตร ละลายสารมาตรฐานด้วยเฮกเซน และปรับปริมาตรสารละลายให้ครบ 100 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตรด้วยเฮกเซน

2. ปิเปตสารละลายในข้อ 1. มา 10 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปรับปริมาตร 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรจนครบ 50 มิลลิลิตร ด้วยเฮกเซน

3. ปิเปตสารละลายในข้อ 2. มา 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปรับปริมาตร 25 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรให้ครบด้วยเฮกเซน

4. นำสารละลายในข้อ 3. มาวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์จากความเข้มข้นน้อยไปมาก โดยใช้เฮกเซนเป็น blank

5. นำค่าที่ได้มาเขียนกราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของบีตาแคโรทีน (ไมโครกรัมต่อกรัม) กับค่าการดูดกลืนแสง

การวิเคราะห์หาปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้จากน้ำมันปาล์มดิบ

เตรียมแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้จากน้ำมันปาล์มดิบให้อยู่ในรูปของน้ำมัน โดยทำการศึกษา น้ำมัน ที่ใช้เป็นตัวอย่าง 2 ชนิด คือ น้ำมันดอกทานตะวัน และน้ำมันถั่วเหลือง (Sachindra and Mahendrakar, 2005)

วิธีการ

1. นำแคโรทีนอยด์ที่ผ่านกระบวนการสะปอนิฟิเคชันและระเหยเฮกเซนด้วยระบบสูญญากาศแล้ว มาเติมน้ำมันดอกทานตะวัน และน้ำมันถั่วเหลืองปริมาณ 1 กรัม
2. ชั่งแคโรทีนอยด์ที่เตรียมในรูปของน้ำมันมา 0.1000 กรัม (จดน้ำหนักที่แน่นอน ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ลงในขวดปริมาตร ละครายแคโรทีนอยด์ด้วยเฮกเซน และปรับปริมาตรสารละลายให้ครบ 50 มิลลิลิตรด้วยเฮกเซน
3. ปิเปตสารละลายในข้อ 2. มา 1 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปริมาตร 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรจนครบ 50 มิลลิลิตร ด้วยเฮกเซน
4. นำสารละลายข้อ 3. มาหาค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยใช้เฮกเซนเป็น blank

ในกรณีค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้มีค่ามากกว่ากราฟมาตรฐาน ให้ทำการปิเปตสารข้อ 3 มา 1 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปริมาตร 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรจนครบ 50 มิลลิลิตร ด้วยเฮกเซน และทำตามข้อ 4. จะได้ค่าความเข้มข้นของบีตาแคโรทีน (ไมโครกรัมต่อกรัม) แล้วนำไปคำนวณหาค่าความเข้มข้นเป็นร้อยละ

การคำนวณหาปริมาณแคโรทีนอยด์

ปริมาณบีตาแคโรทีน คำนวณโดยดัดแปลงจากวิธีของ AOAC (2002)

ค่าความเข้มข้นที่วัดได้จากการเจือจางด้วยเฮกเซน 50 มิลลิลิตรครั้งที่ 2 (ข้อ 5)

สารละลาย 1 มิลลิลิตร มีบีตาแคโรทีน	x	ไมโครกรัม
สารละลาย 50 มิลลิลิตร มีบีตาแคโรทีน	(x) × 50	ไมโครกรัม
ดังนั้น สารละลาย 1 มิลลิลิตร มีบีตาแคโรทีน	(x) × 50	ไมโครกรัม
สารละลาย 50 มิลลิลิตร มีบีตาแคโรทีน	(x) × 50 × 50	ไมโครกรัม
เท่ากับ	y	ไมโครกรัม

ปริมาณบิตาแคโรทีนมาจากตัวอย่างแคโรทีนอยด์	z	มิลลิกรัม
(มวลที่แน่นอนของแคโรทีนอยด์ที่ชั่งมาเป็นกรัม ให้เปลี่ยนเป็นมิลลิกรัม)		
แคโรทีนอยด์ z มิลลิกรัม มีบิตาแคโรทีน	$y/1000$	มิลลิกรัม
แคโรทีนอยด์ 100 มิลลิกรัม จะมีบิตาแคโรทีน	A	มิลลิกรัม

หมายเหตุ ในการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร กับแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้ เป็นค่าดูดกลืนแสงสูงสุดของบิตาแคโรทีนมาตรฐานในเฮกเซน ดังนั้นแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบจะดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นนี้ แต่ไม่ใช่ค่าดูดกลืนแสงสูงสุด จึงไม่สามารถรายงานเป็นปริมาณของบิตาแคโรทีนได้ ดังนั้นค่าที่ได้จึงเป็นค่าของแคโรทีนอยด์

การวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์ในน้ำมันปาล์มดิบด้วยเทคนิค HPLC

วิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้จากน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งเตรียมให้อยู่ในรูปของน้ำมันดอกทานตะวัน และน้ำมันถั่วเหลือง (ประยุกต์จาก Pérez-Gálvez *et al.*, 2005)

การเตรียมตัวอย่าง

1. ชั่งตัวอย่าง 0.03 กรัม ละลายด้วยไดเอทิลอีเทอร์ 100 มิลลิลิตร ในขวดก้นกลมสีชา ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. เทสารละลายใส่ในกรวยแยกขนาด 500 มิลลิลิตร เติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 10 ในเมทานอล 50 มิลลิลิตร เขย่าให้สารละลายผสมกัน และตั้งทิ้งไว้
3. หลังการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมง เติมโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 10 ในน้ำ ปริมาตร 200 มิลลิลิตร สารละลายจะถูกแยกเป็น 2 ส่วน ให้ทำการแยกส่วนที่เป็นน้ำออก แล้วนำ ส่วนที่อยู่ในตัวทำละลายอินทรีย์ล้างด้วยน้ำปริมาตร 200 มิลลิลิตร จนกระทั่งได้สารละลายใสและ เติมโซเดียมซัลเฟต 3 กรัม เพื่อช่วยดูดซับน้ำในสารละลาย
4. นำไปทำการระเหยตัวทำละลายออกด้วยระบบสูญญากาศ ที่ความดัน 250 มิลลิบาร์ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และเติมเมทานอลปริมาตร 10 มิลลิลิตร ทำการระเหยต่อที่ความดัน 72 มิลลิบาร์ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เพื่อกำจัดน้ำที่เหลือออก
5. นำส่วนที่เหลือไปละลายด้วยอะซิโตน ปริมาตรให้ได้ 10 มิลลิลิตร กรองผ่าน filter ขนาด 0.45 ไมโครเมตร เก็บในขวดสีชา ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส และนำไปทำการ วิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC ต่อไป

ค. วิเคราะห์สมบัติของนมที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

- ปริมาณกรดทั้งหมดที่สามารถไทเทรตได้ (total titratable acidity; TA : %acidity)

โดยการไทเทรตตามวิธีของ AOAC (2000)

- ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยใช้พีเอชมิเตอร์ (pH meter)
- วัดความชื้น (AOAC, 2000)
- วัดค่าสี ระบบฮันเตอร์ (Hunter : L a* b*) โดยใช้เครื่องวัดสี (Color meter)

ง. กระบวนการผลิตนมผงด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

กระบวนการเสริมบีตาแคโรทีนในนมผง โดยการเติมบีตาแคโรทีนในรูปของน้ำมัน (oily form) ทำการศึกษาทิศทางการพ่น 2 แบบ คือ แบบตามกระแสลมร้อน และแบบสวนกระแสลมร้อน (ดัดแปลงจากวิธีของ Murphy, 2001; Johnson, 1996; Ottaway, 1993)

วิธีทำ

1. นำนมผงวัตถุดิบทำให้เข้มข้น โดยการนำไปละลายน้ำให้ได้ปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 40 แล้วให้ความร้อนอุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส เติมบีตาแคโรทีนในรูปของน้ำมัน ปริมาณ 3000, 4000 และ 5000 IU/qt ในนมบางส่วนก่อนแล้วผสมลงในถังพัก ใช้เครื่องปั่นแบบมือจับ (BRAUN® : MR 430 HC model, 300 Watt, Spain) ปั่นให้ส่วนผสมเข้ากัน 5 นาที หรือจนสังเกตว่าของผสมเข้ากันดีแล้ว

2. ทำการเดินเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 175 องศาเซลเซียส หัวฉีดพ่นชนิดใช้แรงดันสูง (pressure atomizer) เบอร์ 1.5 (Spray drying Systems Co., USA) ความดันปั๊มของเหลว 15 บาร์ ความเร็วในการพ่นของเหลว 35 รอบต่อวินาที ความเร็วปั๊มลม 25 รอบต่อวินาที ทิศทางการพ่นแบบตามกระแสลมร้อน และแบบสวนกระแสลมร้อนในแต่ละกรณีศึกษา

3. นมผงที่ได้เก็บใส่ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ เพื่อป้องกันการออกซิเดชันด้วยแสง ปิดผนึกด้วยระบบสุญญากาศ (vacuum seal) และเก็บในภาชนะที่มีฝาปิดสนิท

หมายเหตุ ในกระบวนการผลิตจะทำการผลิตนมผงที่เป็นตัวควบคุม โดยไม่มีการเติมบีตาแคโรทีน และใช้สภาวะในการผลิตเช่นเดียวกับตัวอย่างที่ทำการศึกษา

3.4.2 การศึกษาความคงตัวของปีตาแคโรทีนในนมผง

ก. การวิเคราะห์ปริมาณปีตาแคโรทีนที่เสริมในนมผง

ทำการวิเคราะห์ปริมาณปีตาแคโรทีนที่เหลืออยู่ในนมผง ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูงโดยเก็บตัวอย่างเพื่อทำการวัดปริมาณของปีตาแคโรทีนในนมผงในวันที่ 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 (ดัดแปลงจาก Hulshof *et al*, 2006; Szpylka and Devries, 2005)

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

การเตรียมตัวอย่าง

1. ชั่งตัวอย่างนมผง 1 กรัม (จุดมวลที่แน่นอน ทศนิยม 3 ตำแหน่ง) ใส่ในหลอดทดลองที่มีฝาปิด ปิดสนิท น้ำกลั่น 1.5 มิลลิลิตร ผสมให้ละลายจนเข้ากันดี จากนั้นเติมสารละลายแอมโมเนียร้อยละ 25 ปริมาตร 0.25 มิลลิลิตร และเอทานอลร้อยละ 96 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร

2. ทำการสกัดไขมันด้วยไดเอทิลอีเทอร์ที่มีบีเอชทีร้อยละ 0.0025 (มวลต่อปริมาตร) 2 มิลลิลิตร และปิโตรเลียมอีเทอร์ 2 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง แล้วผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 3500g เป็นเวลา 3 นาที และนำส่วนบนใส่ในหลอดทดลองไประเหยในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส

3. นำส่วนที่เหลือไปทำให้บริสุทธิ์โดยกระบวนการสะปอนิฟิเคชันด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (ร้อยละ 5 มวลต่อปริมาตร ในเอทานอลร้อยละ 96 ปริมาตรต่อปริมาตร) ที่มีโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 0.2 (มวลต่อปริมาตร) 1.5 มิลลิลิตร จากนั้นเติมแก๊สไนโตรเจน ปิดฝาให้สนิท เก็บในที่มืดเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในระหว่างนี้ให้นำมาผสมด้วยเครื่องผสม ทุกๆ 30 นาที

4. หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่น 1.5 มิลลิลิตร และทำการสกัดด้วยเฮกเซน 3 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง นำส่วนที่ละลายในเฮกเซนรวมกัน แล้วนำไประเหยในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส

5. นำส่วนที่เหลือไปละลายในเมทานอลต่อเตตระไฮโดรฟูแรน (3 : 1 ปริมาตรต่อปริมาตร) 2 มิลลิลิตร และกรองผ่าน filter ขนาด 0.45 ไมโครเมตร เก็บในขวดสีชา แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC

หมายเหตุ ในขั้นตอนการสกัดทำการทดลอง 2 ซ้ำ

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC

การวิเคราะห์ปริมาณบีตาแคโรทีนด้วยเทคนิค HPLC คัดแปลงจากวิธีของ Sypylka and Devries (2005)

การวัดค่าความบริสุทธิ์ของสารมาตรฐาน

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานบีตาแคโรทีน 3 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยชั่งบีตาแคโรทีนมาตรฐาน 0.00600 กรัม ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ละลายด้วยเตตระไฮโดรฟูแรนประมาณ 20 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องอัลตราโซนิก 30 วินาที แล้วปรับปริมาตรด้วยเตตระไฮโดรฟูแรน จะได้ความเข้มข้น 60 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (standard stock solution) และเปิดสารละลายที่เตรียมได้ ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร 2 ขวดๆ ละ 5 มิลลิลิตร โดยขวดแรกให้ปรับปริมาตรด้วยไซโคลเฮกเซน (standard measuring solution) และขวดที่สองให้เปิดเตตระไฮโดรฟูแรน 5 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยเอทานอล (standard working solution) เก็บสารละลายทั้งหมดที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และสามารถใช้ได้ใน 1 วัน
2. การวัดค่าความบริสุทธิ์ด้วยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี (spectrophotometric purity; SP) โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงของ standard measuring solution ที่ความยาวคลื่น 457 นาโนเมตร แล้วคำนวณค่าการดูดกลืนแสงและค่าความบริสุทธิ์ของสารละลายมาตรฐาน ตามสูตร

$$E_{app}(1\%, 1\text{ cm}) = A \times 2/W \times 10\,000/B$$

- โดยที่ E_{app} = apparent absorbance constant
 A = ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด
 2 = dilution factor (L)
 W = มวลของสารมาตรฐาน (mg)
 $10\,000$ = ค่าการคำนวณกลับจาก % เป็น mg/L
 B = ความยาวของเซลล์ (cm)

$$SP = E_{app}(1\%, 1\text{ cm}) / 2505$$

โดยที่ 2505 = ค่า $E_{app}(1\%, 1\text{ cm})$ ของ all-*trans*- β -carotene ในไซโคลเฮกเซน

3. การวัดค่าความบริสุทธิ์ด้วยวิธีโครมาโทกราฟี (chromatographic purity; CP) ทำการวิเคราะห์พื้นที่ที่เตรียมสารละลาย standard working เสร็จ โดยฉีดในปริมาณ 20 ไมโครลิตร อย่างน้อย 6 ครั้ง ในระบบ HPLC แล้วคำนวณค่าบริสุทธิ์ของ all-*trans*- β -carotene

จากองค์ประกอบทั้งหมดของโครมาโตแกรม ยกเว้นพื้นที่ของตัวทำละลายหรือพื้นที่ของตัวทำละลายที่เป็น blank และใช้ค่าเฉลี่ยของค่าความบริสุทธิ์ จากการฉีดในระบบ HPLC ทั้ง 6 ครั้ง

$$CP = \text{พื้นที่ของ all-trans-}\beta\text{-carotene} / \text{ผลรวมของพื้นที่ทั้งหมด}$$

4. ค่าความบริสุทธิ์ของสารละลายมาตรฐาน (reference standard purity; P) จาก

$$P (\%) = SP \times CP \times 100$$

การวัดค่าในระบบ HPLC

1. คำนวณความเข้มข้นของ all-trans- β -carotene จากสารละลาย standard working

$$C (\mu\text{g/ml}) = W \times P/200$$

โดยที่ W = มวลของตัวอย่าง (mg)

P = ค่าความบริสุทธิ์ (%)

200 = ค่าการเจือจาง 2000 มิลลิลิตร (คำนวณกลับจากมิลลิกรัมเป็นไมโครกรัมและร้อยละของความบริสุทธิ์)

2. คำนวณค่า response factor (RF) ของ all-trans- β -carotene

$$RF [AU \times L/\text{mg}] = A_{\text{std}} / C$$

โดยที่ RF = response ของ all-trans- β -carotene

A_{std} = ค่าเฉลี่ยของพื้นที่กราฟทั้งหมดจากโครมาโตแกรมของ all-trans- β -carotene (Area Unit, AU)

พื้นที่กราฟของ all-trans- β -carotene ต้องมากกว่าร้อยละ 95 ของพื้นที่กราฟทั้งหมด

สภาวะสำหรับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC

Column Suplex pKb-100, Supelco, 5 μm , 250 $\times$ 4.6 mm.

Column temperature 30°C

Flow rate 0.6 mL/min

Injection volume 20 μL

Detection 448 nm

Mobile phase ละลายบีเอชที 50 มิลลิกรัม ใน 2-โพรพานอล 20 มิลลิลิตร ใน

ขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร และเติมเอน-เฮกซิลไดไอโซโพรพิลเอมีน 0.2 มิลลิลิตร

สารละลายแอมโมเนียมอะซิเตตร้อยละ 0.2 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร (แอมโมเนียมอะซิเตต 0.50 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร เก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ได้นาน 1 เดือน) จากนั้นเติมอะซิโตนไตรคล 455 มิลลิลิตร และเมทานอลประมาณ 450 มิลลิลิตร ซึ่งส่วนผสมจะเย็นให้ทิ้งไว้จนได้อุณหภูมิห้อง แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 1000 มิลลิลิตรด้วยเมทานอล และใช้ภายใน 2 วัน

การคำนวณ

คำนวณปริมาณของ *all-trans*- β -carotene และบีตาแคโรทีนทั้งหมดในตัวอย่าง ตามสูตรต่อไปนี้

$$C_{\text{tot}} \text{ (mg/g)} = [(A_{\text{trans}} + A_{9\text{cis}} + A_{13\text{cis}} \times 1.2 + A_{15\text{cis}} \times 1.4 + A_{\text{xcis}}) \times V] / (RF_{\text{trans}} \times m)$$

$$C_{\text{trans}} \text{ (mg/g)} = (A_{\text{trans}} \times V) / (RF_{\text{trans}} \times m)$$

โดยที่ C_{tot} = ปริมาณบีตาแคโรทีนทั้งหมด (mg/g)

C_{trans} = ปริมาณ *all-trans*- β -carotene (mg/g)

A_{trans} = พื้นที่กราฟของ *all-trans*- β -carotene (Area units = AU)

$A_{9\text{cis}}$ = พื้นที่กราฟของ 9-*cis*- β -carotene (AU)

$A_{13\text{cis}}$ = พื้นที่กราฟของ 13-*cis*- β -carotene (AU)

$A_{15\text{cis}}$ = พื้นที่กราฟของ 15-*cis*- β -carotene (AU)

A_{xcis} = ผลรวมของพื้นที่กราฟของ *cis*-isomers อื่นของบีตาแคโรทีน (AU)

1.2, 1.4 = relative response factors ซึ่งเป็นค่า correction factor ที่ใช้ปรับค่าการดูดกลืนแสงของ 13-*cis* และ 15-*cis*- β -carotene เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงของ *all-trans*- β -carotene ที่ความยาวคลื่นเดียวกัน

m = ปริมาณตัวอย่าง (g)

RF_{trans} = response factor ของ *all-trans*- β -carotene (AU*L/mg)

V = ปริมาตรที่ใช้ละลายตัวอย่าง (L)

การวัดค่าความคงตัวของบีตาแคโรทีนในนมผง

1. นำตัวอย่างนมผงที่ทำการสกัดบีตาแคโรทีนเพื่อทำการวิเคราะห์ความคงตัวมาฉีดเข้าระบบ HPLC ปริมาตร 20 ไมโครลิตร โดยใช้สภาวะเดียวกันกับการวัดค่าความบริสุทธิ์ของสารมาตรฐาน ทำการฉีดเข้าระบบ 2 ชั่วโมง ต่อตัวอย่างที่ทำการสกัด 1 ชั่วโมง

2. นำพื้นที่กราฟมาคำนวณปริมาณของ *al-trans*- β -carotene และบีตาแคโรทีนทั้งหมดในตัวอย่างนมผงตามสูตรดังกล่าวข้างต้น

ข. การวิเคราะห์สมบัติของนมผง

- วัดค่าสี ระบบฮันเตอร์ (Hunter : L a* b*) โดยใช้เครื่องวัดสี (Color meter)
- วัดความชื้น (AOAC, 2000)
- ตรวจแบคทีเรียทั่วไป ด้วยวิธีนับจำนวนแบคทีเรียทั้งหมด (Total Plate Count)

ตามวิธีของ AOAC (2002)

3.4.3 การศึกษาสมบัติทางประสาทสัมผัสของนมผง

การทดสอบความชอบหรือการยอมรับรวมของผู้บริโภคต่อนมผงที่เสริมบีตาแคโรทีน โดยใช้แบบทดสอบ Hedonic 9 scale ใช้ผู้ทดสอบชิมทั้งหมด 50 คน ให้คะแนนตามความชอบจาก 1 ถึง 9 โดยที่ 9 เป็นคะแนนที่ชอบมากที่สุดตามลำดับไปจนถึง 1 เป็นคะแนนที่ชอบน้อยที่สุด โดยใช้นมที่ไม่ได้เสริมบีตาแคโรทีนและนมผงตามท้องตลาดเป็นตัวควบคุม (ประยุกต์จาก เพ็ญขวัญ, 2536; Lloyd *et al.*, 2004) ทำการทดสอบโดยคัดเลือกหน่วยการทดลองที่มีปริมาณบีตาแคโรทีนมากที่สุด จากการวิเคราะห์ปริมาณบีตาแคโรทีน ซึ่งได้ใช้ปริมาณบีตาแคโรทีน 1500 IU ซึ่งเป็นปริมาณวิตามินเอที่แนะนำให้บริโภคต่อวันในการทดสอบ

วางแผนการทดลองแบบบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) (อิสรพงษ์, 2545) โดยให้ผู้ทดสอบเป็นบล็อก วิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

การเตรียมตัวอย่าง (เพ็ญขวัญ, 2536; วรรณและวิบูลย์ศักดิ์, 2531)

1. นมผง 13 กรัม เติมน้ำอุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส ให้ครบ 100 กรัม คนให้ละลายจนเข้ากันดี (นมผงเสริมและไม่ได้เสริมบีตาแคโรทีน)
2. นมผงจากท้องตลาด (DUMEX dugro 1 plusTM, บริษัท ดูเม็กซ์ จำกัด, ประเทศไทย) 38 กรัม ผสมในน้ำสุกอุ่น 180 มิลลิลิตร คนให้ละลาย
3. ตวงน้ำนมที่เตรียมได้ใส่ภาชนะปริมาตร 20-30 มิลลิลิตร สำหรับเสิร์ฟให้ผู้ทดสอบ โดยทำการสุ่มรหัสตัวเลข 3 ตัวในแต่ละตัวอย่าง และให้ผู้ทดสอบใช้น้ำบ้วนปากระหว่างการทดสอบตัวอย่าง

บทที่ 4

ผลการศึกษาและวิจารณ์

4.1 ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการเสริมบิตาแคโรทีนที่สกัดได้จากน้ำมันปาล์มดิบในน้ำมันที่ทำเป็นผง โดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย

4.1.1 การศึกษาการสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบ

จากกระบวนการสกัดสารแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายที่อุณหภูมิค่าของพัชรินทร์ (2548) พบว่า สถานะที่เหมาะสมในการสกัด คือ อัตราส่วนของน้ำมันปาล์มดิบต่อเฮกเซนเท่ากับ 1 ต่อ 3 ใช้เฮกเซนที่อุณหภูมิ -10 องศาเซลเซียส และอัตราเร็วใบกวน 250 รอบต่อนาที สามารถสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบที่มีความเข้มข้นร้อยละ 4.54 ในปริมาณร้อยละ 42.12 โดยมวลของน้ำมันปาล์มดิบเริ่มต้น ซึ่งสารสกัดที่ได้นำไปทำให้บริสุทธิ์และเข้มข้นโดยวิธีสะปอนิฟิเคชันต่อไป

4.1.2 การวิเคราะห์แคโรทีนอยด์ที่สกัดได้จากน้ำมันปาล์มดิบ

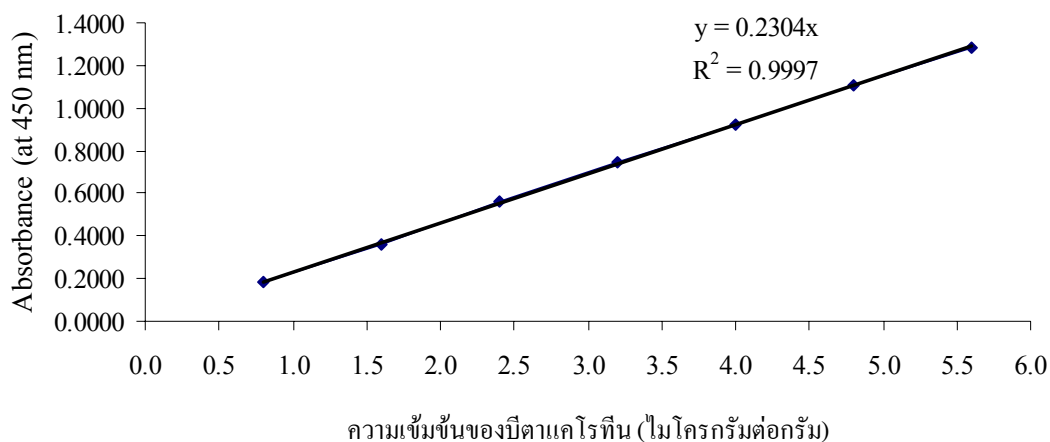
แคโรทีนอยด์ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์และเข้มข้นโดยกระบวนการสะปอนิฟิเคชันและนำไปประเหยเฮกเซนออกด้วยระบบสุญญากาศ ได้ถูกนำมาวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร โดยเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงของสารบิตาแคโรทีนมาตรฐาน ซึ่งค่าการดูดกลืนแสงของสารบิตาแคโรทีนมาตรฐาน แสดงดังตาราง 4.1

ตาราง 4.1 ค่าการดูดกลืนแสงของปีตาแคโรทีนมาตรฐานที่ความยาวคลื่น 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 $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากค่าการดูดกลืนแสงของสารปีตาแคโรทีนมาตรฐาน นำมาสร้างกราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของปีตาแคโรทีน (ไมโครกรัมต่อกรัม) กับค่าการดูดกลืนแสงที่ 450 นาโนเมตร (ภาพ 4.1) ซึ่งได้สมการเชิงเส้นเป็น $y = 0.2304x$ โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9997



ภาพ 4.1 กราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของปีตาแคโรทีนกับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร

4.1.3 ปริมาณความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์ที่ละลายในน้ำมันดอกทานตะวันและน้ำมันถั่วเหลือง

กราฟมาตรฐานบิตาแคโรทีน ถูกนำมาใช้ในการหาปริมาณของแคโรทีนอยด์ที่สกัดจากน้ำมันปาล์มดิบและทำให้เข้มข้นโดยการสะปอนิฟิเคชัน เมื่อนำมาละลายในน้ำมันดอกทานตะวันและน้ำมันถั่วเหลือง 1 กรัม ได้ความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์เท่ากับร้อยละ 6.14 และ 7.70 ตามลำดับ จะเห็นว่าความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์ไม่เท่ากันเมื่อทำการละลายในน้ำมันต่างชนิดกัน ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันที่ใช้ละลายแคโรทีนอยด์มีสมบัติในการละลายต่างกัน ซึ่งน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันดอกทานตะวันประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวร้อยละ 74 และ 85 โดยมวลของกรดไขมันทั้งหมด ตามลำดับ น้ำมันถั่วเหลืองประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวน้อยกว่าซึ่งจะถูกออกซิไดส์ได้น้อยกว่า แคโรทีนอยด์จึงมีความคงตัวมากกว่าและมีความเข้มข้นมากกว่าที่ละลายในน้ำมันดอกทานตะวัน การศึกษานี้เลือกน้ำมันดอกทานตะวันและน้ำมันถั่วเหลืองมาเป็นตัวละลายแคโรทีนอยด์ ที่จะใช้ผสมลงในน้ำมันเนื่องจาก Sachindra and Mahendrakar (2005) ได้ศึกษาการสกัดแคโรทีนอยด์จากเปลือกกุ้งด้วยน้ำมันพืชชนิดต่างๆ พบว่า น้ำมันดอกทานตะวันสามารถสกัดแคโรทีนอยด์ได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับน้ำมันพืชชนิดอื่น แต่ให้ผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันรำข้าว ทั้งนี้การศึกษานี้ไม่เลือกใช้น้ำมันมะพร้าวเนื่องจากเมื่อเกิดการไฮโดรไลซิสเพียงเล็กน้อยจะทำให้มีกรดไขมันอิสระเกิดขึ้น ซึ่งมีกลิ่นแรงและกลิ่นเหม็นคล้ายสบู่ (soapy off-flavor) (นิธิยา, 2548) ส่วนน้ำมันรำข้าวจะมีความคงตัวต่อการเกิดออกซิเดชัน เพราะมีวิตามินอีเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และป้องกันการสลายตัวของบิตาแคโรทีนได้ดีแต่ปัจจุบันยังไม่เป็นที่นิยมนำมาใช้เป็นตัวละลายสารให้สี เมื่อพิจารณาจากการนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ น้ำมันถั่วเหลืองจะได้รับความนิยมมากที่สุด และมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าน้ำมันชนิดอื่น (นิธิยา, 2548)

4.1.4 การศึกษาสมบัติของน้ำมันคั้นรูปที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

การวิเคราะห์สมบัติของนมผงที่ใช้เป็นวัตถุดิบก่อนนำไปใช้ในกระบวนการผลิตนมผงเสริมบิตาแคโรทีนด้วยการอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดที่สามารถไทเทรตได้ ความเป็นกรด-ด่าง ความชื้น และค่าสี ได้ผลการวิเคราะห์ดังตาราง 4.2

ตาราง 4.2 สมบัติของน้ำมันก๊วยรูปที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

สมบัติ	ผลการวิเคราะห์ ¹
ปริมาณกรดทั้งหมด (กรัม/100 มิลลิลิตร)	0.17 ± 0.01
กรด-ด่าง (pH)	5.91 ± 0.02
ความชื้น ² (ร้อยละ)	4.15 ± 0.04
ค่าความสว่าง ² (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

ผลการวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันก๊วยรูปที่ใช้เป็นวัตถุดิบ พบว่า มีความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยเท่ากับ 5.91 ซึ่งปกติน้ำมันจะมีค่า pH ระหว่าง 6.3-6.9 ค่าความเป็นกรดของน้ำมันนอกจากจะวัดเป็นค่า pH แล้วยังวัดเป็นค่าปริมาณกรดทั้งหมดที่สามารถไทเทรตได้ พบว่า น้ำมันก๊วยรูปมีปริมาณกรดทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 0.17 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตรกรดแลคติก สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของน้ำมันก๊วยรูป พบว่า มีความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 4.15 ซึ่งทั้งปริมาณกรดทั้งหมดที่สามารถไทเทรตได้และปริมาณความชื้นอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นมผงกำหนดไว้คือ ปริมาณกรดทั้งหมดที่สามารถไทเทรตได้ไม่เกินร้อยละ 0.17 ของกรดแลคติก และความชื้นไม่เกินร้อยละ 5 ของน้ำหนัก (วรรณและวิบูลย์ศักดิ์, 2531; มอก.391-2524, 2545)

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 พบว่า น้ำมันก๊วยรูปมีค่าสี L, a* และ b* เท่ากับ 86.15, (+)2.52 และ (+)24.35 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า น้ำมันก๊วยรูปมีค่าความสว่างมากและมีสีเหลืองเล็กน้อย

4.1.5 การศึกษาสถานะในการอบแห้งแบบพ่นฝอยของน้ำนมคั้นรูปเสริมปีตาแคโรทีน

ก. สถานะที่ใช้ในการอบแห้งน้ำนมคั้นรูปเสริมปีตาแคโรทีน

จากการศึกษาเบื้องต้นของสถานะที่ใช้ในการอบแห้งนมผงเสริมปีตาแคโรทีน โดยใช้ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 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

ตาราง 4.3 ลักษณะของนมผงเสริมปีตาแคโรทีน ที่อบแห้งในสถานะต่างๆ

สถานะในการอบแห้ง					ลักษณะของนมผง
อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (°C)	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	น้ำนมกระจายตัวดินนมผงแห้ง
	1.5	15	40	25	น้ำนมกระจายตัวดี
					นมผงไม่แห้งและคืดผนังห้องอบมาก

ตาราง 4.3 ลักษณะของนมผงเสริมปีตาแคโรทีน ที่อบแห้งในสภาวะต่างๆ (ต่อ)

สภาวะในการอบแห้ง					ลักษณะของนมผง
อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (°C)	หัวฉีดพ่นเบอร์	ความดันป้อนของเหลว (บาร์)	ความเร็วในการพ่นของเหลว (รอบต่อวินาที)	ความเร็วป้อนลม (รอบต่อวินาที)	
175	1.5	20	35	25	นมผงไม่แห้ง
	1.5	20	40	25	นมผงไม่แห้ง
	2.0	15	35	25	น้ำนมกระจายตัวไม่ดี
	2.0	15	40	25	น้ำนมกระจายตัวไม่ดี
	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

จากตาราง 4.3 พบว่า การใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150 องศาเซลเซียส จะได้นมผงที่ไม่แห้ง มีลักษณะเหนียว และจับตัวเป็นก้อนแข็ง ส่วนที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 175 องศาเซลเซียส ทำให้นมผงแห้ง มีนมผงตกค้างในห้องอบแห้งของเครื่องอบแห้งเพียงเล็กน้อย ลักษณะปรากฏ่วนเป็นผงละเอียด ส่วนการใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 190 องศาเซลเซียส จะได้นมผงที่มีสีน้ำตาลเล็กน้อย มีกลิ่นไหม้ ดังนั้น อุณหภูมิลมร้อนที่เหมาะสมในการอบแห้งน้ำนมกั้นรูป 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

การใช้ความเร็วในการพ่นของเหลว 35 รอบต่อวินาที ทำให้ตัวอย่างถูกเป่าให้ลอยในห้องอบแห้งที่สัมพันธ์กับระยะเวลา จะได้นมผงผลิตภัณฑ์ที่แห้ง เป็นผงละเอียด แต่ที่ความเร็วในการพ่น 40 รอบต่อวินาที พบว่าตัวอย่างถูกเป่าด้วยความเร็วที่เร็วเกินไป นมผงผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่แห้ง เนื่องจากสัมผัสกับลมร้อนในระยเวลาน้อยเกินไป สำหรับความเร็วปั๊มลม 25 รอบต่อวินาที ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่แนะนำในคู่มือการใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (บริษัท เจ ซี เครื่องจักรกล และงานโยธา จำกัด, ประเทศไทย)

ดังนั้น สภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการอบแห้งน้ำนมเสริมปีตาแคโรทีน คือใช้อุณหภูมิลมร้อนเข้า 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)

ตาราง 4.4 ผลของการใช้น้ำมันถั่วเหลืองหรือน้ำมันดอกทานตะวันเป็นตัวละลายแคโรทีนอยด์ ร่วมกับทิศทางการพ่นกระแสนลมร้อน ในการอบแห้งน้ำมันเสริมปีตาแคโรทีนด้วยวิธีอบแห้งแบบ พ่นฝอยต่อสมบัติของนมผง

สิ่ง ทดลอง	สมบัติของนมผง ¹				สี	ลักษณะ ปรากฏ
	ความชื้น (ร้อยละ)	ค่า L	ค่าสี a*	ค่าสี b*		
control	1.88 ^a ±0.02	70.41 ^c ±0.04	(+)7.54 ^c ±0.07	(+)33.67 ^c ±0.03	เหลืองคล้ำ	แห้ง ร่วน ผงละเอียด
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	เหลือง นวล	แห้ง ผงละเอียด
SF-CT	3.31 ^d ±0.11	77.64 ^a ±0.05	(+)4.33 ^a ±0.02	(+)31.54 ^a ±0.04	เหลือง อ่อน	แห้ง ผงละเอียด เนื้อเนียน

หมายเหตุ :

a,b,c,... ในแถวแนวตั้งเดียวกันที่มีอักษรกำกับเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

¹ ผลการวิเคราะห์เป็นค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

control = นมผงผ่านกระบวนการอบแห้งที่ไม่ได้เติมปีตาแคโรทีน

SB = นมผงเสริมปีตาแคโรทีนที่ใช้น้ำมันถั่วเหลืองเป็นตัวละลายแคโรทีนอยด์

SF = นมผงเสริมปีตาแคโรทีนที่ใช้น้ำมันดอกทานตะวันเป็นตัวละลายแคโรทีนอยด์

CO = ทิศทางการพ่นแบบตามกระแสนลมร้อน

CT = ทิศทางการพ่นแบบสวนกระแสนลมร้อน

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

ของน้ำมันที่ใช้ละลายบีตาแคโรทีน และทิศทางการพ่นลมร้อนมีผลต่อปริมาณความชื้น ค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองของนมผงเสริมบีตาแคโรทีนเมื่อเทียบกับนมผงควบคุม การพ่นแบบตามกระแสลมร้อนจะได้นมผงเสริมบีตาแคโรทีนที่มีค่าความชื้นต่ำกว่าการพ่นแบบสวนกระแสลมร้อน และการใช้น้ำมันถั่วเหลืองเป็นตัวละลายให้นมผงที่มีสีเข้มกว่าการใช้น้ำมันดอกทานตะวัน ทั้งนี้เนื่องจาก การศึกษานี้การพ่นแบบตามกระแสลมร้อน ทำให้น้ำมันที่ถูกฉีดพ่นออกมาจากหัวฉีดสัมผัสกับความร้อนสูงทันที ทำให้ปริมาณน้ำถูกระเหยออกไปอย่างรวดเร็ว จึงทำให้มีค่าความชื้นที่ต่ำและมีสีที่เข้มมากกว่า

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาค่าความสว่างของนมผงที่ใช้เป็นวัตถุดิบเทียบกับนมผงที่ผ่านกานอบแห้ง พบว่า นมผงที่ผ่านการอบแห้งจะมีค่าความสว่างน้อยกว่านมผงวัตถุดิบ (ค่าความสว่างของนมวัตถุดิบเท่ากับ 86.15 จากตาราง 4.2) อาจเนื่องจากการนำนมผงวัตถุดิบกลับมาละลายและผ่านความร้อนสูง จึงทำให้เกิดสีที่เข้มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Baechler *et al.* (2005) ที่ได้รายงานว่ นมผงที่ถูกให้ความร้อนในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม จะมีสีเข้มขึ้นหรือสีน้ำตาลอันเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction)

ข. การเปลี่ยนแปลงปริมาณบีตาแคโรทีนในนมผงที่อบแห้งโดยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย

จากการศึกษาปริมาณการเสริมบีตาแคโรทีนในนมผง โดยใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 175 องศาเซลเซียส หัวฉีดพ่นชนิดใช้แรงดันสูงเบอร์ 1.5 ความดันปั๊มของเหลว 15 บาร์ ความเร็วในการพ่นของเหลว 35 รอบต่อวินาที ความเร็วปั๊มลม 25 รอบต่อวินาที ในการอบแห้งแบบพ่นฝอยพบว่า หลังจากนมผงผ่านกระบวนการอบแห้งแล้ว ปริมาณบีตาแคโรทีนมีการเปลี่ยนแปลงดังแสดงในตาราง 4.5

ตาราง 4.5 การลดลงของปริมาณบีตาแคโรทีนที่เสริมในนมหลังการทำแห้ง

ปริมาณของบีตาแคโรทีนที่เติม ในน้ำมันก่อนการอบแห้ง (IU/qt)*	ปริมาณของ บีตาแคโรทีนหลังการอบแห้ง (IU/qt)	ปริมาณบีตาแคโรทีนที่ เปลี่ยนแปลงหลังการอบแห้ง (ร้อยละ)
3000	170.07	94.33
4000	219.29	94.52
5000	312.19	93.77

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

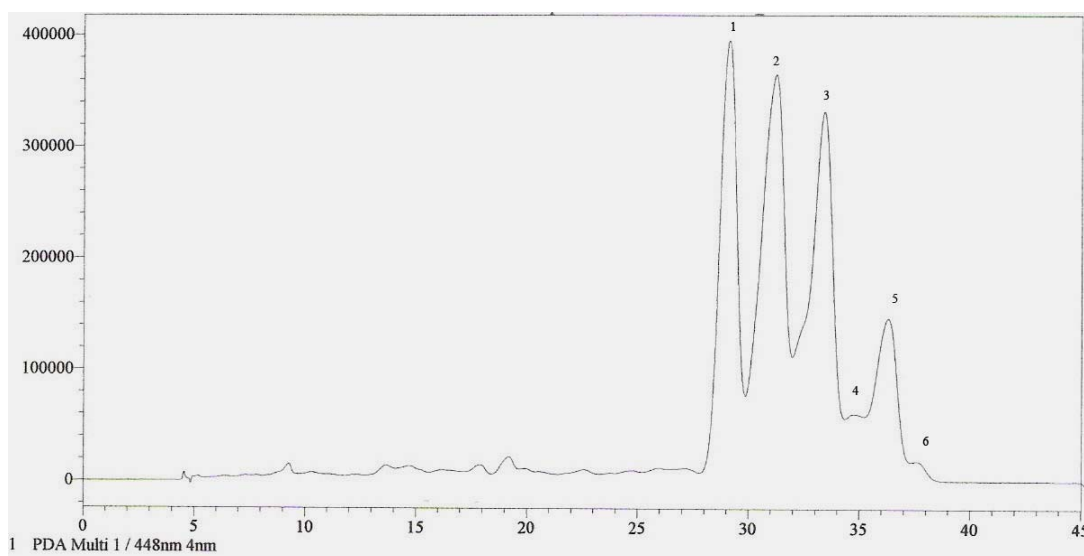
จากตาราง 4.5 จะเห็นได้ว่า เมื่อเติมบีตาแคโรทีนในปริมาณ 3000, 4000 และ 5000 IU/qt ในน้ำมันก่อนทำการอบแห้ง และเมื่อผ่านกระบวนการอบแห้งแล้ว พบว่า ปริมาณบีตาแคโรทีนลดลงเหลือ 170.07, 219.29 และ 312.19 IU/qt ตามลำดับ และเมื่อคิดปริมาณของบีตาแคโรทีนที่เปลี่ยนแปลง พบว่า มีการสูญเสียไประหว่างกระบวนการอบแห้งเฉลี่ยกว่าร้อยละ 94 ซึ่งอาจเนื่องมาจากเกิดการออกซิเดชันในขั้นตอนการอบแห้ง Karabulut *et al.* (2007) ได้รายงานว่าการทำแห้งอะพริคอต (*Prunus armenica* L.) โดยใช้แสงอาทิตย์และตู้อบลมร้อน เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการทำแห้งจะทำให้บีตาแคโรทีนลดลง เนื่องจากเกิดการออกซิเดชันและการใช้ออกซิเจนสูงร่วมด้วย โดยออกซิเจนของตู้อบลมร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส จะทำลายสี และองค์ประกอบทางโภชนาการของอะพริคอต ฉะนั้น ในการศึกษาเมื่อต้องการที่จะทำการเสริม บีตาแคโรทีนในนมที่ผ่านกระบวนการอบแห้ง จะต้องเติมบีตาแคโรทีนในปริมาณที่มากขึ้น และควรป้องกันการเกิดออกซิเดชัน ซึ่งอาจเกิดขึ้นในการอบแห้ง โดยการออกแบบเครื่องผสมน้ำมันให้เป็นระบบปิดและลดปริมาณออกซิเจนในเครื่องอบแห้ง ซึ่งเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยได้มีการออกแบบให้มีการใช้แก๊สเฉื่อย เช่น แก๊สไนโตรเจน สำหรับผลิตภัณฑ์ผงที่จะเกิดออกซิเดชันระหว่างการอบแห้ง (BETE Fog Nozzle Inc, 2005) ทั้งนี้ ปริมาณการเติมบีตาแคโรทีนจะต้องคำนึงถึงปริมาณที่กฎหมายอนุญาต โดยทางองค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา กำหนดให้มีการเสริมวิตามินในนมขาดมันเนยเมื่อนำมาละลายกลับแล้ว จะต้องมีความวิตามินเอ 2000 IU/qt (Lloyd *et al.*, 2004)

4.2 การศึกษาความคงตัวของแคโรทีนอยด์ในนมผง

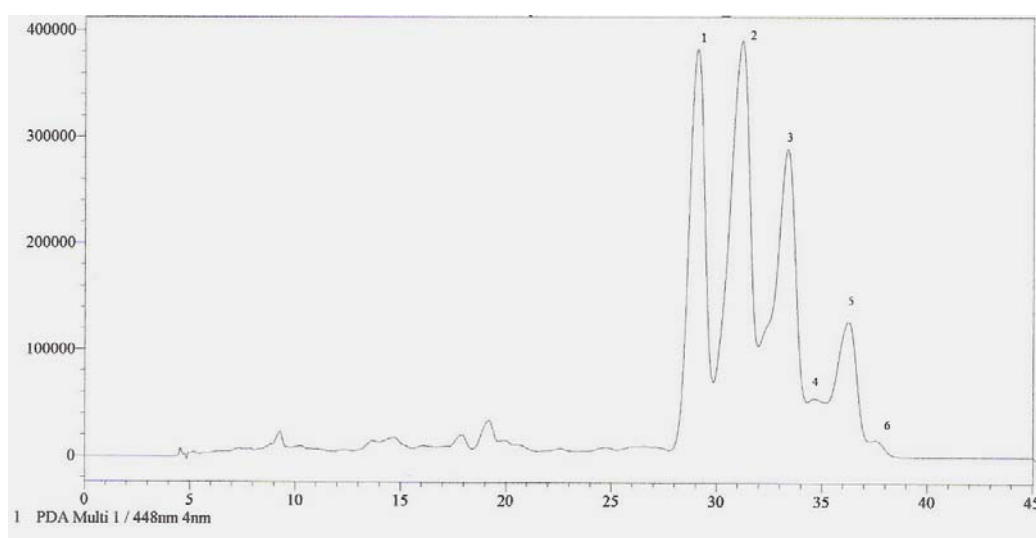
ก. การเปลี่ยนแปลงอนุพันธ์ของแคโรทีนในนมผง

อนุพันธ์ของแคโรทีนที่สกัดได้จากน้ำมันปาล์มดิบแล้วนำไปทำให้เข้มข้น ด้วยวิธีสะปอนิฟิเคชัน และเตรียมให้อยู่ในรูปของน้ำมันโดยใช้ไขมันถั่วเหลือง (ภาพ 4.2) และน้ำมันดอกทานตะวันเป็นตัวทำละลาย (ภาพ 4.3) พบว่ามีแอลฟาแคโรทีนและบีตาแคโรทีนในปริมาณสูง โดยพบบีตาแคโรทีนในน้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันดอกทานตะวันที่ใช้ละลายแคโรทีนอยด์ ในปริมาณ 39,567 และ 34,995 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำมัน หรือมีปริมาณร้อยละ 71.43 และ 71.57 ของแคโรทีนอยด์ในรูปของแอลฟาและบีตาแคโรทีน ตามลำดับ และไอโซเมอร์อยู่ในรูปของทรานส์และซิส ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Rodriguez (1996) ที่ได้รายงานว่า ในน้ำมันปาล์มดิบมีปริมาณของแอลฟาแคโรทีนและบีตาแคโรทีนอยู่สูงมาก จึงเป็นแหล่งสำคัญของโปรวิตามินเอ นอกจากนี้ยังมีรายงานของ Mortensen (2005) ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณแคโรทีนจากน้ำมันปาล์มดิบ โดยใช้เทคนิค HPLC พบว่ามี *cis-isomer* ของแอลฟาแคโรทีน บีตาแคโรทีน

และแกมมาแคโรทีนในปริมาณมากโดยแอลฟาแคโรทีนและบีตาแคโรทีนมีปริมาณมากที่สุด
จำนวนแคโรทีนอยด์ที่วิเคราะห์ได้ คือ มีปริมาณเท่ากับร้อยละ 17.9 และ 12.3 ตามลำดับ

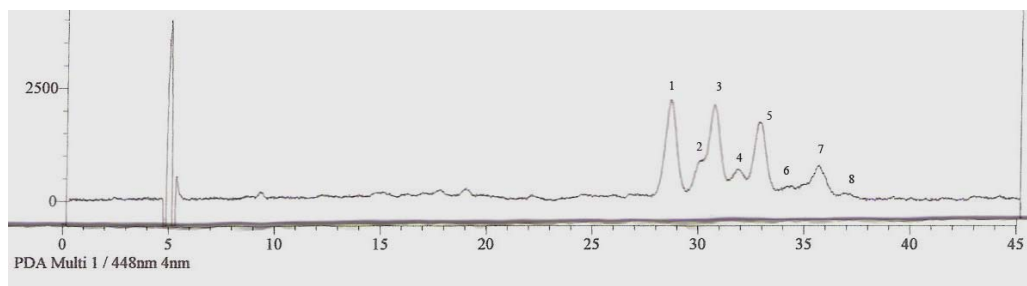


ภาพ 4.2 โครมาโตแกรมของอนุพันธ์แคโรทีนในสารสกัดแคโรทีนอยด์ที่เตรียมในรูปน้ำมันโดยใช้ น้ำมันถั่วเหลืองจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC : 1 = all-*trans*-α-carotene, 2 = all-*trans*-β-carotene, 3 = 9-*cis*-β-carotene, 4 = non-identified *cis*-α-carotene, 5 = 13-*cis*-β-carotene, 6 = 15-*cis*-β-carotene

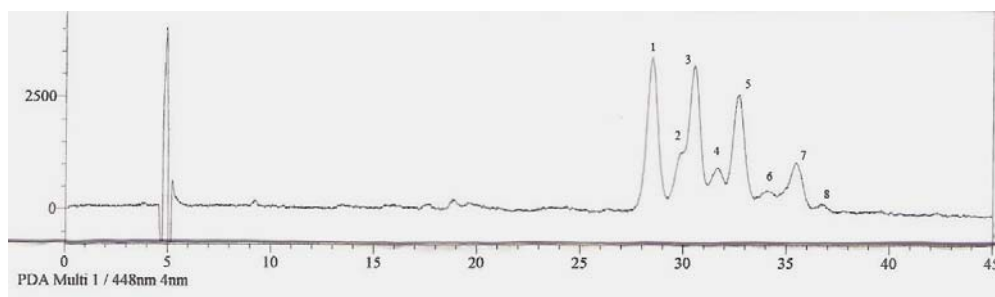


ภาพ 4.3 โครมาโตแกรมของอนุพันธ์แคโรทีนในสารสกัดแคโรทีนอยด์ที่เตรียมในรูปน้ำมันโดยใช้ น้ำมันดอกทานตะวันจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC : 1 = all-*trans*-α-carotene, 2 = all-*trans*-β-carotene, 3 = 9-*cis*-β-carotene, 4 = non-identified-*cis*-α-carotene, 5 = 13-*cis*-β-carotene, 6 = 15-*cis*-β-carotene

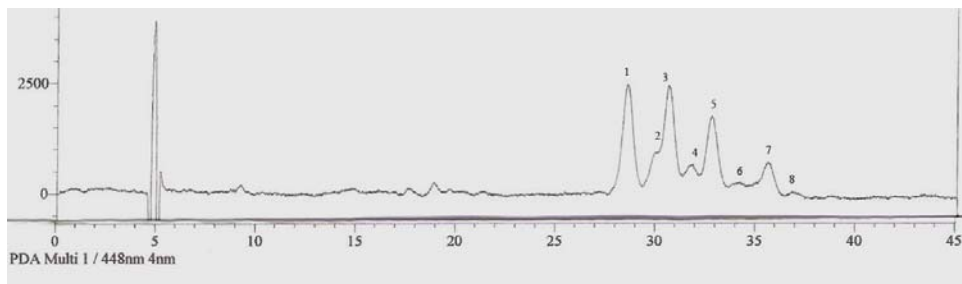
การวิเคราะห์น้ำมันงเสริมบีตาแคโรทีนเมื่อผ่านการอบแห้งแบบพ่นฝอยด้วยเทคนิค HPLC พบว่า ปริมาณแอลฟาแคโรทีนและบีตาแคโรทีนลดลง เมื่อเทียบกับปริมาณเริ่มต้นที่เตรียมในรูปแบบของน้ำมัน ดังภาพ 4.4 – 4.7



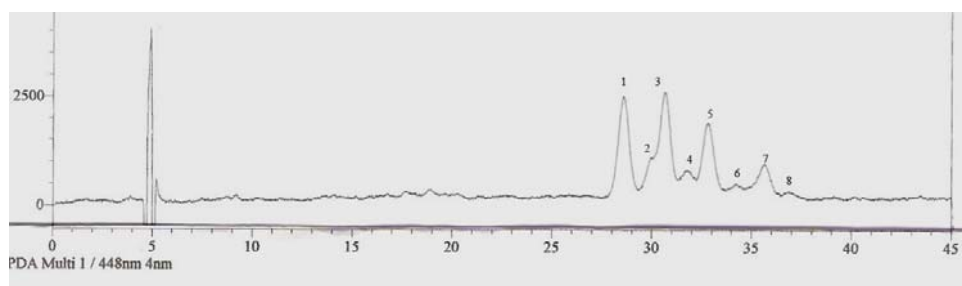
ภาพ 4.4 โครมาโตแกรมของแคโรทีนในตัวอย่างสิ่งทดลอง SB-CO หลังผ่านการอบแห้งแบบพ่นฝอยจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC : 1 = *all-trans-α-carotene*, 2 = *9-cis-α-carotene*, 3 = *all-trans-β-carotene*, 4 = *13-cis* และ *13'-cis-α-carotene*, 5 = *9-cis-β-carotene*, 6 = non-identified *cis-α-carotene*, 7 = *13-cis-β-carotene*,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



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*

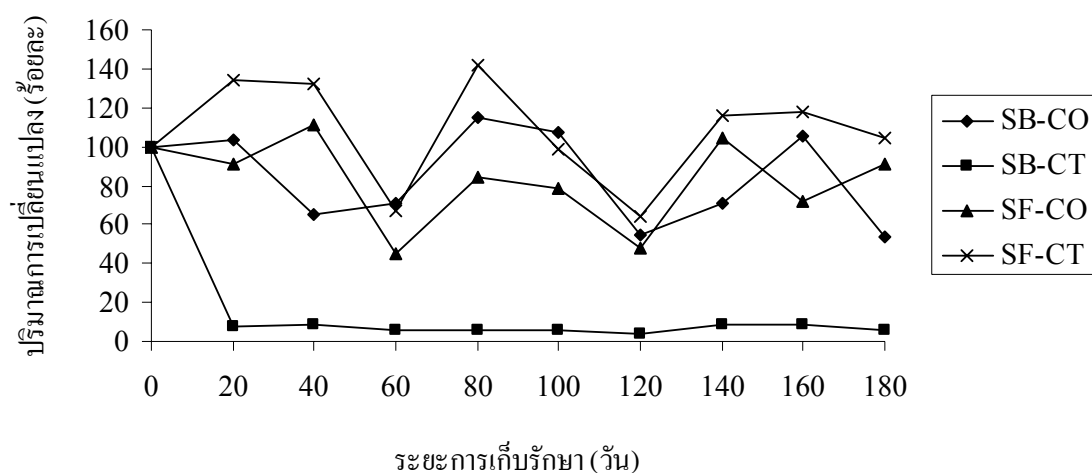


ภาพ 4.7 โครมาโตแกรมของแคโรทีนในตัวอย่างสิ่งทดลอง SF-CT หลังผ่านการอบแห้งแบบพ่นฝอยจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC : 1 = *all-trans-α-carotene*, 2 = *9-cis-α-carotene*, 3 = *all-trans-β-carotene*, 4 = *13-cis* และ *13'-cis-α-carotene*, 5 = *9-cis-β-carotene*, 6 = non-identified *cis-α-carotene*, 7 = *13-cis-β-carotene*,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

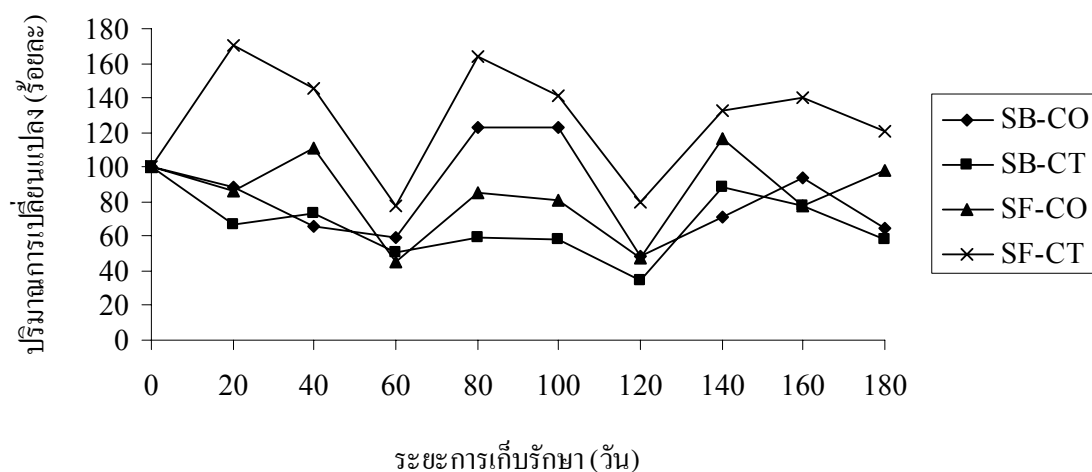
จากภาพ 4.4 – 4.7 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณบีตาแคโรทีนที่ทำการเสริมในนมผงทดลองใน ทุกสิ่งทดลอง แต่สิ่งทดลอง SB-CT ที่ใช้น้ำมันถั่วเหลืองเป็นตัวละลายแคโรทีนอยด์ และใช้สภาวะ ในการอบแห้งแบบการพ่นแบบสวนกระแสลมร้อน พบว่า หลังจากผ่านกระบวนการอบแห้งจะมี ปริมาณบีตาแคโรทีนเหลืออยู่ในปริมาณมากกว่าสิ่งทดลองอื่น และในทุกสิ่งทดลองอนุพันธ์แอลฟา แคโรทีน จะมีรูป *cis-isomer* เพิ่มขึ้นมาอีก 2 รูปแบบ *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 แสดงการเปลี่ยนแปลงอนุพันธ์ของ แคโรทีนในนมผงที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลาเก็บ รักษา 180 วัน จะเห็นว่า ทุกสิ่งทดลองมีการเปลี่ยนแปลงอนุพันธ์บีตาแคโรทีนลดลง ขณะที่อนุพันธ์

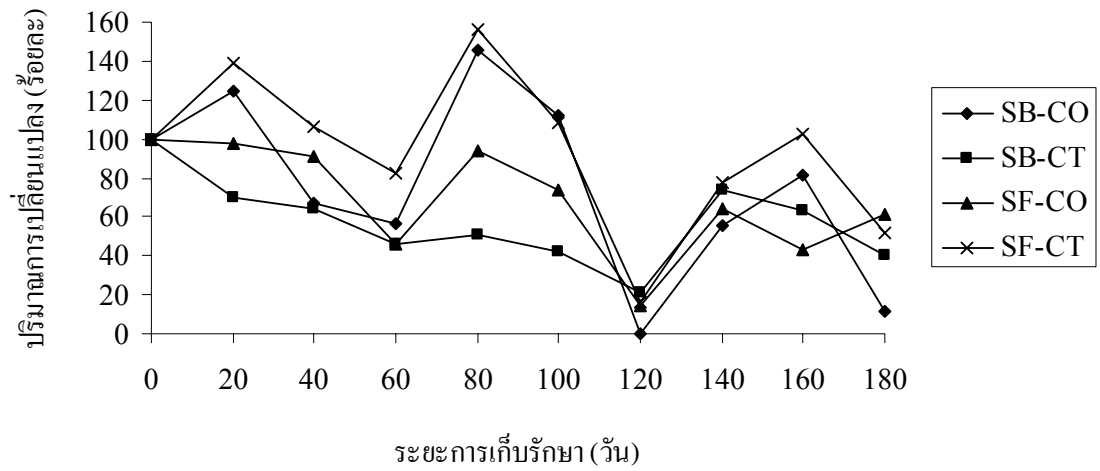
แอลฟาแคโรทีนจะลดลงแต่เปลี่ยนเป็นรูปซิสมาากขึ้น และสิ่งทดลอง SB-CT มีการเปลี่ยนแปลงของอนุพันธ์แคโรทีนเช่นเดียวกัน แต่มีความคงตัวของทุกอนุพันธ์มากที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งทดลองอื่น



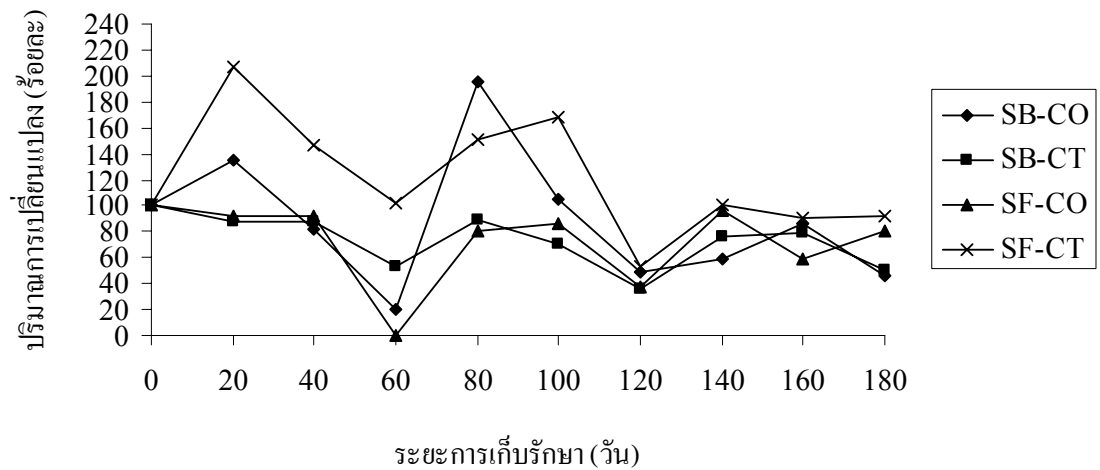
ภาพ 4.8 การเปลี่ยนแปลงของ all-trans-α-carotene ในนมผง ที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่างๆ



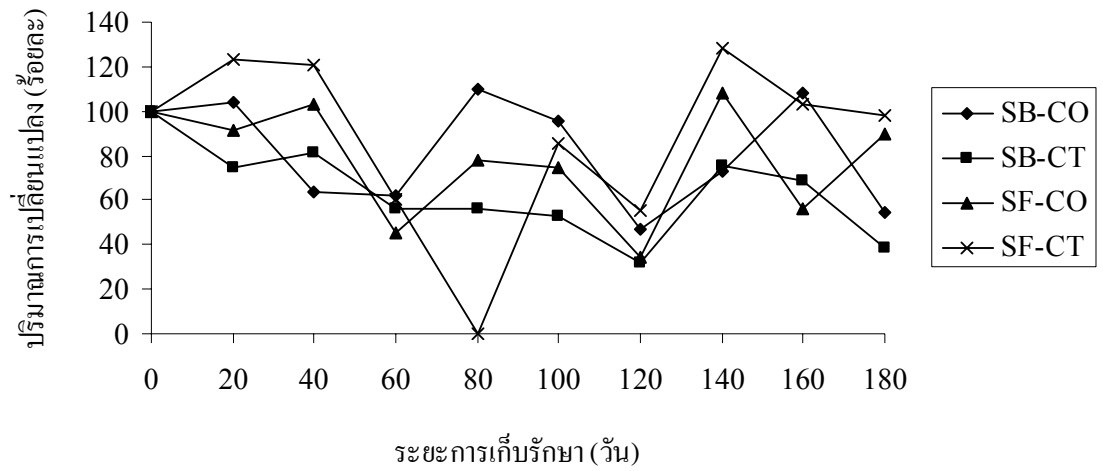
ภาพ 4.9 การเปลี่ยนแปลงของ 9-cis-α-carotene ในนมผง ที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่างๆ



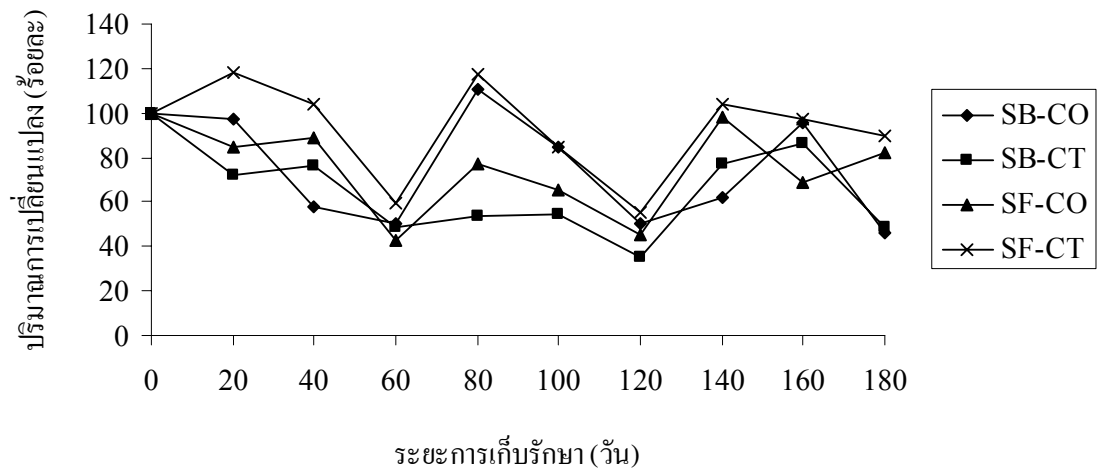
ภาพ 4.10 การเปลี่ยนแปลงของ 13-*cis* และ 13'-*cis*- α -carotene ในนมผง ที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่างๆ



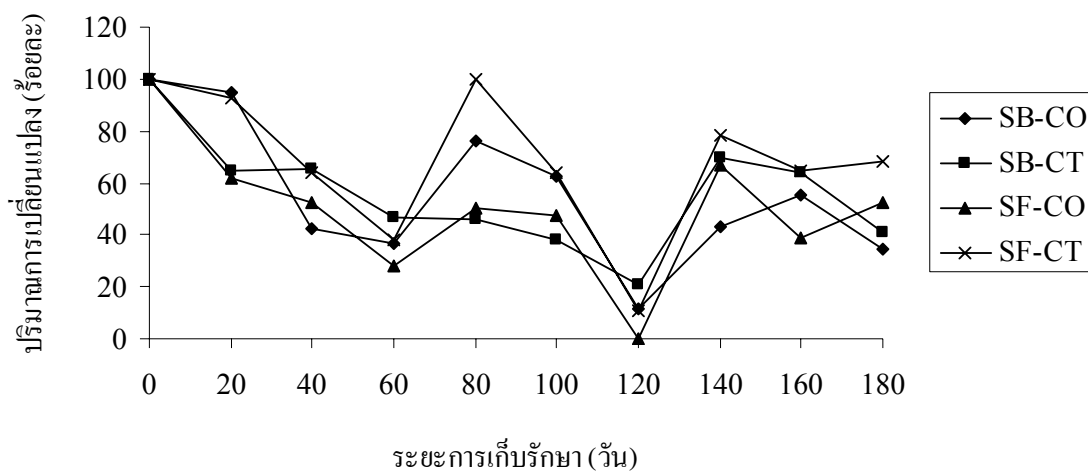
ภาพ 4.11 การเปลี่ยนแปลงของ non-identified *cis*- α -carotene ในนมผงที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่างๆ



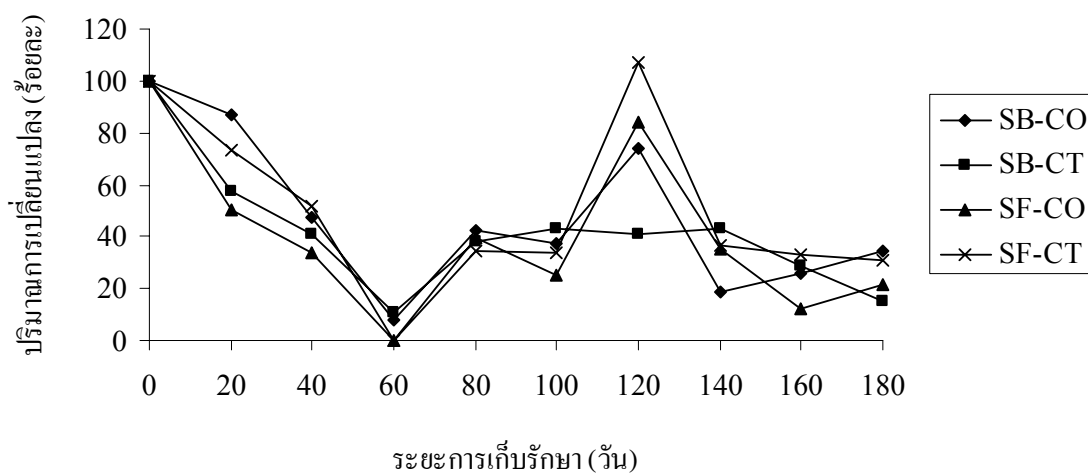
ภาพ 4.12 การเปลี่ยนแปลงของ *all-trans*- β -carotene ในนมผง ที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่างๆ



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



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

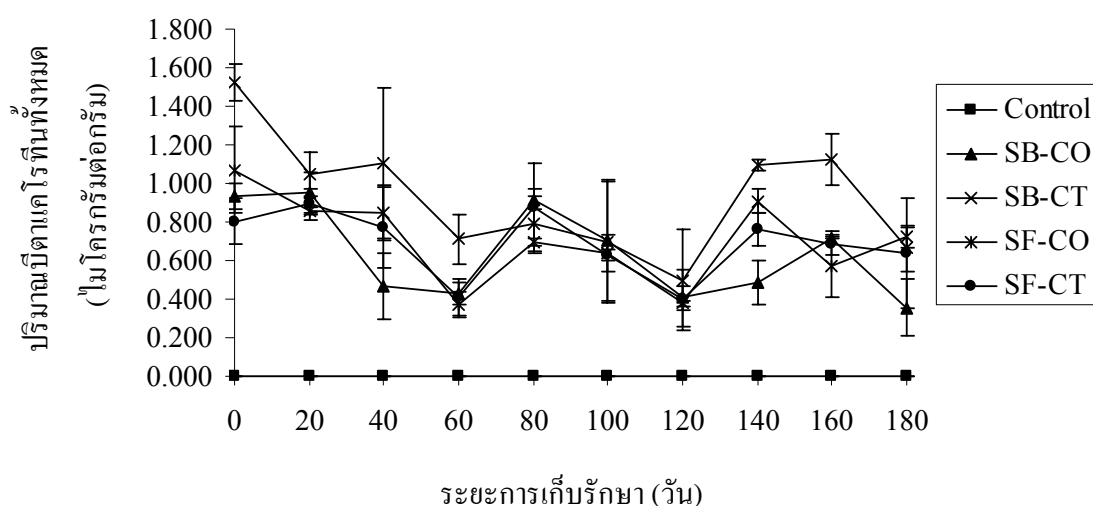


ภาพ 4.15 การเปลี่ยนแปลงของ 15-cis-β-carotene ในนมผง ที่ระยะการเก็บรักษาต่างๆ

จากการวิเคราะห์ปริมาณบีตาแคโรทีนที่เหลืออยู่ในนมผงด้วยเทคนิค HPLC (ภาพ 4.16) จะเห็นว่าปริมาณบีตาแคโรทีนในนมผงทุกสิ่งทดลอง มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา ที่นานขึ้น โดยปริมาณบีตาแคโรทีนเริ่มต้นของสิ่งทดลอง SB-CO, SB-CT, SF-CO และ SF-CT มีค่าเท่ากับ 0.934, 1.525, 1.071 และ 0.803 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และเมื่อเก็บรักษา 180 วัน พบว่า ปริมาณบีตาแคโรทีนมีค่าเท่ากับ 0.356, 0.663, 0.720 และ 0.640 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ (ผลการทดลองแสดงในภาคผนวก ก) เมื่อคิดปริมาณบีตาแคโรทีนที่ลดลงสูงสุด พบว่า ในสิ่งทดลอง SB-CO มีปริมาณบีตาแคโรทีนลดลงมากกว่าร้อยละ 60 ซึ่งการ

ลดลงของปริมาณบีตาแคโรทีนในระหว่างการเก็บรักษานี้ อาจมีสาเหตุเนื่องจากการเกิดการออกซิเดชันจากออกซิเจน และกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ทำให้เกิดการออกซิเดชันร่วม (co-oxidation) ซึ่งน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันดอกทานตะวันประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวร้อยละ 74 และ 85 โดยมวลของกรดไขมันทั้งหมด ตามลำดับ

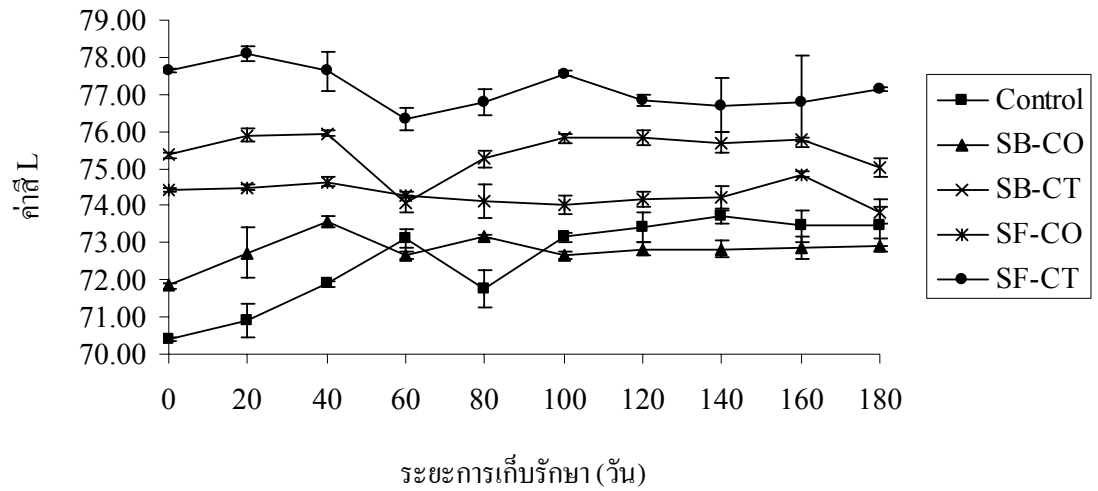
การศึกษานี้แสดงว่าบีตาแคโรทีนในน้ำมันถั่วเหลืองจะถูกออกซิไดส์ได้ง่ายกว่าเมื่อผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยซึ่งมีการสัมผัสกับอากาศและความร้อนสูง อีกสาเหตุหนึ่งอาจมีการซึมผ่านของออกซิเจนจากถุงอะลูมิเนียมพอยล์ที่ใช้บรรจุได้บางส่วนด้วย (นิธิยา, 2548; อนุตตราและบุญตา, 2540; กัณณพนต์, 2538; อนุสรณ์และสุรศักดิ์, 2534; Walstra *et al.*, 2006) อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาสภาวะในการอบแห้ง และชนิดของน้ำมันที่ใช้ทำละลายแคโรทีนยดต่อความคงตัวของบีตาแคโรทีนในนมผง ยังต้องพิจารณาสมบัติทางกายภาพและจุลชีววิทยา



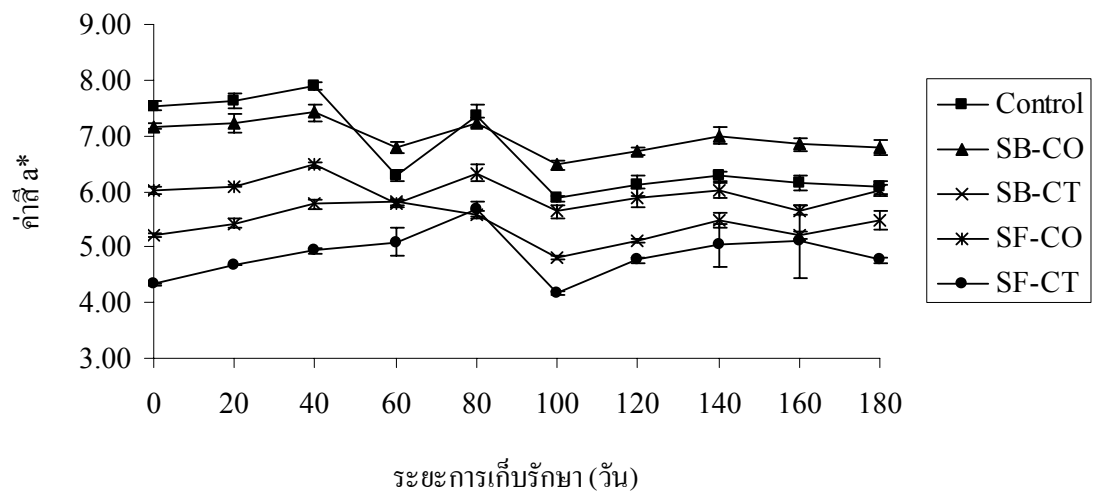
ภาพ 4.16 ปริมาณของบีตาแคโรทีนในนมผงระหว่างการเก็บรักษานาน 180 วัน

ข. การวิเคราะห์สมบัติของนมผง

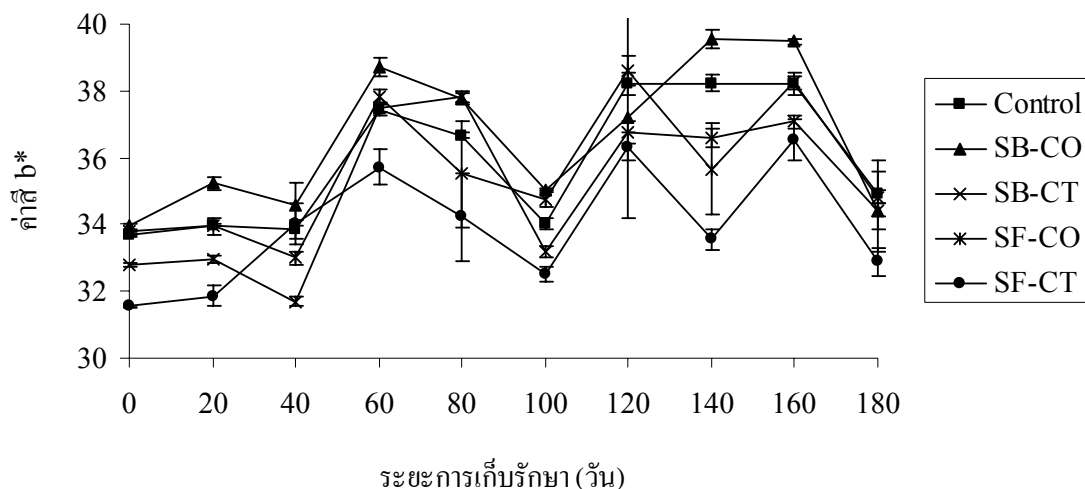
การวิเคราะห์สมบัติของนมผงเสริมบีตาแคโรทีนระหว่างการเก็บรักษานาน 180 วัน ได้ผลการวิเคราะห์ค่าสีของนมผงเสริมบีตาแคโรทีนในรูปแบบผง (ภาพ 4.17, 4.18 และ 4.19) ค่าสีของน้ำนมที่ได้จากการละลายนมผง (ภาพ 4.20, 4.21 และ 4.22) ความชื้น (ภาพ 4.23) และสมบัติด้านจุลชีววิทยา (ตาราง 4.6)



ภาพ 4.17 ค่าสี L ของนมผงเสริมบีตาแคโรทีนในรูปแบบผงระหว่างการเก็บรักษา 180 วัน



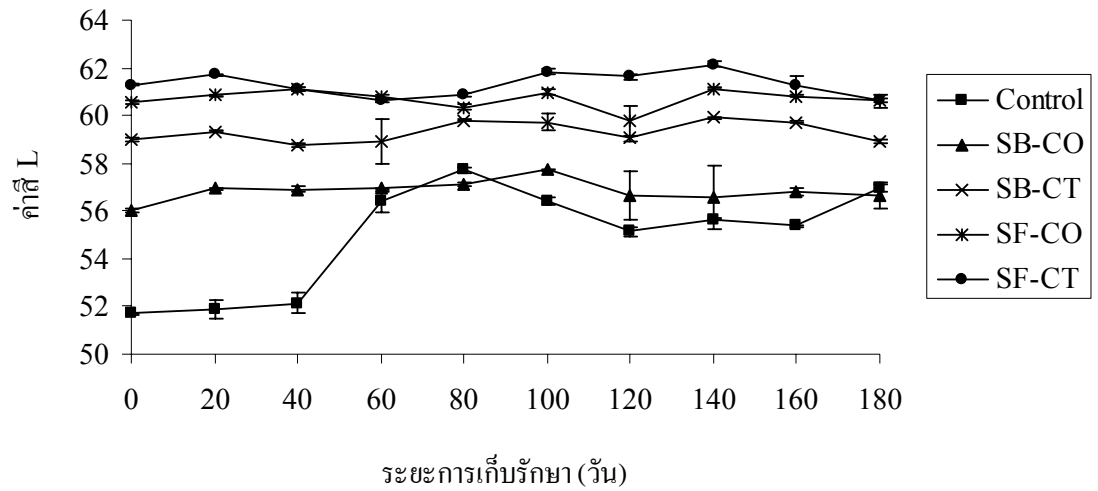
ภาพ 4.18 ค่าสี a* ของนมผงเสริมบีตาแคโรทีนในรูปแบบผงระหว่างการเก็บรักษา 180 วัน



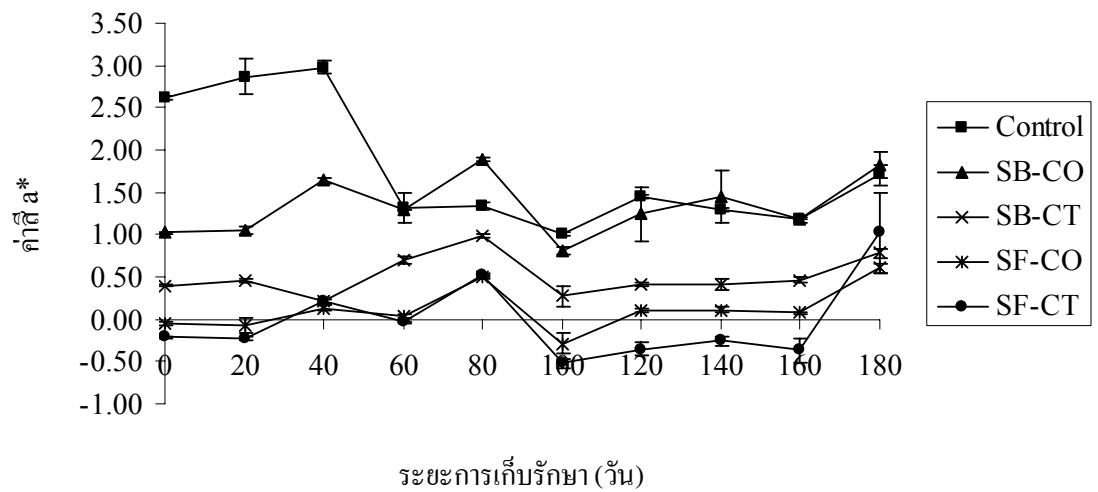
ภาพ 4.19 ค่าสี b* ของนมผงเสริมบีตาแคโรทีนในรูปแบบผงระหว่างการเก็บรักษา 180 วัน

ผลการวิเคราะห์ค่าสี L, a* และ b* ของนมผงเสริมบีตาแคโรทีนในรูปแบบผงระหว่างการเก็บรักษา 180 วัน พบว่า ค่าสี L ในนมผงเสริมบีตาแคโรทีนของทุกสิ่งทดลองมีค่าความสว่างและค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้น ส่วนค่าสีแดงลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจมีสาเหตุจากการสูญเสียบีตาแคโรทีน หรือการเปลี่ยนรูปของซิสไอโซเมอร์ (cis-isomers) จึงทำให้สีของอาหารจางลง (Tang and Chen, 2000)

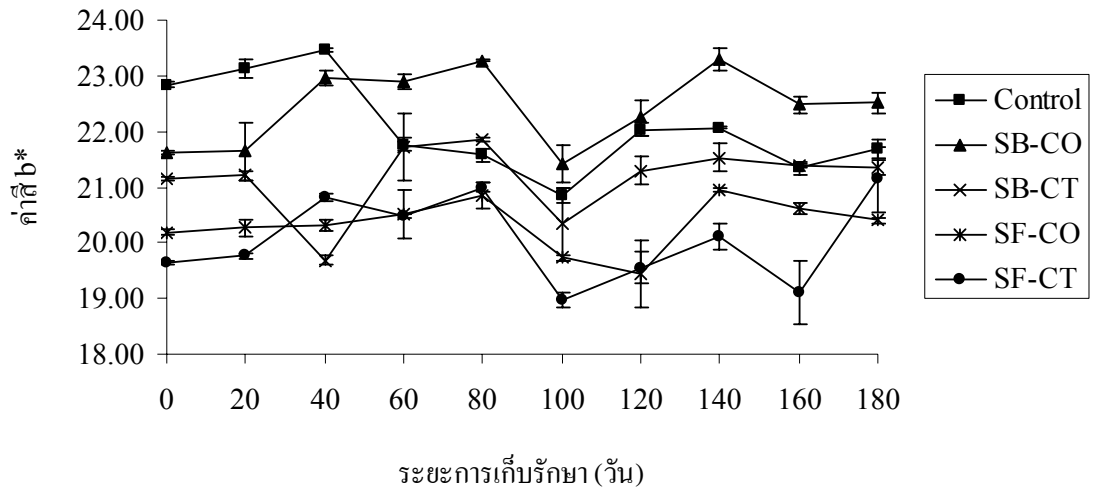
ส่วนค่าสี C* (chroma) เป็นค่าที่บอกถึงความเข้มของสีที่ปรากฏ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0 (มืด) ถึง 60 (สว่าง) ได้จากการนำค่าสี a* และ b* มาคำนวณตามสูตร $C^* = \text{SQRT}(a^{*2} + b^{*2})$ และค่าสี h* (hue angle) เป็นค่าที่อยู่ในรูปองศาของวงกลม บอกถึงสีที่แท้จริงที่ปรากฏให้เห็น โดยสีในแกนหลักได้แก่ 0° สีแดง 90° สีเหลือง 180° สีเขียว และ 270° สีม่วง ค่าคำนวณได้จากสูตร $h^* = \arctan(b^*/a^*)$ (Karabulut *et al.*, 2007) จากผลการทดลองพบว่า นมผงเสริมบีตาแคโรทีนในรูปแบบของนมผงมีค่า 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 ของน้ำมันเสริมบีตาแคโรทีนที่ได้จากการละลายนมผงตลอดการเก็บรักษา

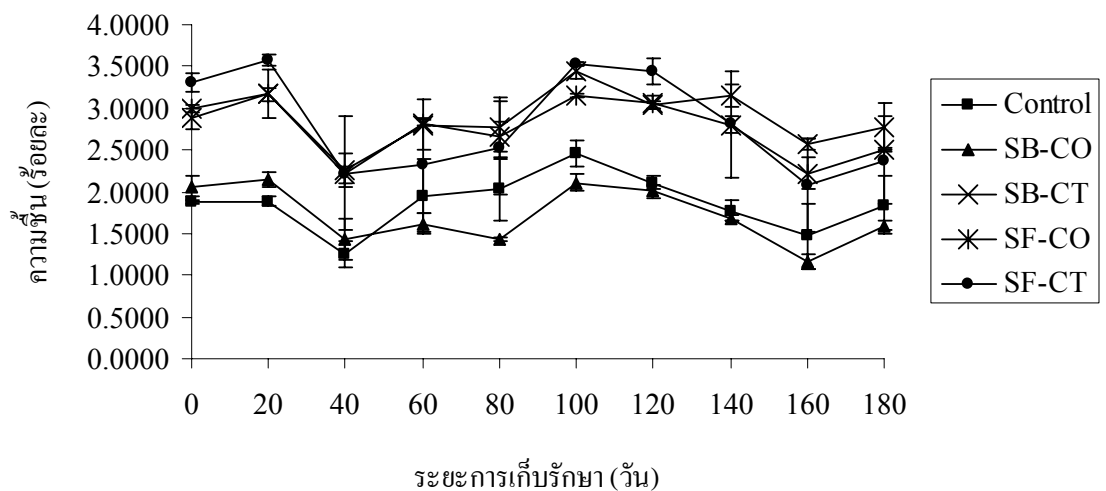


ภาพ 4.21 ค่าสี a* ของน้ำมันเสริมบีตาแคโรทีนที่ได้จากการละลายนมผงตลอดการเก็บรักษา



ภาพ 4.22 ค่าสี b^* ของน้ำมันเสริมบีตาแคโรทีนที่ได้จากการละลายนมผงตลอดการเก็บรักษา

ผลการวิเคราะห์ค่าสี L , a^* และ b^* ของน้ำมันเสริมบีตาแคโรทีนที่ได้จากการละลายนมผงตลอดการเก็บรักษา พบว่า ในแต่ละสิ่งทดลองมีค่าความสว่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน ขณะที่ค่าสีแดงและค่าสีเหลืองมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่มากขึ้น และจะสังเกตได้ว่า ค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองของน้ำมันเสริมบีตาแคโรทีนที่ได้จากการละลายจะมีค่าน้อยกว่าค่าของนมผงเสริมบีตาแคโรทีนในรูปของนมผง อาจเนื่องจากการนำนมผงมาละลายนั้น มีเพียงของแข็งบางส่วนที่สามารถละลายน้ำได้ ส่วนบีตาแคโรทีนเป็นสารที่ละลายในน้ำมัน ทำให้ค่าสีที่ได้จึงแตกต่างกัน



ภาพ 4.23 ปริมาณความเข้มข้นของนมผงเสริมบีตาแคโรทีนระหว่างการเก็บรักษา 180 วัน

จากภาพ 4.23 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นในนมผงเสริมบีตาแคโรทีนระหว่างการเก็บรักษา 180 วัน พบว่า ในทุกสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ปริมาณความชื้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาเมื่อเทียบกับปริมาณเริ่มต้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการเก็บรักษานมผงในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์เป็นเวลานาน ทำให้แก๊สออกซิเจนมีโอกาสซึมผ่านนมผงจึงดูดความชื้นจากภายนอกเข้าไป ซึ่งโดยปกติแล้วในทางอุตสาหกรรมจะมีการเก็บรักษานมผงด้วยวิธีการบรรจุใส่กระป๋องที่มีฝาปิดสนิทและเติมแก๊สไนโตรเจนเพื่อป้องกันการดูดความชื้นของนมผงและป้องกันการเกิดออกซิเดชัน (Onwulata, 2005)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของนมผงเสริมบีตาแคโรทีนตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ตาราง 4.6) เห็นได้ว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นมีการตรวจพบปริมาณจุลินทรีย์ที่ลดลง ทั้งนี้ ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขได้กำหนดมาตรฐานการตรวจพบแบคทีเรียได้ไม่เกิน 50,000 ในนมผง 1 กรัม และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนดจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในนมผง 1 กรัม ไม่เกิน 100,000 โคโลนี (มอก.391-2524, 2545) จากข้อมูลที่ได้แสดงว่านมผงทุกสิ่งทดลองมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ทั้งนี้การศึกษานี้ไม่ได้ตรวจเชื้อยีสต์และรา เนื่องจากเก็บรักษานมผงในสภาวะสุญญากาศ ซึ่งไม่เอื้อต่อการเจริญของยีสต์และรา

ตาราง 4.6 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนีต่อกรัม) ของนมผงเสริมบีตาแคโรทีนระหว่างการเก็บรักษา 180 วัน

สิ่งทดลอง	ระยะการเก็บรักษา (วัน)									
	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
control	7.9×10^2	3.3×10^3	1.6×10^3	8.8×10^2	< 250	9.4×10^2	1.29×10^3	1.13×10^3	1.60×10^3	1.19×10^3
SB-CO	1.7×10^2	5.1×10^2	2.5×10^2	< 250	< 250	3.4×10^2	1.95×10^2	< 250	< 250	< 250
SB-CT	1.2×10^3	< 250	< 250	< 250	< 250	< 250	< 250	4.78×10^2	< 250	< 250
SF-CO	< 250	2.6×10^2	3.4×10^2	< 250	< 250	< 250	< 250	< 250	< 250	< 250
SF-CT	< 250	1.8×10^2	< 250	< 250	< 250	< 250	< 250	3.04×10^2	< 250	< 250

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

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 ± 1.39	5.96 ^a ± 1.63	5.98 ^a ± 1.84	6.36 ^a ± 1.56
นมผงควบคุม	6.02 ^b ± 1.76	6.58 ^a ± 1.47	5.76 ^a ± 1.80	6.10 ^a ± 1.56
นมผงเสริมบีตาแคโรทีน	5.00 ^c ± 2.13	6.02 ^a ± 1.80	4.06 ^b ± 1.98	4.80 ^b ± 1.74

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

นมผงควบคุม = นมผงผ่านกระบวนการอบแห้งที่ไม่ได้เติมบีตาแคโรทีน

การยอมรับในนมผงเสริมปีตาแคโรทีนของคุณลักษณะด้านสี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.00 ซึ่งผู้ทดสอบไม่สามารถบอกได้ว่าชอบหรือไม่ชอบในผลิตภัณฑ์ ขณะที่ให้คะแนนความชอบเล็กน้อยในด้านกลิ่น แต่ไม่ชอบเล็กน้อยในคุณลักษณะของรสชาติ และการยอมรับรวม ทั้งนี้อาจเนื่องจากเมื่อทดสอบทางด้านรสชาติแล้วผู้บริโภคจะรับรู้กลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ได้ชัดเจนกว่าการดมกลิ่นจึงทำให้ผู้บริโภครับรู้กลิ่นรสของน้ำมันถั่วเหลืองที่ใช้เป็นตัวละลายได้มากขึ้น ซึ่งน้ำมันถั่วเหลืองจะเกิดออกซิเดชันได้ง่ายเมื่อสัมผัสกับอากาศและความร้อนสูง (นิธิยา, 2548) จึงเกิดกลิ่นที่ผู้บริโภคมีความชอบน้อยลงเมื่อทำการประเมินด้านรสชาติ นอกจากนี้ การที่ปีตาแคโรทีนถูกทำลายจะทำให้คุณค่าทางโภชนาการของวิตามินเอและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระลดลง การเกิดออกซิเดชันของปีตาแคโรทีนเป็นสาเหตุทำให้สูญเสียรสชาติ และลดคุณลักษณะด้านสี ซึ่งทำให้ผู้บริโภคยอมรับในผลิตภัณฑ์น้อย หรือไม่ยอมรับเลย (Jia *et al.*, 2007)

จากผลการศึกษาเรื่องสภาวะในการอบแห้ง ชนิดของน้ำมันที่ใช้ละลายแคโรทีนอยด์ ความคงตัวของปีตาแคโรทีน สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางจุลชีววิทยา ตลอดจนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำมันเสริมปีตาแคโรทีนที่อบแห้งด้วยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้ง คือ ใช้อุณหภูมิลมร้อนเข้า 175 องศาเซลเซียส ใช้หัวฉีดพ่นแรงดันสูงเบอร์ 1.5 ที่ความดันปั๊มของเหลว 15 บาร์ ที่ความเร็วในการพ่นของเหลว 35 รอบต่อวินาที ความเร็วปั๊มลม 25 รอบต่อวินาที ใช้ทิศทางการพ่นแบบสวนกระแสลมร้อน และเลือกใช้น้ำมันถั่วเหลืองเป็นตัวละลายแคโรทีนอยด์ ซึ่งพบว่าปริมาณปีตาแคโรทีนและอนุพันธ์แคโรทีนมีความคงตัวมากที่สุด ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 180 วัน มีค่าความสว่าง ค่าสีแดง ค่าสีเหลือง (L , a^* , b^*) และปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดลดลง ทั้งนี้การยอมรับโดยรวมของผู้ทดสอบชิมต่อผลิตภัณฑ์อยู่ในระดับไม่ชอบเล็กน้อย และมีความชอบในคุณลักษณะด้านกลิ่นไม่แตกต่างกับนมผงจากท้องตลาด ($p > 0.05$)

เอกสารอ้างอิง

- กรมอนามัย. 2542. “แนวทางการควบคุมและป้องกันโรคขาดวิตามินเอด้วยมาตรการเสริมยาเม็ดวิตามินเอ เพื่อลดความเสี่ยงและความรุนแรงของการเจ็บป่วยด้วยโรคติดเชื้อในประชากรกลุ่มเสี่ยงของประเทศไทย”. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.siamhealth.net/Health/good_health_living/vitamin_and_mineral/vita_a_def.htm (5 กรกฎาคม 2548).
- กรมอนามัย. 2539. “สถานการณ์โรคขาดวิตามินเอในประเทศไทย”. *สถานการณ์สุขภาพและสิ่งแวดล้อมด้านโภชนาการ* ตอนที่ 2. 1(3) : สิงหาคม.
- กระทรวงอุตสาหกรรม. 2545. *มาตรฐานอุตสาหกรรมนมผง (มอก. 391-2524)*. พิมพ์เพิ่มเติมครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.
- กระทรวงอุตสาหกรรม. 2543. *มาตรฐานอุตสาหกรรมนมแปลงไขมัน (มอก.190-2519)*. พิมพ์เพิ่มเติมครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.
- กองโภชนาการ. 2548. “สถานการณ์การขาดวิตามินเอในประเทศไทย”. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.siamhealth.net/Health/good_health_living/vitamin_and_mineral/vita_a_def.htm (5 กรกฎาคม 2548).
- กองโภชนาการ. 2543. “การสำรวจภาวะขาดวิตามินเอในประชากรกลุ่มเสี่ยงของพื้นที่อำเภออมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่”. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.siamhealth.net/Health/good_health_living/vitamin_and_mineral/vita_a_def.htm (5 กรกฎาคม 2548).
- กัณณพนธ์ โลห์เพชรรัตน์. 2538. “การสกัดเบต้าแคโรทีนจากน้ำมันปาล์ม”. *โครงการการเรียนรู้การสอนเพื่อส่งเสริมประสบการณ์*. คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 117 หน้า.
- ใกล้หมอ. 2537. “วิตามินเอกับสุขภาพของคนไทย”. *วารสารใกล้หมอ*, 18(11) : 32-40.
- ไกรสิทธิ์ ดันดิสิรินทร์ และพัทธนิ วิจิจะกุล. 2525. “โภชนาการและภาวะสังคม : ปัญหาโภชนาการในประเทศไทย”, 78-81.

- ณัฐิกา ศิลาฉาย. 2545. “การศึกษาภาวะโภชนาการของหญิงให้นมบุตรชาวกะเหรี่ยงและคุณภาพนมแม่ในพื้นที่ที่มีภาวะขาดวิตามินเอ”. กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.
- นิธิยา รัตนাপนนท์. 2548. วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์, 256 หน้า.
- นิธิยา รัตนাপนนท์. 2545. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์, 504 หน้า.
- พัชรินทร์ ระวียัน, สรศักดิ์ เหลียวไชยพันธุ์, ดวงสมร ลิ้มบัติ และประมวล ศรีกาหลง. 2548. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการการสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบด้วยตัวทำละลายที่อุณหภูมิต่ำเพื่อใช้เป็นสีผสมอาหาร. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- ยุวดี จอมพิทักษ์. 2542. เบต้าแคโรทีน: เสริมความสมบูรณ์แข็งแรงแห่งสารอาหารที่มีเกราะป้องกันมะเร็ง. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์น้ำฝน, 3-23.
- ลักขณา รุจนะไกรกานต์ และนิธิยา รัตนูปนนท์. 2544. หลักการวิเคราะห์อาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 6. เชียงใหม่ : ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ลิลิต อินทนา และคณะ. 2544. “การพัฒนาคุณภาพนมโรงเรียนในพื้นที่จังหวัดอุบลราชธานี”. วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 3 : 248-260.
- วรรณา ตั้งเจริญชัย และวิบูลย์ศักดิ์ กาวิละ. 2531. นมและผลิตภัณฑ์นม. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.
- ศิริวรรณ สุทธิจิต. 2527. วิตามิน อาหาร ยาและเครื่องสำอาง. เชียงใหม่ : ภาควิชาเภสัชเวช คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สมชาย คำรัตน์. 2529. ปัญหาพิเศษเรื่องผลิตภัณฑ์นมผง. เชียงใหม่ : ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สมทรง เลขะกุล. 2543. ชีวเคมีของวิตามิน. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สุภาวนิชการพิมพ์, 14-42.
- สมลักษณ์ นิ่มสกุล และคณะ. 2534. รายงานการวิจัยเรื่อง การวัดภาวะวิตามินเอในเด็กก่อนวัย

เรียน : เปรียบเทียบการสำรวจอาหารบริโภคที่มีวิตามินเอกับการตรวจระดับวิตามินเอใน
น้ำเหลือง. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์สุขภาพ ภาควิชาชีวเคมีและภาควิชาจุลชีววิทยา
คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

เสาวลักษณ์ ภูมิวนะ. 2539. นมและผลิตภัณฑ์นม (แปลจาก *milk and milk products in human nutrition by S.K.Kon*). พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

แสงโสม สีนะวัฒน์. “สถานการณ์โรคขาดวิตามินเอในประเทศไทย”. [ระบบออนไลน์] .
แหล่งที่มา <http://www.anamai.moph.go.th/factsheet> (7 มีนาคม 2548).

องค์การคาทอลิกคริสต์เชอรัวิสแห่งประเทศไทย. 2534. โครงการควบคุมภาวะทุพโภชนาการ
โดยผ่านทางการควบคุมการขาดสารอาหารวิตามินเอในเด็กนักเรียนวัยประถมศึกษา
จังหวัดหนองคายด้วยวิธีการใช้สื่อการสอนและการเกษตรแบบผสมผสาน. กรุงเทพฯ :
ดีไซร์.

องค์การอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข. 2542. บัญชียาหลักแห่งชาติ. [ระบบออนไลน์].
<http://www.fda.moph.go.th/edl/joke.11.doc> (28 เมษายน 2549).

อนุตตรา นวมณอม และบุญตา หะโยธิน. 2540. “การสกัดเบต้า-แคโรทีนจากน้ำมันปาล์มและ
การทำบริสุทธิ์”. โครงการการเรียนการสอนเพื่อส่งเสริมประสบการณ์. คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 1-6.

อนุสรณ์ พมลพันธุ์ และสุรศักดิ์ เสือส่วย. 2534. “การผลิตสีผสมอาหารจากผลลูกตาลสุก”.
โครงการการเรียนการสอนเพื่อส่งเสริมประสบการณ์. คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, 3-21.

อิสรพงษ์ พงษ์ศิริกุล. 2545. การวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับ
อุตสาหกรรมเกษตร. พิมพ์ครั้งที่ 3. เชียงใหม่ : ภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์
คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

เอกชัย พลฤกษ์อำไพ. 2548. คู่มือปาล์มน้ำมัน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : แพ้ท-แพลัน พับลิชชิ่ง.

- A.O.A.C. 2002. *Officail Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL*, 17th Edition, Agricultural chemicals ; Contaminations ; Drugs, chapter 17, pp.17-22.
- A.O.A.C. 2000. *Officail Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL*, 17th Edition, Dairy product, chapter 33, pp. 7,61 ; chapter 45, pp.5-6.
- BETE Fog Nozzle, Inc. 2005. *BETE[®] spray dry manual*. USA : Greenfield.
- Britton, G. 1996. Carotenoids. In *Natural Food Colorant*. 2nd ed. London : Chapman & Hall, pp.197-243.
- Favaro, R. M. and Oliveira, J. E. 1999. "Enrichment of the diet with synthetic and natural sources of provitamin A". *Arch Laminoam Nutr.*, Sep : 49(3 Suppl 1), pp.34S-37S.
- Fox, B.A. and Cameron, A.G.. 1995. *Food science, Nutrition and health*. 6th ed. London : Edward Arnold, pp.239-243.
- Hamilton, R.J. 1995. *Developments in oils and fats*. 1st ed. Blackie Academic and Professional : Chapman and Hall.
- Jia, M., Kim, H.J. and Min, D.B. 2007. Effect of soybean oil and oxidized soybean oil on the stability of β -carotene. *Food Chemistry*., 103 : 695-700.
- Johnson, R.K., Anantheswaran, R.C. and Law, S.E. 1996. Electrostatic-enhanced atomization for spray drying of milk. *Lebensm-wiss u-Technology*., 29 : 71-81.
- Karabulut, I., Topcu, A., Duran, A., Turan, S. and Ozturk, B. 2007. Effect of hot air drying and sun drying on color values and β -carotene content of apricot (*Prunus armenica* L.). *Lebensm-wiss u-Technology*., 40:753-758.

- Karen, S. 2005. "Clinical perspective vitamin A update". *Vitamin Research Products.*, Carson City, NV. [Online]. Available <http://www.vrp.com/art/719.asp?c=1154901810765&k=/det/3120.asp&m=/&p=no&s=0> (March 7, 2005).
- Kimura, M., Rodriguez A.DB. and Godoy, H.T. 1990. Assessment of The Saponification Step in The Quantitative Determination of Carotenoids and Provitamins A. *Journal of Food Chemistry.*, 33 : 985-992.
- Kon, S.K. 1972. *Milk and milk products in human nutrition*. 2nd ed. Italy : Food and agriculture organization of the united nations.
- Kristensen, D., Hansen, E., Arndal, A. and Trinderup, R.A. 2001. Influence of light and temperature on the colour and oxidative stability of processed cheese. *International Dairy Journal.*, 11:837-843.
- Lloyd, M.A., Zou, J., Farnsworth, H., Ogden, L.V. and Pike, O.A. 2004. Quality at time of purchase of dried milk products commercially packaged in reduced oxygen atmosphere. *Journal of Dairy Science.*, 87:2337-2343.
- Macrac, R. 1988. *HPLC in food analysis*. Cambridge university press, Great Britain.
- Manorama, R and Rukmini, C. 1992. Crude palm oil as a source of beta-carotene. *Nutrition research*. volume 12, suulement 1 : S223-S232. [Online]. Available <http://www.science.com> (May 26, 2006).
- Micronutrient Deficiency Infirmination System. 1992. Global prevalence of vitamin A deficiency. *World Health Organization*. MDIS Working Paper #2. Switzerland.
- Mortensen, S. 2005. Analysis of a complex mixture of carotenes from oil palm (*Elaeis guineensis*) fruit extract. *Food Research International.*, 38 : 847-853.

- Murphy, A. 1995. "History of technology development for Vitamin A fortification of food in developing countries". [Online]. Available <http://www.fao.org/docrep/W2840E/w2840e0c.htm> (March 7, 2005).
- Murphy, S.C., Whited, L.J., Rosenberry, L.C., Hammond, B.H., Bandler, D.K. and Boor, K.J. 2001. Fluid Milk Vitamin Fortification Compliance in New York State. *Journal of Dairy Science.*, 84 : 2813–2820.
- Nestel, P. and Nalubola, R. 2003. Fortification of foods with vitamin A is a safe intervention. USA : ILSI human nutrition institute. [Online]. Available [http:// hni.ilsa.org/NR/rdonlyres/9D33802E-E233-4475-8B03-6916F591A734/0/microfacts.pdf](http://hni.ilsa.org/NR/rdonlyres/9D33802E-E233-4475-8B03-6916F591A734/0/microfacts.pdf) (March 7, 2005).
- Nutrition Division. 1996. Formative evaluation of vitamin A deficiency control among preschool Children in Five Provinces of The Southernmost Thailand. *Nutrition Division.*, Department of Health, Ministry of Public Health and Institute of Nutrition, Mahidol University, Thailand.
- Nutrition Division. 1995. Vitamin A deficiency among preschool children in five Southernmost Provinces of Thailand. *Nutrition Division.*, Department of Health, Ministry of Public Health and Institute of Nutrition, Mahidol University, Thailand.
- Nutrition Division. 1991. Report on the prevalence of inadequate vitamin A nutriture in preschool children of North and Northeast Thailand. *Nutrition Division.*, Ministry of Public Health and Institute of Nutrition, Mahidol University, Thailand.
- Onwulata, C. 2005. *Encapsulated and powders foods*. USA : Taylor & Francis Group.
- Ottaway, P.B. 1993. *The technology of vitamins in food*. 1st ed. England : Hartnolls Ltd., pp. 128-132.

- Pérez-Gálvez, A., Jarén-Galán, M. and Mínguez-Mosquera, M.I. 2005. Impact of the increased thermal processing on retinol equivalent values of paprika oleoresins. *Journal of Food Engineering.*, 71 : 379-385.
- Poolpinyo, T. 1992. Xerophthalmia in pediatric patient of Yala Hospital. *Medical Journal*. 12th Region, 3 : 19-29.
- Rodriguez, A.BD. 1996a. Assessment of the provitamin A contents of foods-the brazilian experience. *Food Composition and Analysis.*, 9:196-230.
- Schoefs, B. 2002. Chlorophyll and carotenoids analysis in food products. Properties of the pigment and methods of analysis. *Trends in Food Science & Technology.*, 13:361-371.
- Tammy, H., Hansen, A.P. and Rushing, J.E. 1996. Procedures used by North Carolina dairies for vitamin A and D fortification of milk. *Journal of Dairy Science.*, 79 : 329-333.
- Tang, Y.C. and Chen, B.H. 2000. Pigment change of freeze-dried carotenoid powder during storage. *Food Chemistry.*, 69 : 11-17.
- Tay, B.Y.P. and Choo, Y.M. 2000. Practical guide to establishing palm carotenoids profiles by HPLC with three dimensional diode array detector. *Palm oil development.*, 33 : 13-17.
- Walstra, P., Wouters, J.T.M. and Geurts, T.J. 2006. *Dairy Science and Technology*. 2nd ed. USA : Taylor&Francis Group.
- Wikimedia Foundation, Inc. 2008. Wikipedia®. United State. [Online]. Available <http://en.wikipedia.org/wiki/Lycopene> (March 8, 2008).
- Wikimedia Foundation, Inc. 2008. Wikipedia®. United State. [Online]. Available <http://en.wikipedia.org/wiki/Beta-carotene> (February 14, 2008).

Wikimedia Foundation, Inc. 2008. Wikipedia®. United State. [Online]. Available <http://en.wikipedia.org/wiki/Retinal> (January 4, 2008).

Wikimedia Foundation, Inc. 2008. Wikipedia®. United State. [Online]. Available <http://en.wikipedia.org/wiki/Alpha-carotene> (January 4, 2008).

World Health Organization. 1997. Vitamin A supplements: a guide to their use in the treatment and prevention of vitamin A deficiency and xerophthalmia. 2nd ed. Geneva, Switzerland.

World Health Organization. 1995. Indicators for assessing vitamin A deficiency and their application in monitoring and evaluating intervention programs. Geneva.

Yap, S.C., Choo, Y.M., Ooi, C.K., Ong, A.S.H. and Goh, S.H. 1991. Quantitative analysis of carotene in the oil from different palm species. *Elaeis.*, 3:369-378.

Zeb, A. and Mehmood, S. 2004. Carotenoids contents from various sources and their potential health applications. *Pakistan Journal of Nutrition*, 3(3) : 199-204.

ภาคผนวก ก
ตารางผลการทดลอง

ตาราง ก-1 การเปลี่ยนแปลงอนุพันธ์ของแคโรทีนในนมผงของสิ่งทดลอง S B - C O ตลอด
ระยะเวลาที่เก็บรักษา

อนุพันธ์ของแคโรทีนย่อย		ระยะการเก็บรักษา (วัน)					
		0	20	40	60	80	100
all-trans- α -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	84566	87428	54764	60028	97143	91065
	ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)	100	103.38	64.76	70.98	114.87	107.69
9-cis- α -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	23848	21095	15588	14043	29408	29375
	ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง	100	88.46	65.36	58.89	123.31	123.18
13-cis และ 13'-cis- α -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	23180	28903	15539	13143	33862	25931
	ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง	100	124.69	67.17	56.70	146.08	111.87
non-identified cis- α -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	12629	16977	10289	2583	24767	13212
	ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง	100	134.43	81.47	20.45	196.11	104.62
all-trans- β -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	90264	94023	57292	55804	99015	86583
	ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง	100	104.16	63.47	61.82	109.69	95.92
9-cis- β -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	83976	81981	48347	42052	92915	71309
	ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง	100	97.62	57.57	50.08	110.64	84.92
13-cis- β -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	48350	45810	20350	17578	36713	30308
	ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง	100	94.75	42.09	36.36	75.93	62.68
15-cis- β -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	16616	14492	7862	1351	7064	6186
	ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง	100	87.22	47.32	8.13	42.51	37.23

ข้อมูลได้จากการวิเคราะห์ 4 ซ้ำ

ตาราง ก-1 การเปลี่ยนแปลงอนุพันธ์ของแคโรทีนในนมผงของสิ่งทดลอง S B - C O ตลอด
ระยะเวลาที่เก็บรักษา (ต่อ)

อนุพันธ์ของแคโรทีนย่อย		ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)			
		120	140	160	180
all-trans- α -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	45880	59589	88842	45563
	ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)	54.25	70.46	105.06	53.88
9-cis- α -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	11635	16965	22385	15320
	ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง	48.79	71.14	93.86	64.24
13-cis และ 13'-cis- α -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	10819	16818	25064	12549
	ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง	46.67	72.55	108.13	54.14
non-identified cis- α -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	0	7002	10297	1479
	ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง	0	55.44	81.53	11.71
all-trans- β -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	45618	56142	86165	41813
	ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง	50.54	62.20	95.46	46.32
9-cis- β -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	40864	50043	72679	38451
	ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง	48.66	59.59	86.55	45.79
13-cis- β -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	5507	20764	26581	16629
	ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง	11.39	42.94	54.98	34.39
15-cis- β -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	12288	3073	4262	5713
	ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง	73.95	18.49	25.65	34.38

ข้อมูลได้จากการวิเคราะห์ 4 ซ้ำ

ตาราง ก-2 การเปลี่ยนแปลงอนุพันธ์ของแคโรทีนในนมผงของสิ่งทดลอง S B - C T ตลอด
ระยะเวลาที่เก็บรักษา

อนุพันธ์ของแคโรทีนอยด์		ระยะการเก็บรักษา (วัน)					
		0	20	40	60	80	100
all-trans- α -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	1559177	117928	129720	87888	86368	85142
	ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)	100	7.56	8.32	5.64	5.54	5.46
9-cis- α -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	41840	27802	30787	21056	24861	24572
	ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง	100	66.45	73.58	50.33	59.42	58.73
13-cis และ 13'-cis- α -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	50580	35596	32472	23051	25501	21270
	ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง	100	70.38	64.20	45.57	50.42	42.05
non-identified cis- α -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	22324	19500	19665	11971	19821	15746
	ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง	100	87.35	88.09	53.62	88.79	70.53
all-trans- β -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	157908	117536	128552	88141	88170	83275
	ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง	100	74.43	81.41	55.82	55.84	52.74
9-cis- β -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	140836	101345	107703	68809	75484	76289
	ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง	100	71.96	76.47	48.86	53.60	54.17
13-cis- β -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	71457	46408	46559	33228	32694	27333
	ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง	100	64.95	65.16	46.50	45.75	38.25
15-cis- β -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	19375	11108	7927	2127	7314	8411
	ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง	100	57.33	40.91	10.98	37.75	43.41

ข้อมูลได้จากการวิเคราะห์ 4 ข้อ

ตาราง ก-2 การเปลี่ยนแปลงอนุพันธ์ของแคโรทีนในนมผงของสิ่งทดลอง S B - C T ตลอด
ระยะเวลาที่เก็บรักษา (ต่อ)

อนุพันธ์ของแคโรทีนย่อย		ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)			
		120	140	160	180
all-trans- α -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	58431	128444	140090	86367
	ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)	3.75	8.24	8.98	5.54
9-cis- α -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	14237	36771	32353	24457
	ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง	34.03	87.88	77.33	58.45
13-cis และ 13'-cis- α -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	16186	38308	34753	19468
	ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง	32.00	75.74	68.71	38.49
non-identified cis- α -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	4729	16447	14132	9088
	ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง	21.18	73.67	63.30	40.71
all-trans- β -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	55490	122284	135919	77087
	ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง	35.14	77.44	86.07	48.82
9-cis- β -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	50482	108143	111678	71763
	ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง	35.84	76.79	79.30	50.95
13-cis- β -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	14943	49866	45956	29231
	ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง	20.91	69.78	64.31	40.91
15-cis- β -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	7968	8358	5600	2945
	ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง	41.12	43.14	28.90	15.20

ข้อมูลได้จากการวิเคราะห์ 4 ซ้ำ

ตาราง ก-3 การเปลี่ยนแปลงอนุพันธ์ของแคโรทีนในนมผงของสิ่งทดลอง S F - C O ตลอด
ระยะเวลาที่เก็บรักษา

อนุพันธ์ของแคโรทีนย่อย		ระยะการเก็บรักษา (วัน)					
		0	20	40	60	80	100
all-trans- α - carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	97878	88905	108557	44232	82522	77363
	ปริมาณที่	100	90.83	110.91	45.19	84.31	79.04
	เปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)						
9-cis- α - carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	24892	21503	27751	11322	21172	20137
	ปริมาณที่	100	86.39	111.49	45.48	85.06	80.90
	เปลี่ยนแปลง						
13-cis และ 13'-cis- α - carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	27733	27041	25252	12858	25925	20439
	ปริมาณที่	100	97.50	91.05	46.36	93.48	73.70
	เปลี่ยนแปลง						
non- identified cis- α - carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	14809	13617	13644	0	12014	12668
	ปริมาณที่	100	91.95	92.13	0	81.13	85.54
	เปลี่ยนแปลง						
all-trans- β - carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	104279	95682	107865	46841	80898	77544
	ปริมาณที่	100	91.76	103.44	44.92	77.58	74.36
	เปลี่ยนแปลง						
9-cis- β - carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	91071	77110	81277	39113	69987	59648
	ปริมาณที่	100	84.67	89.25	42.95	76.85	65.50
	เปลี่ยนแปลง						
13-cis- β - carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	61674	37947	32463	17381	31113	29224
	ปริมาณที่	100	61.53	52.36	28.18	50.45	47.38
	เปลี่ยนแปลง						
15-cis- β - carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	19927	10013	6764	0	7935	4942
	ปริมาณที่	100	50.25	33.94	0	39.82	24.80
	เปลี่ยนแปลง						

ข้อมูลได้จากการวิเคราะห์ 4 ซ้ำ

ตาราง ก-3 การเปลี่ยนแปลงอนุพันธ์ของแคโรทีนในนมผงของสิ่งทดลอง S F - C O ตลอด
ระยะเวลาที่เก็บรักษา (ต่อ)

อนุพันธ์ของแคโรทีนย่อย		ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)			
		120	140	160	180
all-trans- α -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	46849	101756	70448	89530
	ปริมาณที่	47.86	103.96		
	เปลี่ยนแปลง			71.97	91.47
	(ร้อยละ)				
9-cis- α -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	11671	29094	19257	24445
	ปริมาณที่	46.89	116.88	77.36	98.20
	เปลี่ยนแปลง				
13-cis และ 13'-cis- α -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	9642	30031	15492	24776
	ปริมาณที่	34.77	108.29	55.86	89.34
	เปลี่ยนแปลง				
non-identified cis- α -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	2117	9519	6403	9104
	ปริมาณที่	14.29	64.28	43.24	61.48
	เปลี่ยนแปลง				
all-trans- β -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	46870	102610	71528	85235
	ปริมาณที่	44.95	98.40	68.59	81.74
	เปลี่ยนแปลง				
9-cis- β -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	34616	87859	54052	72707
	ปริมาณที่	38.01	96.47	59.35	79.83
	เปลี่ยนแปลง				
13-cis- β -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	0	41228	23718	32569
	ปริมาณที่	0	66.85	38.46	52.81
	เปลี่ยนแปลง				
15-cis- β -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	16764	6956	2490	4333
	ปริมาณที่	84.13	34.91	12.49	21.74
	เปลี่ยนแปลง				

ข้อมูลได้จากการวิเคราะห์ 4 ชั่วโมง

ตาราง ก-4 การเปลี่ยนแปลงอนุพันธ์ของแคโรทีนในนมผงของสิ่งทดลอง S F - C T ตลอด
ระยะเวลาที่เก็บรักษา

อนุพันธ์ของแคโรทีนย่อย		ระยะการเก็บรักษา (วัน)					
		0	20	40	60	80	100
all-trans- α -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	74326	99372	98023	50068	105484	73143
	ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)	100	133.70	131.88	67.36	141.92	98.41
9-cis- α -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	15873	27038	23030	12335	26033	22400
	ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง	100	170.34	145.09	77.71	164.01	141.12
13-cis และ 13'-cis- α -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	20144	28070	21335	16591	31454	21869
	ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง	100	139.35	105.91	82.36	156.15	108.56
non-identified cis- α -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	8532	17666	12464	8684	12877	14307
	ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง	100	207.06	146.09	101.78	150.93	167.69
all-trans- β -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	85609	105745	103596	51695	106079	73238
	ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง	100	123.52	121.01	60.39	123.91	85.55
9-cis- β -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	70799	83659	73521	41874	82834	59666
	ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง	100	118.16	103.84	59.14	117.00	84.28
13-cis- β -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	43895	40781	28172	16681	43759	28038
	ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง	100	92.91	64.18	38.00	99.69	63.88
15-cis- β -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	13339	9755	6886	0	4617	4471
	ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง	100	73.13	51.62	0	34.61	33.52

ข้อมูลได้จากการวิเคราะห์ 4 ซ้ำ

ตาราง ก-4 การเปลี่ยนแปลงอนุพันธ์ของแคโรทีนในนมผงของสิ่งทดลอง S F - C T ตลอด
ระยะเวลาที่เก็บรักษา (ต่อ)

อนุพันธ์ของแคโรทีนย่อย		ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)			
		120	140	160	180
all-trans- α -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	47492	85968	87302	77372
	ปริมาณที่	63.90	115.66		
	เปลี่ยนแปลง			117.46	104.10
	(ร้อยละ)				
9-cis- α -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	12720	20972	22250	19179
	ปริมาณที่	80.14	132.12	140.17	120.83
	เปลี่ยนแปลง				
13-cis และ 13'-cis- α -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	11175	25904	20832	19800
	ปริมาณที่	55.47	128.59	103.41	98.29
	เปลี่ยนแปลง				
non-identified cis- α -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	1412	6596	8760	4400
	ปริมาณที่	16.55	77.31	102.67	51.57
	เปลี่ยนแปลง				
all-trans- β -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	47029	88698	83333	77025
	ปริมาณที่	54.93	103.61	97.34	89.97
	เปลี่ยนแปลง				
9-cis- β -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	37170	71663	64242	65266
	ปริมาณที่	52.50	101.22	90.74	92.18
	เปลี่ยนแปลง				
13-cis- β -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	4757	34449	28400	30024
	ปริมาณที่	10.84	78.48	64.70	68.40
	เปลี่ยนแปลง				
15-cis- β -carotene	พื้นที่ใต้กราฟ	14325	4878	4448	4117
	ปริมาณที่	107.39	36.57	33.35	30.86
	เปลี่ยนแปลง				

ข้อมูลได้จากการวิเคราะห์ 4 ชั่วโมง

ตาราง ก-5 ปริมาณปีดาแคโรทีนทั้งหมด (ไมโครกรัมต่อกรัม) ตลอดระยะการเก็บรักษา 180 วัน

สิ่งทดลอง	ระยะการเก็บรักษา (วัน)					
	0	20	40	60	80	100
Control	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SB-CO	0.934 ^A ±0.067	0.948 ^A ±0.106	0.469 ^{CD} ±0.172	0.426 ^D ±0.059	0.918 ^A ±0.055	0.704 ^{ABC} ±0.316
SB-CT	1.525 ^A ±0.092	1.047 ^B ±0.118	1.102 ^B ±0.391	0.710 ^C ±0.125	0.786 ^{BC} ±0.114	0.696 ^C ±0.311
SF-CO	1.071 ^A ±0.221	0.861 ^{BC} ±0.011	0.851 ^{BC} ±0.143	0.371 ^E ±0.064	0.694 ^{CD} ±0.019	0.639 ^{CD} ±0.096
SF-CT	0.803 ^{AB} ±0.120	0.891 ^A ±0.078	0.770 ^{AB} ±0.212	0.409 ^C ±0.093	0.874 ^{AB} ±0.231	0.628 ^{BC} ±0.030

A,B,C,... ในแถวแนวนอนเดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$)

ตาราง ก-5 ปริมาณปีดาแคโรทีนทั้งหมด (ไมโครกรัมต่อกรัม) ตลอดระยะการเก็บรักษา 180 วัน (ต่อ)

สิ่งทดลอง	ระยะการเก็บรักษา (วัน)			
	120	140	160	180
Control	0.000	0.000	0.000	0.000
SB-CO	0.405 ^D ±0.146	0.487 ^{BCD} ±0.115	0.719 ^{AB} ±0.009	0.356 ^D ±0.148
SB-CT	0.499 ^C ±0.262	1.097 ^B ±0.028	1.125 ^B ±0.133	0.663 ^C ±0.116
SF-CO	0.377 ^E ±0.018	0.908 ^{AB} ±0.064	0.574 ^C ±0.162	0.720 ^{CD} ±0.054
SF-CT	0.402 ^C ±0.063	0.761 ^{AB} ±0.085	0.688 ^{AB} ±0.063	0.640 ^B ±0.287

A,B,C,... ในแถวแนวนอนเดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$)

ตาราง ก-6 ปริมาณ all-*trans*- β -carotene (ไมโครกรัมต่อกรัม) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 180 วัน

สิ่งทดลอง	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)					
	0	20	40	60	80	100
Control	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SB-CO	0.330 ^A ±0.013	0.355 ^A ±0.013	0.204 ^{BC} ±0.083	0.200 ^{BC} ±0.019	0.370 ^A ±0.001	0.304 ^{AB} ±0.142
SB-CT	0.585 ^A ±0.054	0.424 ^{BCD} ±0.060	0.471 ^{AB} ±0.155	0.318 ^{CDE} ±0.030	0.325 ^{CDE} ±0.047	0.293 ^{DE} ±0.128
SF-CO	0.376 ^A ±0.059	0.359 ^{AB} ±0.028	0.394 ^A ±0.064	0.163 ^D ±0.022	0.290 ^{BC} ±0.020	0.282 ^{BC} ±0.038
SF-CT	0.302 ^A ±0.038	0.374 ^A ±0.019	0.370 ^A ±0.120	0.186 ^B ±0.041	0.374 ^A ±0.072	0.269 ^{AB} ±0.024

^{A,B,C,...} ในแถวแนวนอนเดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$)

ตาราง ก-6 ปริมาณ all-*trans*-β-carotene (ไมโครกรัมต่อกรัม) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 180 วัน (ต่อ)

สิ่งทดลอง	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)			
	120	140	160	180
Control	0.000	0.000	0.000	0.000
SB-CO	0.167 ^C ±0.065	0.202 ^{BC} ±0.039	0.301 ^{AB} ±0.033	0.145 ^C ±0.063
SB-CT	0.205 ^E ±0.111	0.445 ^{ABC} ±0.020	0.492 ^{AB} ±0.072	0.272 ^E ±0.041
SF-CO	0.168 ^D ±0.014	0.373 ^A ±0.034	0.261 ^C ±0.070	0.302 ^{BC} ±0.012
SF-CT	0.172 ^B ±0.035	0.324 ^A ±0.033	0.305 ^A ±0.038	0.268 ^{AB} ±0.136

A,B,C,... ในแถวแนวนอนเดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$)

ตาราง ก-7 ค่าสี L ของนมผงเสริมปีตาแคโรทีนในรูปแบบผงระหว่างการเก็บรักษา 180 วัน

สิ่งทดลอง	ระยะการเก็บรักษา (วัน)					
	0	20	40	60	80	100
Control	70.41 ^C ±0.04	70.89 ^C ±0.45	71.89 ^B ±0.06	73.12 ^A ±0.23	71.75 ^B ±0.49	73.15 ^A ±0.13
SB-CO	71.84 ^D ±0.06	72.72 ^{BC} ±0.68	73.56 ^A ±0.16	72.65 ^C ±0.10	73.17 ^{AB} ±0.04	72.67 ^{BC} ±0.09
SB-CT	75.36 ^B ±0.09	75.90 ^A ±0.19	75.95 ^A ±0.08	74.06 ^D ±0.22	75.26 ^{BC} ±0.21	75.81 ^A ±0.12
SF-CO	74.42 ^{ABCD} ±0.05	74.50 ^{ABC} ±0.08	74.64 ^{AB} ±0.13	74.29 ^{BCDE} ±0.09	74.13 ^{CDE} ±0.44	74.02 ^{DE} ±0.27
SF-CT	77.64 ^{AB} ±0.05	78.09 ^A ±0.21	77.63 ^{AB} ±0.52	76.35 ^C ±0.31	76.79 ^{BC} ±0.35	77.56 ^{AB} ±0.07

A,B,C,... ในแถวแนวนอนเดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$)

ตาราง ก-7 ค่าสี L ของนมผงเสริมบีตาแคโรทีนในรูปแบบผงระหว่างการเก็บรักษา 180 วัน (ต่อ)

สิ่งทดลอง	ระยะการเก็บรักษา (วัน)			
	120	140	160	180
Control	73.42 ^A ±0.38	73.70 ^A ±0.18	73.46 ^A ±0.43	73.45 ^A ±0.54
SB-CO	72.84 ^{BC} ±0.19	72.84 ^{BC} ±0.23	72.88 ^{BC} ±0.30	72.94 ^{BC} ±0.17
SB-CT	75.85 ^A ±0.20	75.70 ^A ±0.27	75.77 ^A ±0.06	75.02 ^C ±0.25
SF-CO	74.15 ^{CDE} ±0.20	74.21 ^{BCDE} ±0.30	74.85 ^A ±0.07	73.84 ^E ±0.33
SF-CT	76.84 ^{BC} ±0.15	76.70 ^{BC} ±0.74	76.81 ^{BC} ±1.25	77.15 ^{BC} ±0.05

A,B,C,... ในแถวแนวนอนเดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกัน($p \leq 0.05$)

ตาราง ก-8 ค่า a^* ของนมผงเสริมบีตาแคโรทีนในรูปแบบผงระหว่างการเก็บรักษา 180 วัน

สิ่งทดลอง	ระยะการเก็บรักษา (วัน)					
	0	20	40	60	80	100
Control	7.54 ^{BC} ±0.07	7.63 ^B ±0.13	7.90 ^A ±0.07	6.29 ^D ±0.09	7.36 ^C ±0.21	5.87 ^E ±0.05
SB-CO	7.16 ^{BC} ±0.05	7.23 ^{AB} ±0.17	7.41 ^A ±0.15	6.79 ^E ±0.09	7.24 ^{AB} ±0.07	6.47 ^F ±0.07
SB-CT	5.21 ^C ±0.04	5.42 ^B ±0.09	5.77 ^A ±0.08	5.80 ^A ±0.04	5.57 ^B ±0.07	4.81 ^D ±0.03
SF-CO	6.02 ^{BC} ±0.06	6.10 ^B ±0.02	6.47 ^A ±0.04	5.79 ^{DE} ±0.06	6.33 ^A ±0.15	5.64 ^E ±0.12
SF-CT	4.33 ^{CD} ±0.02	4.67 ^{BC} ±0.01	4.93 ^B ±0.04	5.09 ^B ±0.25	5.68 ^A ±0.14	4.18 ^D ±0.04

A,B,C,... ในแถวแนวนอนเดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$)

ตาราง ก-8 ค่าเฉลี่ย a* ของนมผงเสริมบีตาแคโรทีนในรูปแบบผงระหว่างการเก็บรักษา 180 วัน (ต่อ)

สิ่งทดสอบ	ระยะการเก็บรักษา (วัน)			
	120	140	160	180
Control	6.11 ^D ±0.19	6.28 ^D ±0.08	6.15 ^D ±0.14	6.07 ^{DE} ±0.11
SB-CO	6.73 ^E ±0.06	7.00 ^{CD} ±0.15	6.85 ^{DE} ±0.12	6.79 ^E ±0.13
SB-CT	5.12 ^C ±0.03	5.48 ^B ±0.12	5.21 ^C ±0.06	5.48 ^B ±0.16
SF-CO	5.88 ^{CD} ±0.16	6.01 ^{BC} ±0.14	5.66 ^E ±0.09	6.03 ^{BC} ±0.10
SF-CT	4.76 ^{BC} ±0.06	5.03 ^B ±0.39	5.10 ^B ±0.66	4.77 ^{BC} ±0.05

A,B,C,... ในแถวแนวนอนเดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$)

ตาราง ก-9 ค่าเฉลี่ย b^* ของนมผงเสริมบีตาแคโรทีนในรูปแบบผงระหว่างการเก็บรักษา 180 วัน

สิ่งทดลอง	ระยะการเก็บรักษา (วัน)					
	0	20	40	60	80	100
Control	33.67 ^E ±0.03	33.95 ^E ±0.25	33.85 ^E ±0.27	37.44 ^B ±0.18	36.66 ^C ±0.08	34.01 ^E ±0.16
SB-CO	33.96 ^G ±0.09	35.23 ^D ±0.21	34.60 ^{EF} ±0.63	38.71 ^B ±0.29	37.78 ^C ±0.20	35.03 ^{DE} ±0.06
SB-CT	32.79 ^D ±0.04	32.97 ^D ±0.10	31.69 ^E ±0.13	37.51 ^A ±0.16	37.80 ^D ±0.15	33.19 ^D ±0.17
SF-CO	33.79 ^{CD} ±0.02	33.99 ^{CD} ±0.02	33.00 ^D ±0.21	37.83 ^A ±0.24	35.52 ^B ±1.60	34.77 ^{BC} ±0.25
SF-CT	31.54 ^E ±0.04	31.86 ^{DE} ±0.30	34.03 ^B ±0.63	35.70 ^A ±0.53	34.22 ^B ±1.31	32.53 ^{CDE} ±0.22

^{A,B,C,...} ในแถวแนวนอนเดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$)

ตาราง ก-9 ค่าเฉลี่ย b^* ของนมผงเสริมปีตาแคโรทีนในรูปแบบผงระหว่างการเก็บรักษา 180 วัน (ต่อ)

สิ่งทดสอบ	ระยะการเก็บรักษา (วัน)			
	120	140	160	180
Control	38.21 ^A ±0.31	38.24 ^A ±0.23	38.19 ^A ±0.34	34.89 ^D ±1.05
SB-CO	37.23 ^A ±3.05	39.53 ^A ±0.28	39.49 ^A ±0.08	34.42 ^F ±0.20
SB-CT	36.75 ^{AB} ±0.32	36.59 ^B ±0.27	37.09 ^{AB} ±0.20	34.39 ^C ±1.22
SF-CO	38.61 ^A ±0.44	35.65 ^B ±1.37	38.26 ^A ±0.19	34.81 ^{BC} ±0.20
SF-CT	36.34 ^A ±0.41	33.56 ^{BC} ±0.30	36.54 ^A ±0.61	32.88 ^{CD} ±0.42

A,B,C,... ในแถวแนวนอนเดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$)

ตาราง ก-10 ค่าสี C* (chroma)** ของนมผงเสริมบีตาแคโรทีนในรูปแบบผงระหว่างการเก็บรักษา 180 วัน

สิ่งทดลอง	ระยะการเก็บรักษา (วัน)					
	0	20	40	60	80	100
Control	34.50±0.04	34.80±0.26	34.76±0.24	37.96±0.19	37.40±0.11	34.51±0.16
SB-CO	34.71±0.09	35.97±0.20	35.39±0.59	39.31±0.27	38.46±0.21	35.63±0.05
SB-CT	33.21±0.04	33.41±0.11	32.21±0.13	37.95±0.16	33.27±0.14	33.53±0.17
SF-CO	34.33±0.03	34.54±0.02	33.63±0.20	38.27±0.24	36.08±1.59	35.23±0.26
SF-CT	31.84±0.04	32.20±0.29	34.39±0.63	36.00±0.56	34.68±1.29	32.80±0.22

** ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง ก-10 ค่าสี C* (chroma)** ของนมผงเสริมบีตาแคโรทีนในรูปแบบผงระหว่างการเก็บรักษา 180 วัน (ต่อ)

สิ่งทดสอบ	ระยะการเก็บรักษา (วัน)			
	120	140	160	180
Control	38.69±0.33	38.74±0.23	38.68±0.36	35.41±1.02
SB-CO	40.13±0.17	40.14±0.30	40.07±0.09	35.08±0.22
SB-CT	37.10±0.32	36.86±0.45	37.45±0.21	34.82±0.23
SF-CO	39.06±0.47	36.15±1.36	38.67±0.22	35.32±0.21
SF-CT	36.64±0.41	33.93±0.34	36.90±0.70	33.56±0.40

** ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง ก-11 ค่าสี h* (hue angle)** ของนมผงเสริมบีตาแคโรทีนในรูปนมผงระหว่างการเก็บรักษา 180 วัน

สิ่งทดลอง	ระยะการเก็บรักษา (วัน)					
	0	20	40	60	80	100
Control	77.38±0.10	77.44±0.11	76.87±0.20	80.46±0.09	78.65±0.30	80.21±0.04
SB-CO	78.09±0.06	78.42±0.28	77.91±0.43	80.05±0.19	79.15±0.05	79.54±0.11
SB-CT	80.97±0.05	80.73±0.01	79.69±0.12	81.21±0.03	80.36±0.14	81.75±0.02
SF-CO	79.89±0.10	79.80±0.02	78.91±0.11	81.30±0.07	79.88±0.40	80.78±0.18
SF-CT	82.19±0.03	81.62±0.01	81.76±0.11	81.89±0.27	80.57±0.41	82.67±0.08

** ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง ก-11 ค่าสี h* (hue angle)** ของนมผงเสริมบีตาแคโรทีนในรูปแบบผงระหว่างการเก็บรักษา 180 วัน (ต่อ)

สิ่งทดสอบ	ระยะการเก็บรักษา (วัน)			
	120	140	160	180
Control	81.03±0.21	80.80±0.10	80.90±0.10	80.20±0.46
SB-CO	80.43±0.06	80.00±0.10	80.27±0.15	78.90±0.17
SB-CT	82.17±0.06	81.53±0.15	82.07±0.06	80.97±0.06
SF-CO	81.43±0.15	80.47±0.35	81.67±0.12	80.27±0.15
SF-CT	82.63±0.06	81.53±0.61	82.17±0.90	81.80±0.00

** ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง ก-12 ค่าสี L ของน้ำมันเสริมบีตาแคโรทีนที่ได้จากการละลายนมผงระหว่างการเก็บรักษา 180 วัน

สิ่งทดลอง	ระยะการเก็บรักษา (วัน)					
	0	20	40	60	80	100
Control	51.70 ^D ±0.02	51.88 ^E ±0.38	52.14 ^E ±0.41	56.39 ^B ±0.45	57.72 ^A ±0.14	56.41 ^B ±0.17
SB-CO	56.04 ^C ±0.07	56.96 ^{AB} ±0.04	56.89 ^{AB} ±0.12	56.96 ^{AB} ±0.04	57.12 ^{AB} ±0.07	57.73 ^A ±0.04
SB-CT	58.99 ^C ±0.05	59.32 ^{AB} ±0.03	58.75 ^B ±0.05	58.90 ^B ±0.96	59.81 ^A ±0.02	59.73 ^A ±0.35
SF-CO	60.56 ^E ±0.05	60.85 ^{AB} ±0.06	61.10 ^A ±0.05	60.82 ^{AB} ±0.07	60.35 ^C ±0.13	60.98 ^{AB} ±0.12
SF-CT	61.29 ^E ±0.05	61.70 ^B ±0.04	61.08 ^{CD} ±0.09	60.62 ^E ±0.07	60.86 ^{DE} ±0.09	61.82 ^B ±0.11

A,B,C,... ในแถวแนวนอนเดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$)

ตาราง ก-12 ค่าสี L ของน้ำมันเสริมบีตาแคโรทีนที่ได้จากการละลายนมผงระหว่างการเก็บรักษา 180 วัน (ต่อ)

สิ่งทดลอง	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)			
	120	140	160	180
Control	55.13 ^C ±0.20	55.64 ^C ±0.04	55.36 ^C ±0.07	56.97 ^C ±0.14
SB-CO	56.65 ^{AB} ±1.03	56.59 ^B ±1.34	56.79 ^{AB} ±0.14	56.66 ^{AB} ±0.54
SB-CT	59.06 ^B ±0.12	59.91 ^A ±0.04	59.73 ^A ±0.05	58.93 ^B ±0.07
SF-CO	59.75 ^D ±0.62	61.12 ^A ±0.04	60.82 ^{AB} ±0.05	60.62 ^{BC} ±0.10
SF-CT	61.64 ^B ±0.11	62.14 ^A ±0.13	61.24 ^C ±0.42	60.61 ^E ±0.26

A,B,C,... ในแถวแนวนอนเดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกัน($p \leq 0.05$)

ตาราง ก-13 ค่า σ^2 ของน้ำหนักเสริมปีตาแคโรทีนที่ได้จากการละลายนมผงระหว่างการเก็บรักษา 180 วัน

สิ่งทดลอง	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)					
	0	20	40	60	80	100
Control	$2.62^F \pm 0.02$	$2.87^A \pm 0.20$	$2.98^A \pm 0.07$	$1.32^{CD} \pm 0.18$	$1.34^{CD} \pm 0.04$	$1.01^E \pm 0.02$
SB-CO	$1.02^A \pm 0.01$	$1.05^{EF} \pm 0.05$	$1.64^{BC} \pm 0.03$	$1.29^{DE} \pm 0.00$	$1.89^B \pm 0.02$	$0.81^F \pm 0.04$
SB-CT	$0.40^A \pm 0.01$	$0.46^C \pm 0.02$	$0.21^D \pm 0.03$	$0.70^B \pm 0.05$	$0.98^A \pm 0.02$	$0.27^C \pm 0.12$
SF-CO	$-0.06^C \pm 0.02$	$-0.07^{FG} \pm 0.09$	$0.13^E \pm 0.03$	$0.04^G \pm 0.02$	$0.51^B \pm 0.04$	$-0.29^D \pm 0.12$
SF-CT	$-0.21^C \pm 0.01$	$-0.23^{BC} \pm 0.02$	$0.21^C \pm 0.02$	$-0.04^C \pm 0.01$	$0.52^B \pm 0.01$	$-0.52^B \pm 0.06$

A,B,C,... ในแถวแนวนอนเดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$)

ตาราง ก-13 ค่า σ^2 ของน้ำหนักเสริมปีตาแคโรทีนที่ได้จากการละลายนมผงระหว่างการเก็บรักษา 180 วัน (ต่อ)

สิ่งทดลอง	ระยะการเก็บรักษา (วัน)			
	120	140	160	180
Control	1.45 ^C ±0.02	1.30 ^{CD} ±0.02	1.18 ^D ±0.04	1.71 ^B ±0.12
SB-CO	1.24 ^{DE} ±0.32	1.44 ^{CD} ±0.31	1.19 ^{DE} ±0.01	1.83 ^B ±0.15
SB-CT	0.41 ^D ±0.03	0.41 ^C ±0.07	0.46 ^C ±0.03	0.78 ^B ±0.05
SF-CO	0.10 ^{EF} ±0.02	0.11 ^{EF} ±0.03	0.07 ^{FG} ±0.01	0.60 ^A ±0.05
SF-CT	-0.35 ^D ±0.08	-0.26 ^D ±0.06	-0.37 ^D ±0.15	1.02 ^A ±0.48

A,B,C,... ในแถวแนวนอนเดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$)

ตาราง ก-14 ค่า b^* ของน้ำมันเสริมปีตาแคโรทีนที่ได้จากการละลายนมผงระหว่างการเก็บรักษา 180 วัน

สิ่งทดลอง	ระยะการเก็บรักษา (วัน)					
	0	20	40	60	80	100
Control	22.84 ^C ±0.04	23.14 ^B ±0.17	23.47 ^A ±0.04	21.77 ^E ±0.13	21.57 ^E ±0.12	20.85 ^G ±0.15
SB-CO	21.62 ^D ±0.03	21.65 ^D ±0.52	22.97 ^A ±0.13	22.89 ^{AB} ±0.13	23.27 ^A ±0.02	21.42 ^D ±0.34
SB-CT	21.16 ^B ±0.04	21.21 ^B ±0.08	19.69 ^D ±0.07	21.71 ^{AB} ±0.60	21.85 ^A ±0.04	20.33 ^C ±0.67
SF-CO	20.19 ^C ±0.05	20.27 ^C ±0.15	20.30 ^C ±0.10	20.51 ^{ABC} ±0.43	20.86 ^{AB} ±0.24	19.73 ^D ±0.05
SF-CT	19.64 ^{DE} ±0.02	19.76 ^{DE} ±0.04	20.81 ^{AB} ±0.06	20.47 ^{BC} ±0.03	21.00 ^A ±0.09	18.98 ^G ±0.14

^{A,B,C,...} ในแถวแนวนอนเดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$)

ตาราง ก-14 ค่า b^* ของน้ำนมเสริมปีตาแคโรทีนที่ได้จากการละลายนมผงระหว่างการเก็บรักษา 180 วัน (ต่อ)

สิ่งทดลอง	ระยะการเก็บรักษา (วัน)			
	120	140	160	180
Control	22.03 ^D ±0.11	22.06 ^D ±0.02	21.34 ^F ±0.12	21.69 ^E ±0.16
SB-CO	22.25 ^C ±0.32	23.30 ^A ±0.19	22.49 ^{BC} ±0.15	22.52 ^{BC} ±0.18
SB-CT	21.30 ^{AB} ±0.25	21.53 ^{AB} ±0.26	21.38 ^{AB} ±0.03	21.35 ^{AB} ±0.13
SF-CO	19.43 ^D ±0.60	20.96 ^A ±0.04	20.60 ^{ABC} ±0.10	20.40 ^{BC} ±0.06
SF-CT	19.55 ^{EF} ±0.28	20.10 ^{CD} ±0.23	19.11 ^{FG} ±0.58	21.14 ^A ±0.58

^{A,B,C,...} ในแถวแนวนอนเดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$)

ตาราง ก-15 ค่าสี C* (chroma)** ของน้ำมันเสริมบีตาแคโรทีนที่ได้จากการละลายนมผงระหว่างการเก็บรักษา 180 วัน

สิ่งทดลอง	ระยะการเก็บรักษา (วัน)					
	0	20	40	60	80	100
Control	22.99±0.04	23.31±0.14	23.66±0.04	21.81±0.13	21.61±0.13	20.88±0.15
SB-CO	21.64±0.03	21.68±0.52	23.03±0.13	22.92±0.13	23.34±0.02	21.44±0.34
SB-CT	21.16±0.04	21.22±0.08	19.69±0.07	21.72±0.60	21.88±0.04	20.34±0.67
SF-CO	20.19±0.05	20.27±0.12	20.30±0.10	20.51±0.43	20.87±0.24	19.74±0.05
SF-CT	19.64±0.02	19.76±0.04	20.81±0.06	20.47±0.03	21.00±0.09	18.99±0.13

** ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง ก-15 ค่าสี C* (chroma)** ของน้ำมันเสริมบีตาแคโรทีนที่ได้จากการละลายนมผงระหว่างการเก็บรักษา 180 วัน (ต่อ)

สิ่งทดสอบ	ระยะการเก็บรักษา (วัน)			
	120	140	160	180
Control	22.07±0.11	22.09±0.02	21.37±0.12	21.75±0.15
SB-CO	22.25±0.33	23.34±0.21	22.52±0.15	22.58±0.17
SB-CT	21.30±0.25	21.53±0.26	21.38±0.03	21.36±0.13
SF-CO	19.43±0.60	20.96±0.04	20.60±0.10	20.40±0.07
SF-CT	19.55±0.28	20.10±0.23	19.11±0.58	21.16±0.60

** ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง ก-16 ค่าสี h* (hue angle)** ของน้ำมันเสริมบีตาแคโรทีนที่ได้จากการละลายนมผงระหว่างการเก็บรักษา 180 วัน

สิ่งทดลอง	ระยะการเก็บรักษา (วัน)					
	0	20	40	60	80	100
Control	83.46±0.05	82.98±0.56	82.76±0.17	86.54±0.46	86.45±0.09	45.03±0.00
SB-CO	87.30±0.03	87.12±0.18	85.92±0.05	86.77±0.02	85.36±0.04	45.02±0.00
SB-CT	88.92±0.03	88.73±0.05	89.39±0.09	88.15±0.19	87.43±0.05	45.00±0.00
SF-CO	89.84±0.04	89.84±0.08	89.62±0.08	89.89±0.05	88.61±0.10	45.00±0.00
SF-CT	89.39±0.03	89.33±0.05	89.43±0.06	89.89±0.03	88.59±0.02	45.01±0.00

** ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง ก-16 ค่าสี h* (hue angle)** ของน้ำมันเสริมบีตาแคโรทีนที่ได้จากการละลายนมผงระหว่างการเก็บรักษา 180 วัน (ต่อ)

สิ่งทดสอบ	ระยะการเก็บรักษา (วัน)			
	120	140	160	180
Control	86.27±0.06	86.67±0.06	86.90±0.10	85.57±0.31
SB-CO	86.87±0.85	86.53±0.72	87.00±0.00	85.40±0.44
SB-CT	88.93±0.06	88.97±0.15	88.83±0.06	87.97±0.12
SF-CO	89.97±0.29	89.73±0.06	89.83±0.06	88.33±0.15
SF-CT	91.00±0.26	90.70±0.20	91.07±0.49	87.30±1.22

** ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง ก-17 ปริมาณความชื้นของนมผงเสริมบีตาแคโรทีนระหว่างการเก็บรักษา 180 วัน

สิ่งทดลอง	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)					
	0	20	40	60	80	100
Control	1.8822 ^{BC} ±0.0180	1.8874 ^{BC} ±0.0456	1.2570 ^A ±0.1590	1.9503 ^{BC} ±0.4355	2.0324 ^{CD} ±0.3789	2.4540 ^D ±0.1571
SB-CO	2.0611 ^D ±0.1222	2.1443 ^D ±0.0928	1.4216 ^B ±0.2437	1.6191 ^{BC} ±0.1274	1.4244 ^B ±0.0264	2.1117 ^D ±0.0933
SB-CT	2.8716 ^{BC} ±0.1267	3.1764 ^{CD} ±0.2898	2.2511 ^A ±0.2047	2.8029 ^{BC} ±0.3090	2.7606 ^{BC} ±0.3772	3.4365 ^D ±0.0818
SF-CO	2.993 ^{DE} ±0.0408	3.1668 ^E ±0.0843	2.2098 ^A ±0.1009	2.8227 ^{CD} ±0.0274	2.6667 ^{BC} ±0.1760	3.1503 ^E ±0.0171
SF-CT	3.3117 ^{BC} ±0.1056	3.5833 ^C ±0.0641	2.2210 ^A ±0.6746	2.3157 ^A ±0.5727	2.5278 ^{AB} ±0.5596	3.5292 ^C ±0.0296

A,B,C,... ในแถวแนวนอนเดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกัน($p \leq 0.05$)

ตาราง ก-17 ปริมาณความชื้นของนมผงเสริมบีตาแคโรทีนระหว่างการเก็บรักษา 180 วัน (ต่อ)

สิ่งทดลอง	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)			
	120	140	160	180
Control	2.1116 ^{CD} ±0.0737	1.7723 ^{BC} ±0.1169	1.4723 ^{AB} ±0.3915	1.8390 ^{BC} ±0.3493
SB-CO	2.0019 ^D ±0.0753	1.6863 ^C ±0.0319	1.1620 ^A ±0.0934	1.5900 ^{BC} ±0.0578
SB-CT	3.0398 ^{CD} ±0.0457	3.1484 ^{CD} ±0.1381	2.5734 ^{AB} ±0.0595	2.7816 ^{BC} ±0.2821
SF-CO	3.0726 ^E ±0.0694	2.8034 ^C ±0.1044	2.2217 ^A ±0.1812	2.5068 ^B ±0.0186
SF-CT	3.4463 ^C ±0.1610	2.8059 ^{ABC} ±0.6418	2.0757 ^A ±0.5666	2.3784 ^A ±0.5197

A,B,C,... ในแถวแนวนอนเดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกัน($p \leq 0.05$)

ภาคผนวก ข
ภาพประกอบ



ภาพ ข-1 น้ำมันปาล์มดิบ



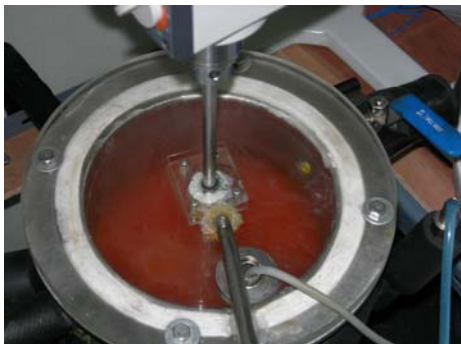
ภาพ ข-2 การให้ความร้อนในขั้นตอน
การกำจัดกัมในน้ำมันปาล์มดิบ



ภาพ ข-3 การกรองในขั้นตอนการกำจัดกัม
ในน้ำมันปาล์มดิบ



ภาพ ข-4 น้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการ
กำจัดกัม



ภาพ ข-5 น้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการกำจัดกัม
เข้าสู่อุปกรณ์การผสมเฮกเซนและน้ำมันปาล์มดิบ



ภาพ ข-6 การผสมเฮกเซนและน้ำมันปาล์มดิบ



ภาพ ข-7 การกรองแยกผลึกไขมัน (1)



ภาพ ข-8 การกรองแยกผลึกไขมัน(2)



ภาพ ข-9 ผลึกไขมันที่แยกได้



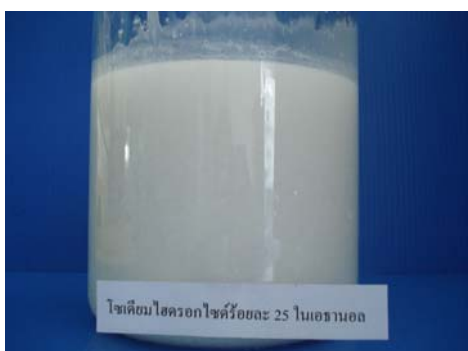
ภาพ ข-10 สารสกัดแคโรทีนอยด์ที่ผ่านการกรองแยกไขมันที่ตกผลึกออกแล้ว



ภาพ ข-11 สารสกัดแคโรทีนอยด์



ภาพ ข-12 สารสกัดแคโรทีนอยด์ผสมเอทานอล



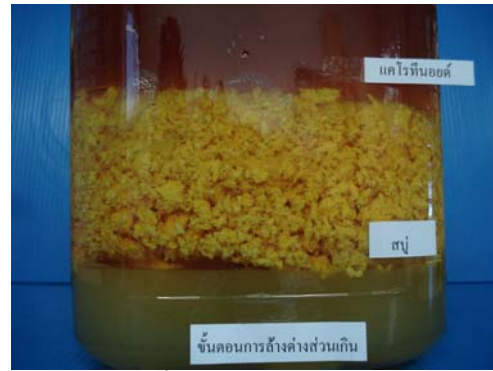
ภาพ ข-13 โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 25 ในเอทานอล



ภาพ ข-14 ขั้นตอนการทำปฏิกิริยาในกระบวนการสะปอนิฟิเคชัน



ภาพ ข-15 ขั้นตอนการแยกของผสมแคโรทีนอยด์ออกจากสับ



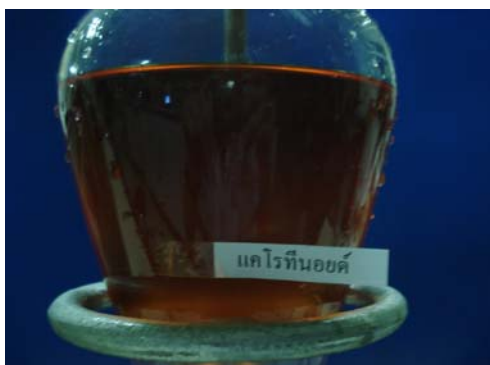
ภาพ ข-16 ขั้นตอนการล้างล้างส่วนเกิน (1)



ภาพ ข-17 ขั้นตอนการล้างล้างส่วนเกิน (2)



ภาพ ข-18 ขั้นตอนการล้างล้างส่วนเกิน (3)



ภาพ ข-19 สารสกัดแคโรทีนอยด์ที่ผ่านกระบวนการสะปอนิฟิเคชัน



ภาพ ข-20 สารสกัดแคโรทีนอยด์หลังจากระเหยเฮกเซนออกด้วยระบบสุญญากาศ



ภาพ ข-21 บีตาแคโรทีนในรูปแบบของน้ำมัน



ภาพ ข-22 น้ำมันที่เติมบีตาแคโรทีนในถังพัก



ภาพ ข-23 นมวัตถุคิบและนมผงเสริมบีตาแคโรทีนในรูปแบบผง : 1=นมวัตถุคิบ, 2=control, 3=SB-CO, 4=SB-CT, 5=SF-CO, 6=SF-CT



ภาพ ข-24 นำนมวัตถุคิบและนํานมเสริมบีตาแคโรทีนจากการละลายนมผง: 1=นมวัตถุคิบ, 2=SB-CO, 3=SB-CT, 4=control, 5=SF-CO, 6=SF-CT



ภาพ ข-25 นมผงใช้ทดสอบสมบัติทางประสาทสัมผัส : 1=DUMEX, 2=control, 3=SB-CT



ภาพ ข-26 นํานมที่ได้จากการละลายนมผงใช้ทดสอบสมบัติทางประสาทสัมผัส : 1=DUMEX, 2=control, 3=SB-CT



ภาพ ข-27 เครื่องสกัดแคโรทีนอยด์



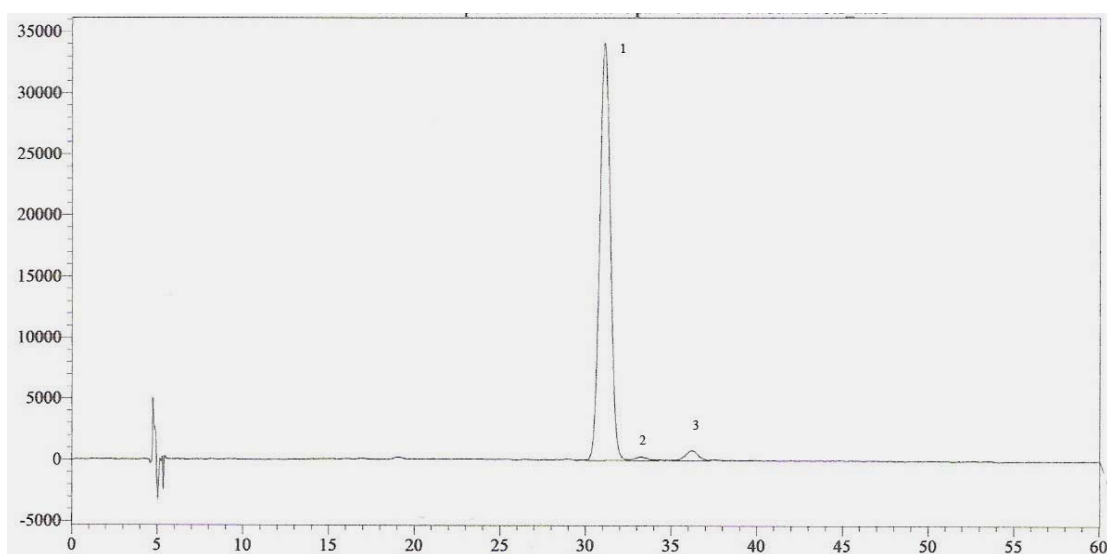
ภาพ ข-28 เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย



ภาพ ข-29 เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลว
สมรรถนะสูง



ภาพ ข-30 เครื่องปั่นแบบมือจับ



ภาพ ข-31 โครมาโตแกรมของสารมาตรฐานบีตาแคโรทีนจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC
1 = all-*trans*- β -carotene, 2 = 9-*cis*- β -carotene, 3 = 13-*cis*- β -carotene

ภาคผนวก ค
วิธีการวิเคราะห์คุณภาพ

วิธีการวิเคราะห์คุณภาพ

ค-1 การวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดที่สามารถไทเทรตได้

ปริมาณกรดทั้งหมดที่สามารถไทเทรตได้ (total titratable acidity; TA : %acidity) โดยการไทเทรต (AOAC, 2000)

การเตรียมสารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มัล เตรียมได้โดยละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4.0000 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ในน้ำกลั่นที่ผ่านการต้มแล้วทำให้เย็น ปรับปริมาตรให้ครบ 1 ลิตร เก็บไว้ในขวดสีชา

2. สารละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลท (potassium hydrogen phthalate; KHP) เตรียมได้โดยนำ KHP ($\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$) 2.0-2.4 กรัม ไปอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำมาทำให้เย็นในโถแก้วดูดความชื้น (desiccator) จากนั้นชั่ง KHP (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) แล้วนำมาละลายกับน้ำกลั่นที่ผ่านการต้ม แล้วทำให้เย็น เพื่อไม่ให้มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

วิธีคำนวณความเข้มข้นของ KHP

มวลโมเลกุลของ KHP เท่ากับ 204.22

มวลของ KHP ที่ชั่งได้จริง เท่ากับ X

ละลายในขวดปรับปริมาตรให้ได้ปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

$$\text{ดังนั้นความเข้มข้นของ KHP} = \frac{X \times 100}{204.22 \times 100} = Y \text{ (N)}$$

การหาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

นำ KHP ไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาตร KHP ที่ใช้ครั้งละ 10 มิลลิลิตร หยดฟีนอล์ฟทาไลน์ 2-3 หยด ไทเทรตจากไม่มีสี จนเป็นสีชมพูอ่อนๆ

$$N_1 V_1 = N_2 V_2$$

$$Y \times 10 = N_2 \times \text{ปริมาตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต (ค่าเฉลี่ย)}$$

$$N_2 = Z \text{ (N)}$$

หมายเหตุ การวิเคราะห์หาปริมาณกรดต้องทำการไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ก่อนทุกครั้ง

การวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด (ในรูปกรดแลกติก)

1. ชั่งตัวอย่างนมผง 1 กรัม ละลายน้ำอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายฟีนอล์ฟทาไลน์ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร
3. ทำการไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล จนถึงจุดยุติ เมื่อสารละลายเป็นสีชมพูอ่อน ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง คำนวณค่าเฉลี่ยของค่าที่ได้ และคำนวณหาปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดแลกติก

$$1 \text{ มิลลิลิตร } 0.1 \text{ นอร์มัล โซเดียมไฮดรอกไซด์} = 0.0090 \text{ กรัม กรดแลกติก}$$

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\begin{aligned}
 1 \text{ มิลลิลิตร } 0.1000 \text{ นอร์มัล โซเดียมไฮดรอกไซด์} &= 0.0090 \text{ กรัม กรดแลกติก} \\
 1 \text{ มิลลิลิตร } 0.0950 \text{ นอร์มัล โซเดียมไฮดรอกไซด์} &= \frac{0.0090 \times 0.0950}{0.1000} \\
 &= 0.008550 \text{ กรัม กรดแลกติก} \\
 2.05 \text{ มิลลิลิตร } 0.0950 \text{ นอร์มัล โซเดียมไฮดรอกไซด์} &= 2.05 \times 0.008550 \\
 &= 0.0175 \text{ กรัม กรดแลกติก} \\
 \text{ตัวอย่าง } 10 \text{ กรัม มีกรดแลกติก} &= 0.0175 \text{ กรัม} \\
 \text{ถ้าตัวอย่าง } 100 \text{ กรัม มีกรดแลกติก} &= \frac{0.0175 \times 100}{10} \\
 \text{กรดแลกติก (ร้อยละ)} &= 0.175 \text{ กรัม}
 \end{aligned}$$

ค-2 การตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง

การวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (AOAC, 2000) โดยชั่งตัวอย่างนมผง 13 กรัม เติมน้ำอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ให้ครบ 100 กรัม คนให้ละลาย แล้วนำไปวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์ ก่อนการวัดต้องปรับค่ามาตรฐานในการวัดด้วยสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐานที่มีความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 4.00 และ 7.00 ตามลำดับ ทำการวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่าง 3 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

ค-3 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

1. บันทึกมวลของกระป๋องอะลูมิเนียมที่สะอาดและผ่านการอบเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถแก้วดูดความชื้น
2. ชั่งตัวอย่างนมผงประมาณ 1-1.5 กรัม ลงในกระป๋องอะลูมิเนียม แล้วนำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จนได้มวลคงที่ (ประมาณ 5 ชั่วโมง)
3. นำกระป๋องอะลูมิเนียมออกจากตู้อบ และปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้นประมาณ 20 นาที
4. บันทึกมวลของกระป๋องอะลูมิเนียมและของแข็งที่เหลืออยู่ และคำนวณหาปริมาณความชื้น

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ, เทียบกับมวลเปียก)} = \frac{(A-B) \times 100}{C}$$

เมื่อ A = มวลตัวอย่าง + มวลกระป๋องก่อนอบ (กรัม)
 B = มวลตัวอย่าง + มวลกระป๋องหลังอบ (กรัม)
 C = มวลตัวอย่าง (กรัม)

ค-4 การวัดสีระบบฮันเตอร์

การวัดสีระบบฮันเตอร์ (Hunter Lab : L a* b*, Minolta Camera Co., Ltd., 1991) เป็นการวัดสีด้วยเครื่องวัดสี Minolta Camera : CR-300 model วัดค่าสีในระบบฮันเตอร์ โดยค่าสี L เป็นค่าความสว่าง a* เป็นค่าสีแดงและสีเขียว และ b* เป็นค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน

เมื่อ L คือ ค่าความสว่าง มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 100
 a* คือ ค่าสีแดง เมื่อ a* มีค่าบวก เป็นสีแดง
 a* มีค่าลบ เป็นสีเขียว
 b* คือ ค่าสีเหลือง เมื่อ b* มีค่าบวก เป็นสีเหลือง
 b* มีค่าลบ เป็นสีน้ำเงิน

ก่อนการวัดทุกครั้งต้องทำการปรับมาตรฐานเครื่อง โดยใช้แผ่นเทียบสีมาตรฐานสีขาว (white blank ; Y = 92.1, x = 0.3137, y = 0.3197) แล้วจึงทำการวัดสีของตัวอย่างนมผง และนํ้านมที่ได้จากการละลายนมผง (ชั่งนมผง 13 กรัม เติมนํ้าอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ให้ครบ 100 กรัม คนให้ละลาย) บันทึกผลการทดลอง ทำการวัด 3 ซ้ำ แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

ค-5 การหาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total Plate Count)

การหาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ด้วยวิธี pour plate (AOAC, 2002)

การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

1. สารละลายบัฟเฟอร์เปปโตน ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ชั่งเปปโตน 0.1 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ถ่ายใส่ขวดหรือหลอดทดลอง นำไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121-124 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที
2. อาหารเลี้ยงเชื้อ plate count agar ชั่งอาหารเลี้ยงเชื้อมา 23.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1 ลิตร ต้มจนอาหารเลี้ยงเชื้อละลายหมด นำไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121-124 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที

วิธีทำ

1. เตรียมตัวอย่างนมผง ใช้กรรไกรที่ฆ่าเชื้อด้วยแอลกอฮอล์ เปิดถุงที่บรรจุตัวอย่างนมผง แล้วชั่งตัวอย่างนมผง 10 กรัม ใส่ในขวดที่ผ่านการฆ่าเชื้อ ที่มีสารละลายบัฟเฟอร์เปปโตน 90 กรัม ผสมให้เข้ากัน สารละลายที่ได้เป็นตัวอย่างที่เจือจาง 1 : 10 หรือ 10^{-1}
2. ปิเปตตัวอย่างที่เจือจาง 1 : 10 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองที่มีสารละลายบัฟเฟอร์เปปโตน 9 มิลลิลิตร เขย่าตัวอย่างให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ได้เป็นสารละลายตัวอย่างที่เจือจาง 1 : 100 หรือ 10^{-2}
3. นำตัวอย่างที่เจือจาง 1 : 100 มาเจือจางให้เป็น 1 : 1000 หรือ 10^{-3} โดยทำเช่นเดียวกับข้อ 2.

การใส่อาหารเลี้ยงเชื้อ

1. ใช้ปิเปตที่ผ่านการฆ่าเชื้อดูดสารละลายตัวอย่างอาหารเจือจางที่เตรียมไว้ (10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3}) ลงในจานเพาะเชื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อ จานละ 1 มิลลิลิตร ระดับเจือจางละ 2 จาน โดยเริ่มดูดจากตัวอย่างอาหารที่มีความเจือจางมากที่สุด
2. เทอาหารเลี้ยงเชื้อ plate count agar ที่ยังเป็นของเหลวที่อุณหภูมิประมาณ 45-55 องศาเซลเซียส ลงในจานเพาะเชื้อที่มีสารละลายตัวอย่าง จานละประมาณ 15-20 มิลลิลิตร
3. ผสมตัวอย่างและอาหารเลี้ยงเชื้อให้เข้ากันดี วางทิ้งไว้จนอาหารแข็งตัว คว่ำจานเพาะเชื้อลง และนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ± 3 ชั่วโมง

การตรวจนับจุลินทรีย์

หลังจากบ่มเชื้อตามกำหนดเวลาแล้ว ตรวจนับจำนวนโคโลนีบนจานเพาะเชื้อที่มีจำนวนโคโลนีระหว่าง 30-300 โคโลนี นำค่าเฉลี่ยจากทั้ง 2 จานเพาะเชื้อ รายงานผลการตรวจนับว่ามีจำนวน Mesophilic aerobic bacteria ในรูปจำนวนโคโลนีต่อนมผง 1 กรัม

ภาคผนวก ง
แบบประเมินสมบัติทางประสาทสัมผัส

แบบประเมินสมบัติทางประสาทสัมผัส
9-point Hedonic Scale

ชื่อผลิตภัณฑ์ นมผงเสริมบีตาแคโรทีนที่สกัดจากน้ำมันปาล์มดิบ

ชื่อผู้ทดสอบ วันที่ ชุดที่

คำแนะนำ กรุณาทดสอบตัวอย่างตามลำดับจากซ้ายไปขวา แล้วให้คะแนนความชอบในแต่ละ

คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ให้ตรงกับรหัสตัวอย่าง โดยกำหนดให้

<u>ระดับความชอบ</u>	<u>คะแนน</u>
ชอบมากที่สุด	9
ชอบมาก	8
ชอบปานกลาง	7
ชอบเล็กน้อย	6
ไม่รู้สึกว่าชอบหรือไม่ชอบ (เฉยๆ)	5
ไม่ชอบเล็กน้อย	4
ไม่ชอบปานกลาง	3
ไม่ชอบมาก	2
ไม่ชอบมากที่สุด	1

ทดสอบทีละตัวอย่าง และกรณียบ้วนปากทุกครั้งระหว่างตัวอย่าง

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง		
สี			
กลิ่น			
รสชาติ			
ความชอบโดยรวม			

ข้อเสนอแนะ

ขอบคุณที่ให้ความร่วมมือ

ภาคผนวก จ

บทความสำหรับการเผยแพร่

กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการนำผลจากโครงการไปใช้ประโยชน์
ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้ กิจกรรม
ที่ดำเนินมา ผลที่ได้รับตลอดโครงการ และงานวิจัยสำหรับตีพิมพ์

1) บทความสำหรับการเผยแพร่

นมผงเสริมเบต้าแคโรทีนสกัดจากน้ำมันปาล์มดิบ

พัชรินทร์ ระวิยัน

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

การขาดวิตามินเอเป็นปัญหาสำคัญกับเด็กไทย เนื่องจากการขาดความรู้ด้านโภชนาการ และวิตามินเอที่นำเข้าจากต่างประเทศมีราคาสูง แต่เนื่องจากร่างกายสามารถสร้างวิตามินเอได้จากบีตาแคโรทีนซึ่งเป็นสารที่มีอยู่สูงมากในน้ำมันปาล์มดิบ การสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบ แล้วนำไปเสริมในนมจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยลดปัญหาการขาดวิตามินเอในเด็ก

งานวิจัยเรื่อง นมผงเสริมบีตาแคโรทีนสกัดจากน้ำมันปาล์มดิบ มีวัตถุประสงค์หลัก คือ เพื่อศึกษาสถานะและปริมาณการเติมบีตาแคโรทีนที่สกัดได้จากน้ำมันปาล์มดิบในน้ำมันที่ทำเป็นผงโดยการอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยเปรียบเทียบทิศทางการพ่นแบบตามกระแสลมร้อนและสวนกระแสลมร้อน และเปรียบเทียบการใช้ไขมันถั่วเหลืองและน้ำมันดอกทานตะวันในการละลายแคโรทีนอยด์ และศึกษาความคงตัวของบีตาแคโรทีนในนมผงที่เสริมบีตาแคโรทีนที่เก็บนาน 180 วัน โดยใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) ในการวิเคราะห์ปริมาณและการเปลี่ยนแปลงของอนุพันธ์ของแคโรทีนอยด์ นอกจากนี้ยังทำการเปรียบเทียบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของนมผงที่เสริมบีตาแคโรทีน กับนมผงที่ไม่เสริมบีตาแคโรทีนและนมผงที่จำหน่ายในท้องตลาด ซึ่งผลการศึกษารูปได้ดังนี้

สถานะที่เหมาะสมในการเสริมบีตาแคโรทีนที่สกัดได้จากน้ำมันปาล์มดิบ ในน้ำมันที่ทำเป็นผง โดยวิธีการอบแห้งแบบฉีดพ่นฝอย คือใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 175 องศาเซลเซียส ใช้หัวฉีดพ่นชนิดใช้แรงดันสูงเบอร์ 1.5 ความดันที่ออกจากปั๊ม 15 บาร์ ที่ความเร็วในการพ่นของเหลว 35 รอบต่อวินาที และใช้ความเร็วปั๊มลม 25 รอบต่อวินาที โดยใช้ทิศทางการพ่นแบบสวนกระแสลมร้อน ซึ่งนมผงที่ได้มีลักษณะที่แห้ง เป็นผงละเอียด มีสีและกลิ่นใกล้เคียงกับนมวัตถุดิบ มีส่วนที่ตกค้างในห้องอบแห้งของเครื่องอบแห้งน้อยและมีปริมาณความชื้นของนมผงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน คือ ไม่เกินร้อยละ 5 โดยมวล

บีตาแคโรทีนในน้ำมันมีการสูญเสียจากการสัมผัสแสง และออกซิเจนในระหว่างการผสมน้ำมันกับบีตาแคโรทีนในถังผสม ซึ่งน้ำมันจะต้องอยู่ในถังผสมซึ่งเป็นระบบเปิดประมาณ 1 ชั่วโมง ถ้าออกแบบเครื่องผสมให้เป็นระบบปิด ก็จะช่วยป้องกันการสูญเสียในขั้นตอนผสมได้ นอกจากนี้หากสามารถทดแทนหัวฉีดพ่นเป็นแบบหัวเหวี่ยง ก็จะช่วยลดการสูญเสียบีตาแคโรทีนระหว่างการทำแห้งได้อีก เนื่องจากอนุภาคน้ำมันจะมีขนาดเล็กกว่าการใช้หัวฉีดพ่น จึงแห้งได้เร็วกว่า

จากการศึกษาปริมาณบีตาแคโรทีน และการเปลี่ยนแปลงอนุพันธ์ของแคโรทีนอยด์ ในนมผงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 180 วัน พบว่า หลังจากผ่านกระบวนการอบแห้ง สิ่งทดลองที่ใช้ไขมันถั่วเหลืองเป็นตัวละลายแคโรทีนอยด์ มีปริมาณบีตาแคโรทีนลดลงมากกว่าร้อยละ 50 และสถานะที่ใช้ในการอบแห้งเป็นการพ่นแบบสวนกระแสลมร้อนจะมีการลดลงของปริมาณบีตาแคโรทีนน้อยกว่าการ

พันแบบตามกระแสลมร้อนอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และสิ่งทดลองที่ใช้ น้ำมันถั่วเหลืองเป็นตัวละลาย แคโรทีนอยด์ และใช้สภาวะในการอบแห้งเป็นการพันแบบสวนกระแสลมร้อน มีการเปลี่ยนแปลงของ อนุพันธ์แคโรทีนอยด์น้อยกว่าสิ่งทดลองอื่น และมีปริมาณจุลินทรีย์ตลอดจนความชื้นได้ตามมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

จากการทดสอบความชอบหรือการยอมรับรวมของผู้บริโภคต่อนมผงเสริมบีตาแคโรทีนปริมาณ 1500 IU ที่ใช้น้ำมันถั่วเหลืองเป็นตัวทำละลายแคโรทีนอยด์ และทำแห้งโดยใช้ทิศทางการพันแบบสวน กระแสลมร้อน เปรียบเทียบกับนมที่ไม่ได้เสริมบีตาแคโรทีนและนมผงจากท้องตลาด โดยใช้แบบทดสอบ Hedonic 9 scale ใช้ผู้ทดสอบชิม 50 คน พบว่า ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับนมผงเสริม บีตาแคโรทีนด้านกลิ่นไม่แตกต่าง ($p > 0.05$) กับนมที่ไม่ได้เติมบีตาแคโรทีน และนมผงจากท้องตลาด แต่ ให้การยอมรับด้านสี รสชาติ และการยอมรับรวมน้อยกว่า ($p \leq 0.05$) จึงควรมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์โดย การปรุงแต่งกลิ่นรสนมผงเสริมบีตาแคโรทีนต่อไป

2) กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการนำผลจากโครงการไปใช้ประโยชน์

1. ได้ให้ข้อมูลแก่ผู้ประกอบการที่ผลิตน้ำมันปาล์มดิบ และผู้สนใจทั่วไปผ่านโครงการปาล์ม น้ำมัน สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
2. ได้เตรียมต้นฉบับเพื่อส่งตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารระดับชาติที่มี peer review
3. ได้นำเสนอปากเปล่า และแสดงผลงาน (โปสเตอร์) ในงานวิชาการ “การพัฒนาอย่างสมดุล และรอบด้านบนฐานความรู้” วันที่ 12-13 มิถุนายน 2551 ณ อาคารที่ปึงกรัศมีโชติ มหาวิทยาลัย ราชภัฏสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี

3) ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้ และกิจกรรมที่ดำเนินการมาและผลที่ได้รับ
ตลอดโครงการ

วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางแผนไว้	กิจกรรมที่ดำเนินการมา	ผลที่ได้รับตลอดโครงการ
1.การตรวจเอกสารที่เกี่ยวข้อง	ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับ น้ำมันปาล์มดิบ การสกัดแคโรทีนอยด์ การอบแห้งแบบพ่นฝอย การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC	ปฏิบัติกิจกรรมตามที่ วางแผนไว้	ได้ข้อมูลพื้นฐานในการ ทำงานวิจัย
2. ศึกษาสถานะและ ปริมาณการเติมปีตา แคโรทีนที่เหมาะสมใน การเสริมปีตาแคโรทีนที่ สกัดได้จากน้ำมันปาล์ม ดิบในน้ำมันที่ทำเป็นผง โดยอบแห้งแบบพ่น ฝอย	ศึกษาการสกัดแคโรทีนอยด์ วิเคราะห์แคโรทีนอยด์ที่สกัด ได้จากน้ำมันปาล์มดิบ สมบัติ ของน้ำมันคีนรูปที่ใช้เป็น วัตถุดิบ ศึกษาในการอบ แห้งแบบพ่นฝอยและปริมาณ การเติมปีตาแคโรทีนที่ เหมาะสมในน้ำมันที่ทำเป็น ผงโดยอบแห้งแบบพ่นฝอย	ปฏิบัติกิจกรรมตามที่ วางแผนไว้	ได้สถานะและปริมาณ การเติมปีตาแคโรทีนที่ สกัดจากน้ำมันปาล์มดิบ ที่เหมาะสมในน้ำมันที่ทำ เป็นผงโดยอบแห้ง แบบพ่นฝอย
3. ศึกษาความคงตัวของ ปีตาแคโรทีนในนมผงที่ เสริมปีตาแคโรทีน	ศึกษาการเปลี่ยนแปลง อนุพันธ์ของแคโรทีนและ ความคงตัวของปีตาแคโรทีน ในนมผงและสมบัติของนม ผงเสริมปีตาแคโรทีน	ปฏิบัติกิจกรรมได้ตามที่ วางแผนไว้	ได้ข้อมูลการเปลี่ยน แปลงอนุพันธ์ของ แคโรทีน ปริมาณของ ปีตาแคโรทีนในนมผง และสมบัติของนมผง เสริมปีตาแคโรทีนเมื่อ เก็บนาน 180 วัน
4. ศึกษาสมบัติทาง ประสาทสัมผัสของนม ผงที่เสริมปีตาแคโรทีน	ศึกษาสมบัติทางประสาท สัมผัสของนมผงที่เสริมปีตา แคโรทีน	ปฏิบัติกิจกรรมตามที่ วางแผนไว้	ได้ข้อมูลสมบัติทาง ประสาทสัมผัสของนม ผงที่เสริมปีตาแคโรทีน

4) งานวิจัยสำหรับตีพิมพ์

นมผงเสริมบีตาแคโรทีนที่สกัดจากน้ำมันปาล์มดิบ

Fortification of Milk Powder with Beta-carotene Extracted from Crude Palm Oil

พัชรินทร์ ระวียัน¹ และ ศิริชญา อุทัยดา¹

Patcharin Raviyan¹ and Treechada Utaida¹

บทคัดย่อ

การทำนมผงเสริมบีตาแคโรทีนที่สกัดจากน้ำมันปาล์มดิบ ได้ศึกษาโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยเปรียบเทียบทิศทางการพ่นแบบตามกระแสลมร้อนกับแบบสวนกระแสลมร้อน และเปรียบเทียบการใช้น้ำมัน ถั่วเหลืองกับน้ำมันดอกทานตะวันในการละลายแคโรทีนอยด์ โดยใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบของเหลวสมรรถนะสูงวิเคราะห์ปริมาณบีตาแคโรทีน พบว่าสภาวะการอบแห้งที่ทำให้อนุพันธ์แอลฟาและบีตาแคโรทีนมีความคงตัวมากที่สุด คือการใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 175 องศาเซลเซียส ใช้หัวฉีดพ่นชนิดใช้แรงดันสูงเบอร์ 1.5 ความดันที่ออกจากปั๊ม 15 บาร์ ใช้ความเร็วในการพ่นของเหลว 35 รอบต่อวินาที และใช้ความเร็วปั๊ม 25 รอบต่อวินาที โดยปริมาตรของเหลวที่ออกจากหัวฉีดเท่ากับ 200 มิลลิลิตรต่อนาที ใช้น้ำมันถั่วเหลืองเป็นตัวละลายแคโรทีนอยด์ และใช้ทิศทางการพ่นแบบสวนกระแสลมร้อน เมื่อเก็บรักษาตัวอย่างนมผงเป็นเวลา 120 วัน พบว่า บีตาแคโรทีนมีปริมาณลดลงร้อยละ 67 และมีการเปลี่ยนแปลงไอโซเมอร์จากทรานส์ไปเป็นซิสบางส่วน ผู้ทดสอบชิมยังให้การยอมรับโดยรวมน้อยกว่านมผงที่ไม่ได้เสริมบีตาแคโรทีนและนมผงที่จำหน่ายในท้องตลาด ($p \leq 0.05$)

คำสำคัญ : นมผง บีตาแคโรทีน น้ำมันปาล์มดิบ

Keywords: dried milk, beta-carotene, crude palm oil

E-mail address : p.charin@chiangmai.ac.th

บทนำ

วิตามินเอ (vitamin A) เป็นวิตามินที่ละลายในไขมัน พบเฉพาะในสัตว์ และสะสมอยู่ในตับ ซึ่งเมื่อร่างกายต้องการจะปล่อยเข้าสู่กระแสเลือด หลังจากนั้นเซลล์เยื่อบุผิวที่มีอยู่ทั่วร่างกายจะนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป อาหารที่ได้จากพืชไม่มีวิตามินเอ แต่มีสารประกอบแคโรทีนอยด์ (carotenoid) ซึ่งสามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ที่ผนังลำไส้เล็ก ตับ และไต จึงเรียกแคโรทีนอยด์ว่าเป็นโปรวิตามินเอ (provitamin A)

¹ ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร ต.แม่เหียะ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50100

แคโรทีนอยด์พบมากในพืชผักที่มีสีเขียวและสีเหลือง และผลไม้ที่มีสีเหลืองหรือสีส้มแดง เช่น แครอท ฟักทอง มะละกอสุก มะเขือเทศ ใบคะน้า ใบยอ และใบตำลึง แคโรทีนอยด์ที่พบในธรรมชาติมีหลายชนิด ได้แก่ แอลฟาแคโรทีน บีตาแคโรทีน และแกมมาแคโรทีน เป็นต้น (นิธิยา, 2545)

วิตามินเอมีความสำคัญ คือ ช่วยในการมองเห็นในที่สลัว บีตาแคโรทีนนอกจากจะเป็นโปรวิตามินเอแล้วยังทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชัน ช่วยทำลายอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในร่างกายจึงช่วยชะลอความแก่และยับยั้งการเกิดมะเร็ง (แสงโสม, 2548; Kaufman, 2005) ปัญหาการขาดสารอาหารหรือภาวะทุพโภชนาการในเด็กนับว่าเป็นปัญหาที่สำคัญยิ่ง เพราะทำให้เด็กมีร่างกายแคระแกร็น สติปัญญาไม่ดี เมื่อเติบโตขึ้นก็จะเป็นประชากรที่ไม่มีคุณภาพ เป็นภาระและสร้างปัญหาให้กับสังคม รวมทั้งเป็นอุปสรรคในการพัฒนาประเทศ (ลิลิต และคณะ, 2544) การแก้ปัญหานี้จึงมีการสนับสนุนให้เด็กได้รับวิตามินเอ และเลือกอาหารที่มีวิตามินเอ การเสริมวิตามินเอลงในอาหารเป็นวิธีหนึ่งที่จะทำให้อาหารมีปริมาณวิตามินเอสูงขึ้นจนสามารถใช้อาหารนั้นเป็นแหล่งของวิตามินเอ วิธีนี้เรียกว่า food fortification ซึ่งมีการเสริมลงในผลิตภัณฑ์ เช่น นม เนยเทียม อาหารเข้าัญพืช และนมผง (Murphy, 1995; Hicks, Hansan and Rushing, 1996) ซึ่งวิธีนี้ประสบความสำเร็จในประเทศที่พัฒนาแล้ว และมีการเสริมวิตามินเอในอาหารเพิ่มขึ้นอย่างกว้างขวางในประเทศที่กำลังพัฒนา เช่น น้ำมันที่ใช้ประกอบอาหาร น้ำตาล แป้งข้าวโพด และแป้งข้าวสาลี (Nestel and Nalubola, 2003)

การขาดวิตามินเอเป็นปัญหาสำคัญกับเด็กไทย เนื่องจากขาดความรู้ด้านโภชนาการและวิตามินเอที่นำเข้าจากต่างประเทศมีราคาสูง ด้วยเหตุนี้การวิจัยเรื่องการสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบ (พัชรินทร์ และคณะ, 2548) จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะทำให้ประเทศไทยสามารถผลิตแคโรทีนอยด์ที่มีราคาถูกลง การศึกษาการเสริมบีตาแคโรทีนที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบจะมีสมบัติแตกต่างจากบีตาแคโรทีนที่ผลิตจากต่างประเทศ เนื่องจากสมบัติและแหล่งของแคโรทีนอยด์ที่ได้นั้นมีความแตกต่างกัน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาสมบัติทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และการยอมรับของผู้บริโภคในนมผงที่เสริมบีตาแคโรทีนที่สกัดจากน้ำมันปาล์มดิบ การเสริมบีตาแคโรทีนในนมจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยลดปัญหาการขาดวิตามินเอในเด็ก นอกจากนี้ยังเป็นการนำแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้จากน้ำมันปาล์มดิบมาใช้ประโยชน์ในด้านอื่นให้กว้างขวางยิ่งขึ้นต่อไป โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการเสริมบีตาแคโรทีนที่สกัดได้จากน้ำมันปาล์มดิบในน้ำมันที่ทำเป็นผงโดยการอบแห้งแบบพ่นฝอย ศึกษาความคงตัวของบีตาแคโรทีนและสมบัติทางประสาทสัมผัสของนมผงที่เสริมบีตาแคโรทีน

วิธีการทดลอง

1. การสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบ

น้ำมันปาล์มที่ผ่านการกำจัดกัมและโลหะหนักเข้าเครื่องสกัดแคโรทีนอยด์ โดยใช้อัตราส่วนน้ำมันปาล์ม ดิบต่อเฮกเซนเป็น 1 ต่อ 3 และใช้เฮกเซนที่อุณหภูมิ -10 องศาเซลเซียส ที่อัตราเร็วใบกวน 250 รอบต่อนาที และ จับเวลาในการสกัด 5 นาที จากนั้นนำสารละลายที่ได้ กรองด้วยกระดาษกรอง แล้วนำสารสกัดแคโรทีนอยด์ไประเหยเฮกเซนออกด้วยระบบสุญญากาศ แล้วนำมาทำให้บริสุทธิ์และเข้มข้น โดยกระบวนการสะปอนิฟิเคชัน (saponification) ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 25 ในเอทานอลเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ที่

อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นำส่วนที่ละลายในเฮกเซนไประเหยเฮกเซนที่ความดัน 230 มิลลิบาร์ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และนำไปทำการวิเคราะห์ต่อไป

2. การวิเคราะห์แคโรทีนอยด์ที่สกัดได้จากน้ำมันปาล์มดิบ

สร้างกราฟมาตรฐานบีตาแคโรทีน ตามวิธี AOAC (2002) เตรียมแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้จากน้ำมันปาล์มดิบให้อยู่ในรูปของน้ำมันดอกทานตะวัน และน้ำมันถั่วเหลือง (Sachindra and Mahendrakar, 2005) จากนั้นวิเคราะห์แคโรทีนอยด์โดยวิธี AOAC (2002) หาค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยใช้เฮกเซนเป็น blank และจะได้ค่าความเข้มข้นของบีตาแคโรทีน (ไมโครกรัมต่อกรัม) แล้วนำไปคำนวณหาค่าความเข้มข้นเป็นร้อยละ

3. กระบวนการผลิตนมผงด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

กระบวนการเสริมบีตาแคโรทีนในนมผง โดยทำการเติมบีตาแคโรทีนในรูปของน้ำมัน (ดัดแปลงจากวิธีของ Murphy, 2001; Johnson, 1996; Ottaway, 1993) ปริมาณ 3000, 4000 และ 5000 IU/qt โดยใช้สภาวะในการอบแห้งแบบพ่นฝอย คือ ใช้อุณหภูมิลมร้อนเข้า 175 องศาเซลเซียส หัวฉีดพ่นชนิดใช้แรงดันสูง (pressure atomizer) เบอร์ 1.5 (Spray drying Systems Co., USA) ความดันปั๊มของเหลว 15 บาร์ ความเร็วในการพ่นของเหลว 35 รอบต่อวินาที ความเร็วปั๊มลม 25 รอบต่อวินาที ทิศทางการพ่นแบบตามกระแสลมร้อน และแบบสวนกระแสลมร้อน นมผงที่ได้เก็บใส่ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ปิดผนึกด้วยระบบสุญญากาศ (vacuum seal) และเก็บในภาชนะที่มีฝาปิดสนิท

4. การวิเคราะห์ปริมาณบีตาแคโรทีนที่เสริมในนมผง

ทำการวิเคราะห์ปริมาณบีตาแคโรทีนที่เหลืออยู่ในนมผงด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) วิธีการสกัดบีตาแคโรทีนจากตัวอย่างนมผงดัดแปลงจาก Hulshof *et al* (2006) และการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC ตามวิธีของ Szpylka and Devries (2005)

5. การศึกษาสมบัติทางประสาทสัมผัสของนมผง

การทดสอบความชอบหรือการยอมรับรวมของผู้บริโภคต่อนมผงที่เสริมบีตาแคโรทีน โดยใช้แบบทดสอบ Hedonic 9 scale ใช้ผู้ทดสอบชิมทั้งหมด 50 คน ให้คะแนนตามความชอบจาก 1 ถึง 9 โดยที่ 9 เป็นคะแนนที่ชอบมากที่สุดตามลำดับไปจนถึง 1 เป็นคะแนนที่ชอบน้อยที่สุด โดยใช้นมที่ไม่ได้เสริมบีตาแคโรทีนและนมผงตามท้องตลาดเป็นตัวแทนควบคุม (ประยุกต์จากเพ็ญขวัญ, 2536; Lloyd *et al.*, 2004) ทำการทดสอบโดยคัดเลือกหน่วยการทดลองที่มีปริมาณบีตาแคโรทีนมากที่สุด จากการวิเคราะห์ปริมาณบีตาแคโรทีน ซึ่งได้ใช้ปริมาณบีตาแคโรทีน 1500 IU

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การสกัดและวิเคราะห์ความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบ

จากกระบวนการสกัดสารแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 25°C ของพัชรินทร์ (2548) พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการสกัด คือ อัตราส่วนของน้ำมันปาล์มดิบต่อเฮกเซน เท่ากับ 1 ต่อ 3 ใช้เฮกเซนที่อุณหภูมิ -10 องศาเซลเซียส และอัตราเร็วใบกวน 250 รอบต่อนาที สามารถสกัด แคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1.23 ในปริมาณร้อยละ 42.12 โดยมวลของน้ำมันปาล์มดิบเริ่มต้น และกราฟมาตรฐานบีตาแคโรทีน ถูกนำมาใช้ในการหาปริมาณของแคโรทีนอยด์ที่สกัดจากน้ำมันปาล์มดิบและทำให้เข้มข้นโดยการระเหยตัวทำละลาย เมื่อนำมาละลายในน้ำมันดอกทานตะวันและน้ำมันถั่วเหลือง 1 กรัม ได้ความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์เท่ากับร้อยละ 6.14 และ 7.70 ตามลำดับ จะเห็นว่าความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์ไม่เท่ากันเมื่อทำการละลายในน้ำมันต่างชนิดกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากน้ำมันที่ใช้ละลาย แคโรทีนอยด์มีสมบัติในการละลายต่างกัน ซึ่งน้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันดอกทานตะวันประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวร้อยละ 74 และ 85 โดยมวลของกรดไขมันทั้งหมด ตามลำดับ น้ำมันถั่วเหลืองประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวน้อยกว่าซึ่งจะถูกออกซิไดส์ได้น้อยกว่า แคโรทีนอยด์จึงมีความคงตัวและมีความเข้มข้นมากกว่าที่ละลายในน้ำมันดอกทานตะวัน (นิธิยา, 2548)

2. การศึกษาสภาวะในการอบแห้งแบบพ่นฝอยของน้ำมันคีนรูปเสริมบีตาแคโรทีน

การศึกษานี้พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการอบแห้งน้ำมันเสริมบีตาแคโรทีน คือการใช้อุณหภูมิลมร้อนเข้า 175 องศาเซลเซียส หัวฉีดพ่นชนิดใช้แรงดันสูงเบอร์ 1.5 ความดันปั๊มของเหลว 15 บาร์ ความเร็วในการพ่นของเหลว 35 รอบต่อวินาที ความเร็วปั๊มลม 25 รอบต่อวินาที ทั้งนี้เนื่องจากสามารถผลิตนมผงให้ได้ลักษณะปรากฏที่แห้ง เป็นผงละเอียด มีสีและกลิ่นใกล้เคียงกับนมผงชนิด และมีส่วนที่ตกค้างในห้องอบแห้งน้อย นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณความชื้นของนมผงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน คือ ไม่เกินร้อยละ 5 โดยมวล และใช้น้ำมันถั่วเหลืองเป็นตัวละลายแคโรทีนอยด์ และใช้สภาวะในการอบแห้งเป็นการพ่นแบบสวนกระแสลมร้อน (Table 1)

ปริมาณความชื้นในนมผงที่ใช้น้ำมันถั่วเหลืองและทิศทางการพ่นแบบสวนกระแสลมร้อน (SB-CT) และใช้น้ำมันดอกทานตะวัน มีทิศทางการพ่นแบบตามกระแสลมร้อน (SF-CO) ไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) แต่ค่าสี L, a* และ b* ของสิ่งทดลองทั้งหมดมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) (Table 1) แสดงว่าชนิดของน้ำมันที่ใช้ละลายบีตาแคโรทีน และทิศทางการพ่นลมร้อนมีผลต่อปริมาณความชื้น ค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองของนมผงเสริมบีตาแคโรทีนเมื่อเทียบกับนมผงควบคุม การพ่นแบบตามกระแสลมร้อนจะได้นมผงที่มีค่าความชื้นต่ำกว่าการพ่นแบบสวนกระแสลมร้อน และการใช้น้ำมันถั่วเหลืองเป็นตัวละลายให้นมผงที่มีสีเข้มกว่าการใช้น้ำมันดอกทานตะวัน ทั้งนี้เนื่องจาก การพ่นแบบตามกระแสลมร้อนน้ำมันที่ถูกฉีดพ่นออกมาจากหัวฉีดสัมผัสกับความร้อนสูงทันที ทำให้ปริมาณน้ำถูกระเหยออกไปอย่างรวดเร็ว จึงทำให้มีค่าความชื้นที่ต่ำและมีสีที่เข้มมากกว่า นอกจากนี้ นมผงที่ผ่านการอบแห้งจะมีค่าความสว่างน้อยกว่านมผงวัตถุดิบ : ซึ่งอาจเนื่องจากการนำนมผงวัตถุดิบกลับมาละลายและผ่านความร้อนสูง จึงทำให้เกิดสีที่เข้มมากขึ้น

ซึ่งสอดคล้องกับ Baechler *et al.* (2005) ที่ได้รายงานว่า นมผงที่ถูกให้ความร้อนในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม จะมีสีเข้มขึ้นหรือสีน้ำตาลอันเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction)

3. การศึกษาความคงตัวของแคโรทีนอยด์ในนมผง

จากการวิเคราะห์ปริมาณบีตาแคโรทีนที่เหลืออยู่ในนมผงด้วยเทคนิค HPLC ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 120 วัน พบว่า หลังจากผ่านกระบวนการอบแห้ง สิ่งทดลองที่ใช้ไขมันถั่วเหลืองเป็นตัวละลายแคโรทีนอยด์ และใช้สภาวะในการอบแห้งเป็นการปั่นแบบสวนกระแสลมร้อน มีปริมาณบีตาแคโรทีนเหลืออยู่ในปริมาณมากกว่าสิ่งทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยมีปริมาณลดลงร้อยละ 67 และอนุพันธ์แคโรทีนอยด์มีความคงตัวดีกว่าการใช้สภาวะอื่น แต่มีการเปลี่ยนแปลงไอโซเมอร์จากทรานส์ไปเป็นซิสบางส่วน

Table 1 Effect of oil bases and drying conditions upon properties of milk powder fortified with beta-carotene

Treatment	Properties of milk powder ¹				color	appearance
	moisture(%)	L	a*	b*		
control	1.88 ^a ±0.02	70.41 ^e ±0.0	(+)7.54 ^e ±0.07	(+)33.67 ^c ±0.03	Dark	dry
		4			yellow	
SB-CO	2.06 ^b ±0.12	71.84 ^d ±0.	(+)7.16 ^d ±0.0	(+)33.96 ^e ±0.09	Dark	dry
		06	5		yellow	
SB-CT	2.87 ^c ±0.13	75.36 ^b ±0.	(+)5.21 ^b ±0.0	(+)32.79 ^b ±0.04	Dark	dry
		09	4		yellow	
SF-CO	2.99 ^c ±0.04	74.42 ^c ±0.0	(+)6.02 ^c ±0.06	(+)33.79 ^d ±0.02	yellow	dry
		5				
SF-CT	3.31 ^d ±0.11	77.64 ^a ±0.0	(+)4.33 ^a ±0.02	(+)31.54 ^a ±0.04	yellow	dry
		5				

a,b,c,... the same character with the same column is non significant ($p>0.05$), ¹ average $\pm$ S.D., control= milk powder not beta-carotene, SB = milk powder with beta-carotene in soybean oil, SF = milk powder with beta-carotene in sunflower oil, CO = co-current air flow, CT = counter-current air flow

4. การศึกษาสมบัติทางประสาทสัมผัสของนมผง

การทดสอบความชอบหรือการยอมรับรวมของผู้บริโภคต่อนมผงเสริมบีตาแคโรทีน โดยใช้ไขมันที่เสริมบีตาแคโรทีนปริมาณ 1500 IU ซึ่งเป็นปริมาณที่แนะนำให้บริโภคต่อวัน โดยใช้ไขมันถั่วเหลืองเป็นตัวละลาย และศึกษาการปั่นแบบสวนกระแสลมร้อน ใช้ไขมันที่ไม่ได้เสริมบีตาแคโรทีนและนมผงตามท้องตลาดเป็นตัวควบคุม พบว่า ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับด้านกลิ่นไม่แตกต่าง ($p>0.05$) กับนมที่ไม่ได้เติมบีตา

แคโรทีน และนมผงจากท้องตลาด แต่ให้การยอมรับด้านสี รสชาติ และการยอมรับรวมน้อยกว่า ($p \leq 0.05$) การเพิ่มการยอมรับต่อนมผงเสริมบีตาแคโรทีนด้านสีและรสชาติ อาจทำได้โดยการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีรสชาติอื่น เช่น รสช็อคโกแลต หรือรสผลไม้ เป็นต้น

Table 2 Sensory evaluations of commercial milk powder, milk powders fortified with beta-carotene and control milk powder

Treatment	Attribute			
	color	odor	flavor	overall acceptance
commercial milk powder	7.52 ^a ± 1.39	5.96 ^a ± 1.63	5.98 ^a ± 1.84	6.36 ^a ± 1.56
milk powder fortified with beta-carotene	5.00 ^c ± 2.13	6.02 ^a ± 1.80	4.06 ^b ± 1.98	4.80 ^b ± 1.74
Control milk powder	6.02 ^b ± 1.76	6.58 ^a ± 1.47	5.76 ^a ± 1.80	6.10 ^a ± 1.56

^{a,b,c} the same character with the same column is non significant ($p > 0.05$)

control milk powder = milk powder without beta-carotene fortification

คำนิยาม

ขอขอบคุณ สำนักงานสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่กรุณาสับสนุนเงินทุนในการทำวิจัย และขอขอบคุณ บริษัท ชุมพรอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม จำกัด (มหาชน) ที่เอื้อเฟื้อน้ำมันปาล์มดิบที่ใช้เป็นวัตถุดิบในงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

นิธิยา รัตนปนนท์. 2548. วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ :

โอเดียนสโตร, 256 หน้า.

นิธิยา รัตนปนนท์. 2545. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร, 504 หน้า.

พัชรินทร์ ระวีชัย, สรศักดิ์ เหลียวไชยพันธุ์, ดวงสมร ลิ้มบัติ และประมวล ศรีกาหลง. 2548. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการการสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบด้วยตัวทำละลายที่อุณหภูมิต่ำเพื่อใช้เป็นสีผสมอาหาร. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

เพ็ญขวัญ ชมปรีดา. 2536. การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส. กรุงเทพฯ : ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- ลิลิต อินทนา และคณะ. 2544. “การพัฒนาคุณภาพนมโรงเรียนในพื้นที่จังหวัดอุบลราชธานี”. *วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์*, 3 : 248-260.
- แสงโสม สีนะวัฒน์. “สถานการณ์โรคขาดวิตามินเอในประเทศไทย”. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.anamai.moph.go.th/factsheet> (7 มีนาคม 2548).
- AOAC. 2002. *Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL*, 17th Edition, Agricultural chemicals ; Contaminations ; Drugs, chapter 17, pp.17-22.
- Baechler, R., Clerc, M.F., Ulrich, S. and Benet, S. 2005. Physical changes in heat-treated whole milk powder. *EDP sciences.* ; 85 : 305-314.
- Hicks, T., Hansen, A.P. and Rushing, J.E. 1996. Procedures used by North Carolina dairies for vitamin A and D fortification of milk. *Journal of Dairy Science.*, 79 : 329-333.
- Hulshof, P.J.M., Tineke van Roekel-Jansen, Peter van de Bovenkamp and West, C.E. 2006. Variation in retinol and carotenoid content of milk and milk products in the Netherlands. *Journal of Food Composition and Analysis.*, 19 : 67-75.
- Johnson, R.K., Anantheswaran, R.C. and Law, S.E. 1996. Electrostatic-enhanced atomization for spray drying of milk. *Lebensm.-wiss. u.-Technology.*, 29 : 71-81.
- Kaufman, K.S.. 2005. “Clinical perspective vitamin A update”. *Vitamin Research Products.*, Carson City, NV. [Online]. Available <http://www.vrp.com/art/719.asp?c=1154901810765&k=/det/3120.asp&m=/&p=no&s=0> (March 7, 2005).
- Lloyd, M.A., Zou, J., Farnsworth, H., Ogden, L.V. and Pike, O.A. 2004. Quality at time of purchase of dried milk products commercially packaged in reduced oxygen atmosphere. *Journal of Dairy Science.*, 87:2337-2343.
- Murphy, A. 1995. “History of technology development for Vitamin A fortification of food in developing countries”. [Online]. Available <http://www.fao.org/docrep/W2840E/w2840e0c.htm> (March 7, 2005).
- Murphy, S.C., Whited, L.J., Rosenberry, L.C., Hammond, B.H., Bandler, D.K. and Boor, K.J. 2001. Fluid Milk Vitamin Fortification Compliance in New York State. *Journal of Dairy Science.*, 84 : 2813–2820.
- Nestel, P. and Nalubola, R. 2003. Fortification of foods with vitamin A is a safe intervention. USA : ILSI human nutrition institute. [Online]. Available <http://hni.ilsi.org/NR/rdonlyres/9D33802E-E233-4475-8B03-6916F591A734/0/microfacts.pdf> (March 7, 2005).
- Ottaway, P.B. 1993. *The technology of vitamins in food*. 1st ed. England : Hartnolls Ltd., pp. 128-132.

- Sachindra, N.M. and Mahendrakar, N.S. 2005. Process optimization for extraction of carotenoids from shrimp waste with vegetable oils. *Journal of Bioresource Technology.*, 96 : 1195-1200.
- Szpylka, J. and Devries, J.W. 2005. Determination of β -carotene in supplements and raw materials by reversed-phase high pressure liquid chromatography : collaborative study. *Journal of AOAC International.*, 88 : 1279-1291.