

**การศึกษาการสูญเสียไลโคปีนในระหว่างกระบวนการผลิตซอสมะเขือเทศ  
และมะเขือเทศแห้ง**

**STUDY ON LYCOPENE LOSSES DURING PROCESSING OF TOMATO  
SAUCE AND DEHYDRATED TOMATO**

**เยาวภา สิริวัฒนานุกุล  
YAOWAPA SIRIWATTANANUKUL**

**วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคณะหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร**

**บัณฑิตวิทยาลัย**

**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

**พ.ศ. 2545**

**ISBN 974-648-763-9**

การศึกษาการสูญเสียไลโคพีนในระหว่างกระบวนการผลิตซอสมะเขือเทศและ  
มะเขือเทศแช่แข็ง

STUDY ON LYCOPENE LOSSES DURING PROCESSING OF TOMATO  
SAUCE AND DEHYDRATED TOMATO

เยาวภา สิริวัฒนานุกูล

YAWAPA SIRIWATTANANUKUL

เลขทมิ.....  
เลขทะเบียน 43710  
วัน, เดือน, ปี 30 ก.ย. 2545

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร  
บัณฑิตวิทยาลัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2545

ISBN 974-648-763-9

STUDY ON LYCOPENE LOSSES DURING PROCESSING OF TOMATO  
SAUCE AND DEHYDRATED TOMATO

YAOWAPA SIRIWATTANANUKUL

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE  
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2002

ISBN 974-648-763-9

COPYRIGHT 2002

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาการสูญเสียไลโคพีนในระหว่างกระบวนการผลิต ซอสมะเขือเทศและมะเขือเทศแช่แข็ง
นักศึกษา	นางสาวเยาวภา สิริวัฒนานุกูล
รหัสประจำตัว	42066012
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตรการอาหาร
พ.ศ.	2545
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ดร.พอใจ ถามากร
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม	ผศ.ดร.ระติพร หาเรือนกิจ

### บทคัดย่อ

การเปรียบเทียบการวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนโดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมตรีและวิธี HPLC ในมะเขือเทศสดทั้งผลและคว้านเมล็ด และในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศชนิดต่างๆ ได้แก่ มะเขือเทศเข้มข้น ซอสมะเขือเทศ น้ำมะเขือเทศ มะเขือเทศปอกผิวในน้ำมะเขือเทศและมะเขือเทศแช่แข็ง พบว่าการวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนโดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมตรี ให้ผลแตกต่างจากวิธี HPLC 12.30-36.49% โดยการวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศ ที่ผ่านกระบวนการที่รุนแรง ได้แก่ มะเขือเทศเข้มข้น ซอสมะเขือเทศและมะเขือเทศแช่แข็ง มีความแตกต่างจากการวิเคราะห์ระหว่าง 2 วิธีนี้มากกว่าตัวอย่างอื่นๆ

การศึกษาผลของสภาวะที่ใช้ในการพาสเจอร์ไรซ์ซอสมะเขือเทศที่มีต่อปริมาณไลโคพีน โดยทำการพาสเจอร์ไรซ์ซอสมะเขือเทศที่ 2 สภาวะ คือที่อุณหภูมิ 60<sup>o</sup>ซ 30 นาที และ 90<sup>o</sup>ซ 10 นาที พบว่าปริมาณไลโคพีน (โดยน้ำหนักแห้ง) ในซอสมะเขือเทศที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่ 60<sup>o</sup>ซ 30 นาที มีปริมาณไลโคพีนสูงกว่าซอสมะเขือเทศที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่ 90<sup>o</sup>ซ 10 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีและปริมาณไลโคพีนในผลิตภัณฑ์ซอสมะเขือเทศที่เก็บภายใต้สภาวะเร่ง ที่อุณหภูมิ 45<sup>o</sup>ซ นาน 6 สัปดาห์ โดยทำการวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนทุกสัปดาห์ พบว่าปริมาณไลโคพีนมีแนวโน้มลดลง และจากการวัดสีของซอสมะเขือเทศโดย Chroma colorimeter พบว่าค่า L a และ b ลดลงเล็กน้อย และมีค่าการเปลี่ยนแปลงของสี ( $\Delta E$ ) เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาเก็บรักษา

การศึกษาผลของขั้นตอนการผลิตมะเขือเทศแช่แข็งที่มีต่อปริมาณไลโคพีน พบว่าสูญเสียไลโคพีนมากที่สุดในขั้นตอนการแช่น้ำเชื่อม โดยหลังจากการแช่น้ำเชื่อมถึงความเข้มข้น 60<sup>o</sup> บริกซ์ มีการสูญเสียไลโคพีนไป 80.46% เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณไลโคพีนในมะเขือเทศสดคว้านเมล็ด การศึกษาผลของขั้นตอนการอบแห้งมะเขือเทศแช่แข็งที่มีต่อปริมาณไลโคพีน โดยทำการอบแห้ง

มะเขือเทศแช่อิ่มที่ 2 สภาวะ คือ การอบด้วยวิธีลมร้อน (อุณหภูมิ 95<sup>0</sup>ซ) นาน 6 8 และ 10 ชั่วโมง และการอบแห้งในสภาวะสุญญากาศ (อุณหภูมิ 55<sup>0</sup>ซ ความดัน 100 มิลลิบาร์) นาน 10 12 และ 14 ชั่วโมง พบว่ามะเขือเทศแช่อิ่มที่อบแห้งโดยวิธีลมร้อนหรืออบแห้งในสภาวะสุญญากาศที่เวลาต่างๆกัน มีปริมาณไลโคพีนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) นอกจากนี้ยังพบว่ามะเขือเทศแช่อิ่มที่อบแห้งโดยวิธีลมร้อนนาน 8 ชั่วโมง และมะเขือเทศแช่อิ่มที่อบแห้งโดยวิธีสุญญากาศนาน 10 ชั่วโมง มีลักษณะปรากฏดีที่สุด ซึ่งจากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ามะเขือเทศแช่อิ่มที่อบแห้งโดย 2 สภาวะนี้ มีปริมาณไลโคพีนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

Thesis Title	Study on Lycopene Losses During Processing of Tomato Sauce and Dehydrated Tomato
Student	Miss Yaowapa Siriwattananukul
Student ID.	42066012
Degree	Master of Science
Programme	Food Science
Year	2002
Thesis Advisor	Dr. Porjai Thamakorn
Thesis co-advisor	Assist. Prof. Dr. Ratiporn Haruenkit

### ABSTRACT

Determination of lycopene content by spectrophotometry and HPLC methods were compared. Samples of whole fresh tomato, seed free fresh tomato, tomato paste, tomato ketchup, tomato juice, peeled tomato, and dehydrated tomato were analysed. It was shown that the difference of lycopene content determined by the two methods was in the range of 12.30% to 36.49%. Severely processed tomato products ; tomato paste, tomato ketchup, and dehydrated tomato resulted higher difference in lycopene content than other samples.

Effect of pasteurizing conditions on lycopene losses in tomato sauce was studied. It was found that lycopene content (in dry basis) of tomato sauce which pasteurized at 60<sup>o</sup>C, 30 min. significantly higher than tomato sauce which pasteurized at 90<sup>o</sup>C, 10 min. ( $P \leq 0.05$ ). During storage in accelerated condition at 45<sup>o</sup>C for 6 weeks, color and lycopene content of tomato sauce was determined every week during storage. It was found that lycopene content had decreasing trend. In addition, the L, a, and b values decreased, whereas  $\Delta E$  values increased along with storage period.

Effect of processing of dehydrated tomato on lycopene losses was studied. During osmotic process (60<sup>o</sup> Brix concentration of sucrose solution), lycopene content was utmost lost ; 80.46% compared to seed free fresh tomato. Dehydrated tomato which dried from hot-air drying (at 95<sup>o</sup>C) for 6, 8, and 10 hours, and from vacuum drying (at 55<sup>o</sup>C pressure 100 mbar) for 10, 12, and 14 hours showed non-significantly difference in lycopene content ( $P \leq 0.05$ ) on each. Samples which dried from hot-air drying for 8 hours

and vacuum drying for 10 hours, obtained the best appearance, and resulted in non-significantly difference in lycopene content ( $P \leq 0.05$ ).

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ เนื่องจากได้รับความกรุณาจาก ดร.พอใจ ถาฆาการ ที่ได้ให้เกียรติเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา และ ผศ.ดร.ระติพร หาเรือนกิจ ที่ได้ให้เกียรติเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม และได้ให้คำแนะนำแนวทางและข้อคิดเห็นต่างๆ แก่ข้าพเจ้าตลอดมา ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.ประพันธ์ ปินศิริโรตม และ ผศ.เยาวลักษณ์ สุรพันธ์พิศิษฐ์ ที่ช่วยแก้ไข และให้คำแนะนำงานวิจัยบางส่วนจนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสาทความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาของการศึกษาจนกระทั่งข้าพเจ้ามีโอกาสประสบความสำเร็จ

ขอขอบคุณบริษัทสยามพีริเออร์ฟู้ด จำกัด ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในงานวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณคุณบุญยกฤต รัตนพันธุ์ ผู้ช่วยเหลือด้านการวิเคราะห์ทางสถิติและคำแนะนำที่ดี และพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ นักศึกษาปริญญาโททุกคนและบุคคลที่ผู้วิจัยไม่ได้กล่าวไว้ในที่นี้ ที่ให้การสนับสนุน ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ และเป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอรำลึกถึงพระคุณของบิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจมาโดยตลอด คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

เยาวภา สิริวัฒนานุกูล

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญภาพ.....	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.3 วัตถุประสงค์.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ไลโคพินในมะเขือเทศ.....	4
2.2 การสังเคราะห์ไลโคพินในเซลล์พืช.....	7
2.3 คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของไลโคพิน.....	10
2.4 ความสำคัญของไลโคพินต่อโภชนาการของมนุษย์.....	17
2.5 วิธีวิเคราะห์ไลโคพิน.....	20
2.6 การเปลี่ยนแปลงของไลโคพินระหว่างการแปรรูป.....	22
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย.....	29
3.1 วัตถุประสงค์.....	29
3.2 อุปกรณ์.....	29
3.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	30
3.4 สถานที่ทำการทดลอง.....	31
3.5 วิธีการทดลอง.....	31
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	35
4.1 การเปรียบเทียบการวิเคราะห์ปริมาณไลโคพินโดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมตรี	

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
(Spectrophotometry) และวิธี HPLC.....	35
4.2 การศึกษาผลของสภาวะที่ใช้ในการพาสเจอร์ไรซ์ของมะเขือเทศที่มีต่อปริมาณ ไลโคพีน.....	39
4.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีและปริมาณไลโคพีนในผลิตภัณฑ์ของมะเขือ- เทศที่เก็บภายใต้สภาวะเร่ง.....	42
4.4 การศึกษาผลของขั้นตอนการผลิตมะเขือเทศแช่แข็งที่มีต่อปริมาณไลโคพีน.....	46
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	51
บรรณานุกรม.....	53
ภาคผนวก.....	58
ประวัติผู้เขียน.....	81

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ปริมาณไลโคพีนในผลไม้สด.....	4
2.2 ปริมาณไลโคพีนในมะเขือเทศพันธุ์ต่างๆ.....	6
2.3 แคโรทีนอยด์ชนิดต่างๆ ที่พบในมะเขือเทศ.....	10
2.4 คุณสมบัติทางกายภาพของไลโคพีน.....	11
2.5 ค่าคงที่ของการยับยั้ง singlet oxygen (Kq) ของแคโรทีนอยด์ชนิดต่างๆ.....	14
2.6 ปริมาณไลโคพีนในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศทางการค้า.....	23
2.7 การสูญเสียไลโคพีนในระหว่างการให้ความร้อนน้ำมันมะเขือเทศ.....	24
2.8 การสูญเสียไลโคพีนในสารละลายเฮกเซนและปิโตรเลียม.....	24
2.9 อิทธิพลของออกซิเจนต่ออัตราการสูญเสียไลโคพีนในระหว่างการให้ความร้อนเนื้อ มะเขือเทศที่ 100 <sup>0</sup> ซ.....	25
2.10 อิทธิพลของแสงสว่างร่วมกับอุณหภูมิต่อการสูญเสียไลโคพีนในเนื้อมะเขือเทศใน สภาวะบรรยากาศปกติ นาน 3 ชม.....	26
2.11 ปริมาณไลโคพีนทั้งหมด (total lycopene) และ cis lycopene ในมะเขือเทศทำแห้ง...	27
2.12 ปริมาณไลโคพีนในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศชนิดต่างๆ.....	28
4.1 ของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (total soluble solid) และความชื้นของมะเขือเทศสดและ ผลิตภัณฑ์มะเขือเทศชนิดต่างๆ.....	36
4.2 ปริมาณไลโคพีน (มก./100 กรัม) ในมะเขือเทศสดและผลิตภัณฑ์มะเขือเทศชนิดต่างๆ ที่ วิเคราะห์โดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรีและวิธี HPLC.....	38
4.3 ปริมาณไลโคพีน (มก./100 กรัม) ที่วิเคราะห์โดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี ของแข็งทั้งหมด ที่ละลายได้และความชื้นในระหว่างกระบวนการผลิตของมะเขือเทศ.....	41
4.4 ปริมาณไลโคพีน (มก./100 กรัม นน.สด) ความชื้นและค่าสีของของมะเขือเทศใน ระหว่างการเก็บรักษาที่ 45 <sup>0</sup> ซ.....	43
4.5 ของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ และ pH ของของมะเขือเทศในระหว่างการเก็บรักษาที่ 45 <sup>0</sup> ซ.....	45
4.6 ปริมาณไลโคพีน (มก./100 กรัม) และความชื้นของมะเขือเทศในระหว่างการผลิต มะเขือเทศแช่แข็ง.....	47
4.7 ปริมาณไลโคพีน (มก./100 กรัม) ในมะเขือเทศแช่แข็งอบแห้งด้วยวิธีลมร้อนและวิธี สุญญากาศ.....	49

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.8 ค่าสีของมะเขือเทศแช่หิมอบแห้งด้วยวิธีลมร้อนและวิธีสุญญากาศ.....	50
ข1 พื้นที่ใต้พีกของสารละลายมาตรฐาน all-trans lycopene ความเข้มข้นต่างๆ.....	61
ค1 ค่าการดูดกลืนแสงของไลโคพีนในมะเขือเทศสดและผลิตภัณฑ์มะเขือเทศ จากการวัดโดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี.....	66
ค2 พื้นที่ใต้พีกของไลโคพีนในมะเขือเทศสดและผลิตภัณฑ์มะเขือเทศ จากการวัดโดยวิธี HPLC.....	66
ง1 ค่าการดูดกลืนแสงของไลโคพีนในระหว่างกระบวนการผลิตของมะเขือเทศที่ได้จากการวัดโดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี.....	67
ง2 ค่าการดูดกลืนแสงของไลโคพีนในระหว่างการเก็บรักษาที่ได้จากการวัดโดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี.....	68
ง3 ค่า $L_a$ และ $b$ ของของมะเขือเทศในระหว่างเก็บรักษา.....	68
ง4 ค่า $\Delta E$ ของของมะเขือเทศในระหว่างเก็บรักษา.....	69
ง5 ค่า $\tan^{-1}(b/a)$ ของของมะเขือเทศในระหว่างเก็บรักษา.....	69
จ1 ของแข็งที่ละลายได้ และค่าการดูดกลืนแสงของมะเขือเทศในระหว่างกระบวนการผลิตมะเขือเทศแช่หิมอบแห้งที่ได้จากการวัดโดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี.....	70
จ2 ค่าการดูดกลืนแสงของมะเขือเทศแช่หิมอบแห้งโดยวิธีลมร้อนและวิธีสุญญากาศที่เวลาต่างๆ กัน.....	71
จ3 ค่า $L_a$ และ $b$ ของมะเขือเทศแช่หิมอบแห้งวิธีลมร้อนและวิธีสุญญากาศที่เวลาต่างๆ กัน.....	71
จ4 ค่า $A_w$ ของมะเขือเทศแช่หิมอบแห้งวิธีลมร้อนและวิธีสุญญากาศที่เวลาต่างๆ กัน.....	72
จ5 ร้อยละผลผลิต (%yield) ของมะเขือเทศแช่หิมอบแห้งวิธีลมร้อนและวิธีสุญญากาศที่เวลาต่างๆ กัน.....	72
ข1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติปริมาณไลโคพีน (โดย นน.สด) ในมะเขือเทศสดทั้งผลที่วิเคราะห์โดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรีและวิธี HPLC.....	75
ข2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติปริมาณไลโคพีน (โดย นน.สด) ในมะเขือเทศสดคว้านเมล็ดที่วิเคราะห์โดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรีและวิธี HPLC.....	76
ข3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติปริมาณไลโคพีน (โดย นน.สด) ในมะเขือเทศเข้มข้นที่วิเคราะห์โดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรีและวิธี HPLC.....	76

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติปริมาณไลโคพีน (โดย นน.สด) ในซอสมะเขือเทศที่วิเคราะห์โดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรีและวิธี HPLC.....	77
ข5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติปริมาณไลโคพีน (โดย นน.สด) ในน้ำมะเขือเทศที่วิเคราะห์โดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรีและวิธี HPLC.....	77
ข6 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติปริมาณไลโคพีน (โดย นน.สด) ในมะเขือเทศปกผิวในน้ำมะเขือเทศที่วิเคราะห์โดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรีและวิธี HPLC.....	78
ข7 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติปริมาณไลโคพีน (โดย นน.สด) ในมะเขือเทศแช่หิมที่วิเคราะห์โดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรีและวิธี HPLC.....	78
ข8 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติปริมาณไลโคพีน (โดย นน.สด) ในระหว่างกระบวนการผลิตซอสมะเขือเทศ.....	79
ข9 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติปริมาณไลโคพีน (โดย นน.แห้ง) ในระหว่างกระบวนการผลิตซอสมะเขือเทศ.....	79
ข10 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติปริมาณไลโคพีน (โดย นน.สด) ของซอสมะเขือเทศในระหว่างการเก็บรักษาที่ 45 <sup>o</sup> ซ.....	79
ข11 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติปริมาณไลโคพีน (โดย นน.แห้ง) ในระหว่างกระบวนการผลิตมะเขือเทศแช่หิม.....	80
ข12 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติปริมาณไลโคพีน (โดย นน.แห้ง) ในมะเขือเทศแช่หิมอบแห้งด้วยวิธีลมร้อนและวิธีสูญญากาศ.....	80

# สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ภาพผลมะเขือเทศตัดตามยาวและตามขวาง.....	3
2.2 แผนภาพของการเปลี่ยนคลอโรพลาสต์เป็นโครโมพลาสต์.....	8
2.3 การสังเคราะห์แคโรทีนจาก geranylgeranyl pyrophosphate.....	9
2.4 โครงสร้างโมเลกุลของแคโรทีนอยด์ที่พบในมะเขือเทศ.....	12
2.5 โครงสร้างเคมีของไลโคพีน cis-isomer.....	13
2.6 แผนภาพปฏิกิริยาการเสื่อมสลายของไลโคพีน (A) คือแผนภาพการเสื่อมสลายของ ไลโคพีน (B) คือ แผนภาพการเกิด apo-6-lycopenal และ 2-methyl-2-hepten-6-one ในระหว่างที่ไลโคพีนโดนแสง.....	16
3.1 กระบวนการผลิตซอสมะเขือเทศ.....	32
3.2 กระบวนการผลิตมะเขือเทศแช่แข็ง.....	34
4.1 ปริมาณไลโคพีนในซอสมะเขือเทศในระหว่างการเก็บรักษาที่ 45 <sup>0</sup> ซ.....	43
4.2 ค่าสีของซอสมะเขือเทศในระหว่างการเก็บรักษาที่ 45 <sup>0</sup> ซ.....	45
4.3 ปริมาณไลโคพีนในมะเขือเทศระหว่างการผลิตมะเขือเทศแช่แข็ง.....	48
ข1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณไลโคพีนและพื้นที่ได้ฟัก.....	61
ข2 โคโรมาโตแกรมของสารละลายมาตรฐาน all-trans lycopene ความเข้มข้น 0.02 มก./ มล. ....	62
ข3 โคโรมาโตแกรมของมะเขือเทศสดทั้งผล.....	62
ข4 โคโรมาโตแกรมของมะเขือเทศสดคว้านเมล็ด.....	63
ข5 โคโรมาโตแกรมของมะเขือเทศเข้มข้น.....	63
ข6 โคโรมาโตแกรมของซอสมะเขือเทศ.....	64
ข7 โคโรมาโตแกรมของน้ำมะเขือเทศ.....	64
ข8 โคโรมาโตแกรมของมะเขือเทศปอกผิวในน้ำมะเขือเทศ.....	65
ข9 โคโรมาโตแกรมของมะเขือเทศแช่แข็ง.....	65

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ไลโคพีนเป็นแคโรทีนอยด์ประเภทไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว (unsaturated hydrocarbon) มีคาร์บอนเชื่อมต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะคู่ 11 พันธะ มีสูตรโมเลกุล  $C_{40}H_{56}$  ไลโคพีนเป็นรงควัตถุ (pigment) ที่มีผลึกเป็นสีแดง ซึ่งไลโคพีนมีสีแดงได้เนื่องจากโครงสร้างของไลโคพีนมีการเชื่อมกันของโครงสร้างโพลีอีน ไลโคพีนมีอยู่ในพืชหลายชนิด เช่น ส้ม องุ่น เกรฟฟรุต ฝรั่ง มะม่วง มะละกอ แตงโม พืช พลัม แครอท แตงโม สตรอเบอร์รี่ แต่มีปริมาณมากในมะเขือเทศ มะเขือเทศเป็นพืชที่นิยมบริโภคกันหลายประเทศทั่วโลก ทั้งบริโภคผลสด ใช้ปรุงอาหารและเป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์มะเขือเทศชนิดต่างๆ เช่น มะเขือเทศบรรจุกระป๋อง (canned tomato) น้ำมะเขือเทศ (tomato juice) มะเขือเทศเข้มข้น (tomato paste) ซอสมะเขือเทศ (tomato sauce หรือ ketchup) มะเขือเทศผง (tomato powder) มะเขือเทศดอง (tomato pickle) มะเขือเทศแช่แข็ง (dehydrated tomato)

การบริโภคมะเขือเทศสดและผลิตภัณฑ์มะเขือเทศ ทำให้ได้รับไลโคพีนซึ่งมีประโยชน์ต่อร่างกาย สามารถป้องกันโรคมะเร็ง เนื่องจากไลโคพีนทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ป้องกันไม่ให้อนุมูลอิสระทำปฏิกิริยาสร้างผลที่ผนังเซลล์ ซึ่งอาจกลายเป็นเนื้อร้ายในภายหลัง นอกจากโรคมะเร็งแล้วไลโคพีนยังป้องกันโรคหัวใจได้ เนื่องจากไลโคพีนสามารถป้องกันไม่ให้คลอเลสเตอรอลที่จับอยู่กับไลโปโปรตีนที่มีความหนาแน่นต่ำ (LDL cholesterol) เกิดออกซิเดชัน ไลโคพีนเป็นสารต้านอนุมูลอิสระจำพวกเดียวกับเบต้าแคโรทีน แต่มีประสิทธิภาพสูงกว่าเบต้าแคโรทีนถึง 2 เท่า และสูงกว่าแอลฟาโทโคฟีรอลถึง 10 เท่า (Shi and Le Maguer, 2000)

แคโรทีนอยด์ในผักผลไม้จะรวมอยู่กับโปรตีนเป็นโครงสร้างที่ซับซ้อน (protein-carotenoid complex) ซึ่งกระบวนการแปรรูปอาหารที่ใช้ความร้อนต่ำสามารถทำลายสภาพธรรมชาติของ protein carotenoid complex หรือทำให้ protein carotenoid complex อ่อนตัวลง ทำให้ร่างกายสามารถดูดซึมแคโรทีนอยด์ได้มากขึ้น เนื่องจากผลึกแคโรทีนอยด์แตกตัวหรือละลายในส่วนของไขมันที่อยู่ในอาหาร ดังนั้นการบริโภคมะเขือเทศที่ผ่านการแปรรูป ร่างกายสามารถดูดซึมไลโคพีนได้มากกว่าการบริโภคมะเขือเทศสด แต่สภาวะในกระบวนการผลิตและการเก็บรักษามลพิษผลิตภัณฑ์มะเขือเทศ เช่น อุณหภูมิสูง แสง และออกซิเจน เป็นสาเหตุให้ไลโคพีนเสื่อมสลาย ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มะเขือเทศมีสีแดงคล้ำไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นการศึกษาสภาวะในการผลิต

ผลิตภัณฑ์มะเขือเทศ รวมทั้งพัฒนาวิธีการผลิต เพื่อให้มีการสูญเสียไลโคพีนน้อยที่สุด จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์มะเขือเทศยังคงคุณค่าสูงสุด

## 1.2 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบการวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนโดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี (Spectrophotometry) และวิธี High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ศึกษาผลของกระบวนการผลิตของมะเขือเทศและมะเขือเทศแช่แข็ง ที่มีต่อปริมาณไลโคพีน โดยศึกษาสภาวะที่ใช้ในการพาสเจอร์ไรซ์ในกระบวนการผลิตของมะเขือเทศ และวิธีการอบแห้งมะเขือเทศแช่แข็งที่มีผลต่อปริมาณไลโคพีน เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตของมะเขือเทศและมะเขือเทศแช่แข็ง ให้ยังคงปริมาณไลโคพีนสูงสุด และศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีและปริมาณไลโคพีนในระหว่างการเก็บรักษาของมะเขือเทศในสภาวะเร่ง

## 1.3 วัตถุประสงค์

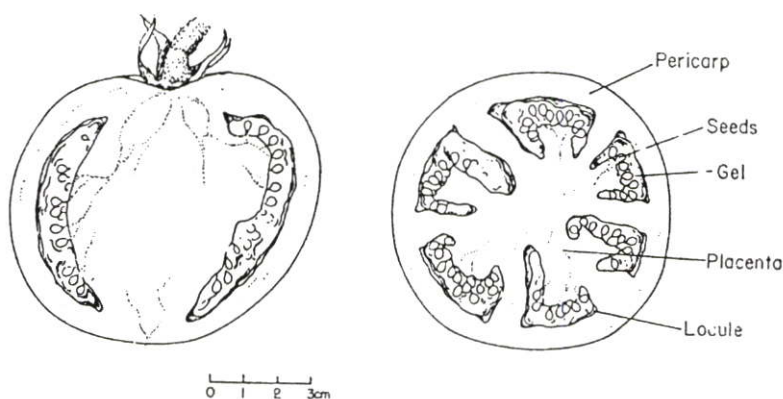
1. เพื่อเปรียบเทียบการวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนโดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี และวิธี HPLC
2. เพื่อศึกษาผลของสภาวะที่ใช้ในการพาสเจอร์ไรซ์ในกระบวนการผลิตของมะเขือเทศที่มีต่อปริมาณไลโคพีน
3. เพื่อศึกษาผลของขั้นตอนการอบแห้งมะเขือเทศแช่แข็งที่มีต่อปริมาณไลโคพีน
4. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีและปริมาณไลโคพีน ในของมะเขือเทศที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะเร่ง

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

สีแดงของผลไม้หลายชนิดเกิดเนื่องจากไลโคพินและแคโรทีนอยด์ชนิดอื่น ไลโคพินเป็นสารสีที่สังเคราะห์ได้จากพืชและจุลินทรีย์ ในผักและใบไม้ที่มีสีเขียว สีแดงของไลโคพินถูกบดบังโดยคลอโรฟิลล์ เมื่อผลไม้สุกปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง จึงเห็นสีส้มแดงของไลโคพินและแคโรทีนอยด์ เช่น ในสับปะรด ส้ม เลมอน องุ่น สตรอเบอร์รี่และมะเขือเทศ

มะเขือเทศเป็นพืชผลทางการเกษตรที่มีความสำคัญ เป็นพืชที่นิยมบริโภคกันทั่วโลกทั้งบริโภคในรูปผลสดและแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ ผลมะเขือเทศประกอบด้วยเปลือก เพอริคาร์ป (pericarp) และส่วนที่มีลักษณะเป็นโพรงเล็กๆ (locule) ในโพรงเล็กๆ เหล่านี้ประกอบด้วยเซลล์ พARENไคมา (parenchyma) ที่มีลักษณะคล้ายเจลอยู่รอบเมล็ดดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ภาพผลมะเขือเทศตัดตามยาวและตามขวาง

ที่มา : Rubatzky and Yamaguchi (1997)

มะเขือเทศประกอบด้วยส่วนที่เป็นของแข็ง 5-10% (ซึ่งประมาณ 75% ของของแข็งทั้งหมดเป็นของแข็งที่ละลายน้ำได้) ซึ่งในส่วนนี้เป็นของแข็งที่บริเวณผิวและเมล็ด 1-3% ประมาณ 50% ของของแข็งทั้งหมดเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ และประมาณ 10% ของของแข็งทั้งหมดเป็นกรดอินทรีย์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกรดซิตริกและกรดมาลิก ผลิตภัณฑ์มะเขือเทศที่บริโภคกันโดยทั่วไปส่วนใหญ่เป็นน้ำมะเขือเทศ มะเขือเทศเข้มข้น ซอสมะเขือเทศและซาลซ่า (salsa) มะเขือเทศและผลิตภัณฑ์มะเขือเทศเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ เนื่องจากมีประโยชน์ต่อร่างกายหลายอย่าง คือ มีไขมันและแคลอรีต่ำ ไม่มีคอเลสเตอรอล นอกจากนี้ มะเขือเทศยังประกอบด้วย วิตามินซี วิตามินเอ โฟเลต โพแทสเซียม เบต้าแคโรทีน และไลโคพิน ลักษณะสีแดงเข้มในมะเขือเทศสดและผลิตภัณฑ์

มะเขือเทศเกิดเนื่องจากไลโคพีน ซึ่งลักษณะสีแดงเป็นสิ่งที่ใช้วัดคุณภาพของมะเขือเทศและผลิตภัณฑ์

## 2.1 ไลโคพีนในมะเขือเทศ

ไลโคพีนเป็นแคโรทีนอยด์ที่มีมากในมะเขือเทศ นอกจากไลโคพีนแล้วมะเขือเทศยังประกอบด้วยแคโรทีนอยด์ชนิดอื่นๆ ปริมาณน้อยมาก ได้แก่ แอลฟาแคโรทีน ( $\alpha$ -carotene) เบต้าแคโรทีน ( $\beta$ -carotene) ลูเทอีน (lutein) และ เบต้าคริปโตแซนทีน ( $\beta$ -cryptoxanthin) (Curl, 1961) ปริมาณไลโคพีนในมะเขือเทศจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพันธุ์ ความสุก และสภาวะแวดล้อมในการบ่มให้สุก โดยทั่วไปมะเขือเทศมีไลโคพีน 3.10-7.74 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักสด แต่ในมะเขือเทศพันธุ์ *Lycopersicon pimpinellifolium* มีไลโคพีน 40 มิลลิกรัม/เนื้อมะเขือเทศ 100 กรัม นอกจากนี้ยังพบไลโคพีนในผลไม้ชนิดอื่น เช่น แอปเปิ้ลคอกท เบอรรี่ พืชตระกูลส้ม องุ่น เกรฟฟรุต ฝรั่ง มะม่วง มะละกอ พืช พลัม ดังแสดงปริมาณในตารางที่ 2.1 พืชหัวที่พบไลโคพีน เช่น แครอท และ ยังพบไลโคพีนในใบชาอีกด้วย

ตารางที่ 2.1 ปริมาณไลโคพีนในผลไม้สด

ผลไม้	ปริมาณ(มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด)
แอปเปิ้ลคอกท	0.005 <sup>a</sup>
องุ่น	3.360 <sup>a</sup>
ฝรั่ง	5.400 <sup>a</sup>
มะละกอ	2.000-5.300 <sup>b</sup>
มะเขือเทศ	3.100-7.740 <sup>c</sup>
แตงโม	4.100 <sup>a</sup>

ที่มา : <sup>a</sup> USDA (1998)

<sup>b</sup> Mangels (1993)

<sup>c</sup> Nguyen and Schwartz (1998)

Heinonen และคณะ (1989) พบว่ามะเขือเทศที่ปลูกในฤดูร้อน (มิถุนายน-สิงหาคม) มีความเข้มข้นของไลโคพีนสูง ส่วนมะเขือเทศที่ปลูกในฤดูหนาว (ตุลาคม-มีนาคม) มีความเข้มข้นของไลโคพีนต่ำ มะเขือเทศที่ปลูกในเรือนกระจกที่ปลูกในฤดูร้อนและฤดูหนาวมีปริมาณไลโคพีนต่ำกว่ามะเขือเทศที่ปลูกนอกเรือนกระจกในฤดูร้อน Gould (1992) พบว่ามะเขือเทศที่เก็บเกี่ยวใน

ขณะที่ผลแกมีสีเขียวแล้วนำมาบ่มให้สุก มีปริมาณไลโคพีนต่ำกว่ามะเขือเทศที่สุกบนต้น ตารางที่ 2.2 แสดงปริมาณไลโคพีนในมะเขือเทศพันธุ์ต่างๆ ที่ปลูกในประเทศต่างๆ

Al-Wandawi และคณะ (1985) พบว่าผิวมะเขือเทศ (skin) ประกอบด้วยไลโคพีน 12 มิลลิกรัม/100 กรัมหน.ผิวสด ขณะที่มะเขือเทศทั้งผลมีไลโคพีน 3.4 มิลลิกรัม/100 กรัมหน.สด ซึ่งความเข้มข้นของไลโคพีนในผิวมะเขือเทศมากกว่ามะเขือเทศทั้งผลประมาณ 3 เท่า ผลการทดลองนี้เป็นไปทำนองเดียวกับผลการทดลองของ Sharma และ Le Maguer (1996) ซึ่งพบว่าผิวมะเขือเทศประกอบด้วยไลโคพีน 5 เท่าของเนื้อมะเขือเทศทั้งผล ผิวมะเขือเทศมีไลโคพีน 53.9 มิลลิกรัม/100 กรัม ส่วนเนื้อมะเขือเทศทั้งผลมีไลโคพีน 11 มิลลิกรัม/100 กรัม ผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าไลโคพีนส่วนใหญ่ในผลมะเขือเทศจับอยู่กับเยื่อใยที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ (insoluble fiber)

## ตารางที่ 2.2 ปริมาณไลโคพีนในมะเขือเทศพันธุ์ต่างๆ

ตัวอย่าง	ปริมาณไลโคพีน (mg/100 g นน.สด)
น้ำมะเขือเทศจากมะเขือเทศสุก	3.71
น้ำมะเขือเทศจากมะเขือเทศสีเขียว	0.171
น้ำมะเขือเทศจากมะเขือเทศสุกบางส่วน (สีเหลืองแดง) (ใช้มะเขือเทศที่ปลูกในอินเดีย)	0.240
<b>มะเขือเทศพันธุ์ VT-145-7879 (ปลูกในเมืองเดวิส อเมริกา)</b>	
สีชมพู	12.18
สีแดงปานกลางมีจุดสีส้ม	20.71
สีแดงทั้งผล (สุกเต็มที่)	30.16
มะเขือเทศสด (ปลูกเดือนมิ.ย.-ส.ค.)	3.8-6.6
มะเขือเทศสด (ปลูกเดือนต.ค.-มี.ค.)	2.6-3.1
มะเขือเทศสด (ปลูกในมาเลเซีย)	0.723
มะเขือเทศสด (ปลูกในอเมริกา)	8.25-10.29
<b>พันธุ์ที่ผลมีสีแดง</b>	
Cherry	3.780
Flavourtop	5.653
Tigerella	1.582
Ida F1hybrid	1.711
Shirley F1	2.347
Craig	3.907
Moneymaker	4.255
Allicanti	4.037
Beefsteak	4.833
<b>พันธุ์ที่ผลมีสีเหลือง</b>	
Sungold	0.528
Gold sunrise	0.021
Ohio-8245	9.65-10.21
92-7136	7.72-7.80
92-7025	6.23-6.59
H-9035	10.16-10.22
CC-164	10.64-10.76

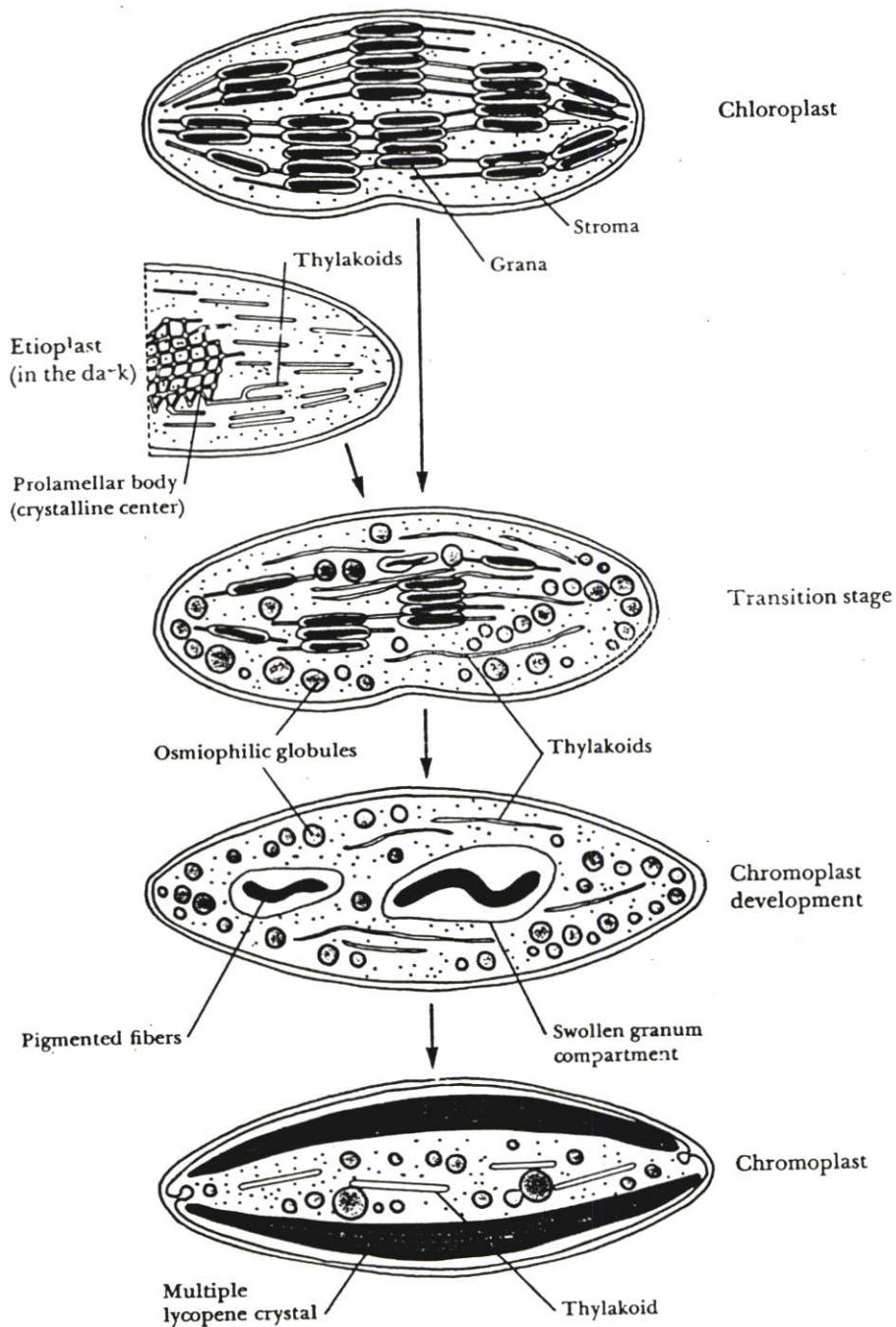
ที่มา : Shi and Le Maguer (2000)

## 2.2 การสังเคราะห์ไลโคพีนในเซลล์พืช

เมื่อพิจารณาระดับเซลล์จะพบไลโคพีนอยู่ในคลอโรพลาสต์ (chloroplast) ในขั้นตอนการสุกของมะเขือเทศคลอโรฟิลล์ซึ่งเป็นสารสีที่สำคัญในคลอโรพลาสต์เสื่อมสลาย มะเขือเทศเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสีขาว เมื่อคลอโรฟิลล์ในคลอโรพลาสต์ลดลงจะเกิดการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์โดยสีแดงเกิดจากไลโคพีน สีเหลืองและสีส้มเกิดจากแคโรทีนอยด์ชนิดอื่น การเปลี่ยนสีในระหว่างการสุกของมะเขือเทศ เกิดการเปลี่ยนแปลงจากสีเขียวเป็นสีขาว สีเหลือง สีส้ม สีส้มแดง และสีแดงตามลำดับ

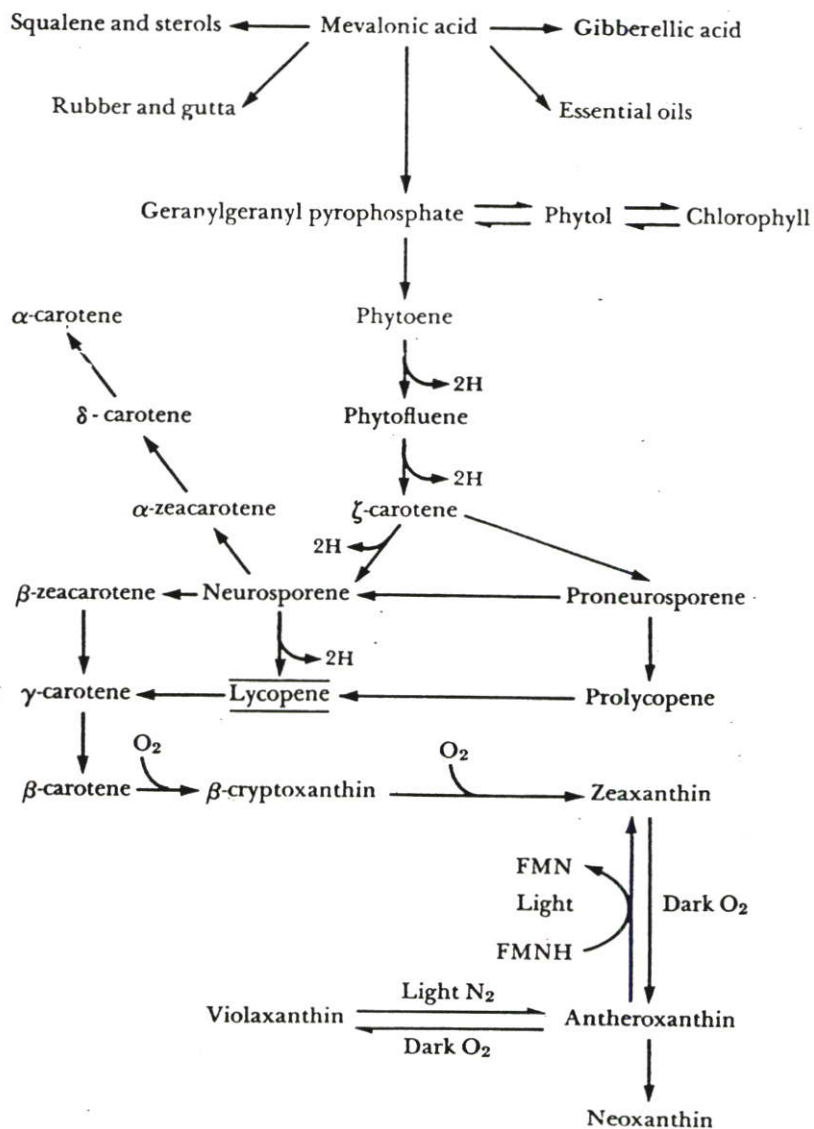
การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในเยื่อหุ้มสองชั้นด้านนอก (outer double membrane) ของคลอโรพลาสต์ เป็นกระบวนการเมตามอร์ฟอซิส (metamorphosis) ของคลอโรพลาสต์ หรือกระบวนการเปลี่ยนจากคลอโรพลาสต์เป็นโครโมพลาสต์ (chromoplast) ชั้นแรกเกิดการเสื่อมสลายของคลอโรฟิลล์และสูญเสียกรานา (grana) ขั้นตอนต่อไปเป็นการสร้างออสไมโอฟิลิกโกลบูล (osmiophilic globule) และไทลาคอยด์ (thylakoid) มีกรานา หลงเหลืออยู่เล็กน้อย เกิดการสร้างแคโรทีนอยด์ขึ้นเป็นครั้งแรกในขั้นตอนการพัฒนาไปเป็นโครโมพลาสต์ และแคโรทีนอยด์มีจำนวนเพิ่มขึ้น ไม่มีกรานาหลงเหลืออยู่อีกเลย ส่วนกรานุม (granum) เกิดการบวม เมื่อสองดูแคโรทีนอยด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนพบว่าแคโรทีนอยด์มีรูปร่างขดไปมา ในขั้นตอนนี้มะเขือเทศสุกมีสีส้ม ขั้นตอนสุดท้ายเกิดการสร้างผลึกไลโคพีนจำนวนมาก (ภาพที่ 2.2)

มีการศึกษาการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ในมะเขือเทศด้วยการใช้การตรวจหา  $C^{14}$  (Porter and Anderson, 1967; Buggy *et al.*, 1969) พบว่าการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์มีกรดเมวาโลนิค (mevalonic acid) เป็นตัวนำให้เกิดเจอรานิลเจอรานิลไพโรฟอสเฟต (geranylgeranyl pyrophosphate) ซึ่งเปลี่ยนไปเป็นไฟโทอีน (phytoene) ลำดับต่อมาเกิดการสูญเสียไฮโดรเจน 2 อะตอมในแต่ละลำดับโดยการดึงน้ำออก (ภาพที่ 2.3) ได้เป็นไฟโทฟลูอีน (phytofluene)  $\zeta$ -แคโรทีน นิวโรสปอเรน (neurosporene) และไลโคพีนตามลำดับ ไฮโดรเจนถูกออกซิไดซ์โดยเอนไซม์เทอร์มินอลออกซิเดส (terminal oxidase) โดยทำปฏิกิริยาร่วมกับออกซิเจน ดังนั้นมะเขือเทศจึงมีการหายใจเพิ่มขึ้นในระหว่างที่มะเขือเทศสุก



ภาพที่ 2.2 แผนภาพของการเปลี่ยนคลอโรพลาสต์เป็นโครโมพลาสต์

ที่มา : Khudairi (1972)



ภาพที่ 2.3 การสังเคราะห์แคโรทีนจาก geranylgeranyl pyrophosphate

ที่มา : Khudairi (1972)

## 2.3 คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของไลโคพีน

แคโรทีนอยด์ที่เป็นส่วนประกอบในผักและผลไม้มีมากกว่า 600 ชนิด ในทางเคมีสามารถแบ่งแคโรทีนอยด์ออกได้เป็น 2 กลุ่มหลักๆ ได้แก่

1. แคโรทีนอยด์ไม่อิ่มตัวอย่างมาก (highly unsaturated hydrocarbon carotenoid) เช่น ไลโคพีน แอลฟาแคโรทีน เบต้าแคโรทีน แกมมาแคโรทีน และ  $\xi$ -แคโรทีน แคโรทีนอยด์ในกลุ่มนี้โครงสร้างทางเคมีไม่มีออกซิเจน มีสีส้มและสีแดง

2. แซนโทฟิลล์ (xanthophyll) เช่น เบต้าคริปโตแซนทิน ลูเทอีน และซีอะแซนทิน (zeaxanthin) โครงสร้างทางเคมีประกอบด้วยอนุพันธ์ของออกซิเจน และ oxygenated group 1 หรือมากกว่า 1 กลุ่ม ที่ตำแหน่งวงแหวนที่อยู่ตรงปลายสายโซ่หลัก

ในมะเขือเทศพบสารสี (pigment) ที่อยู่ในกลุ่มแคโรทีนอยด์มากกว่า 21 ชนิด โดยพบไลโคพีนมากที่สุด นอกนั้นเป็น แอลฟาแคโรทีน เบต้าแคโรทีน  $\xi$ -แคโรทีน ไฟโทอีน ไฟโทฟลูอีน นิวโรสปอริน และลูเทอีน (Gould, 1992) ปริมาณเล็กน้อย (ตารางที่ 2.3)

ตารางที่ 2.3 แคโรทีนอยด์ชนิดต่างๆ ที่พบในมะเขือเทศ

แคโรทีนอยด์	สัดส่วน (%)	จำนวนพันธะคู่ ที่เชื่อมต่อกัน	ความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสง ได้สูงสุดในสารละลายเฮกเซน (nm)
Lycopene	80-90	11	472(457, 485, 519)
$\alpha$ -carotene	0.03	9	444(319, 348, 366)
$\beta$ -carotene	3-5	9	450(427, 450, 477)
$\gamma$ -carotene	1-1.3	7	450(432, 461, 490)
$\xi$ -carotene	1-2	7	400(378, 400, 425)
Phytoene	5.6-10	3	290(275, 286, 297)
Phytofluene	2.5-3.0	5	350(331, 348, 366)
Neurosporene	7-9	9	450(415, 438, 468)
Lutein	0.011-1.1	10	442(424, 446, 473)

ที่มา : Gross (1987)

### 2.3.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

คุณสมบัติทางกายภาพของไลโคพีนแสดงในตารางที่ 2.4 ไลโคพีนในมะเขือเทศอยู่ในรูปที่มีโครงสร้างเป็นเส้นยาว (trans form) มีลักษณะเป็นผลึก ทำให้มะเขือเทศมีสีแดงสว่าง ไลโคพีนละลายในคลอโรฟอร์ม เบนซีน และตัวทำละลายอินทรีย์อื่นๆ ได้ดีกว่าน้ำ

## ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติทางกายภาพของไลโคพีน

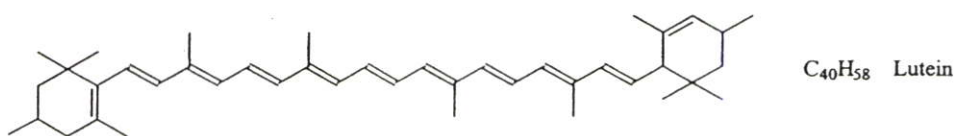
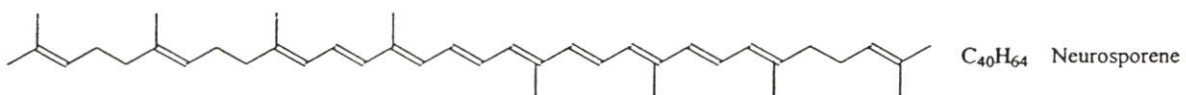
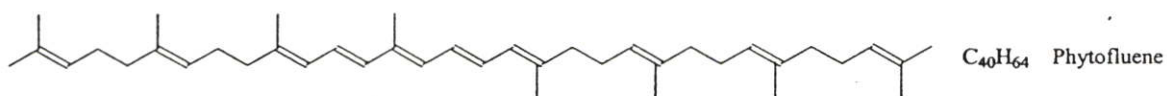
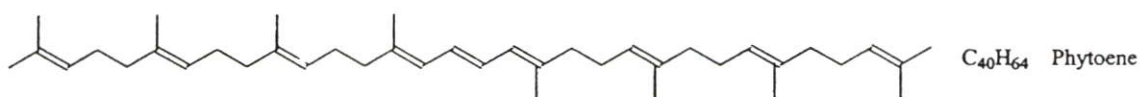
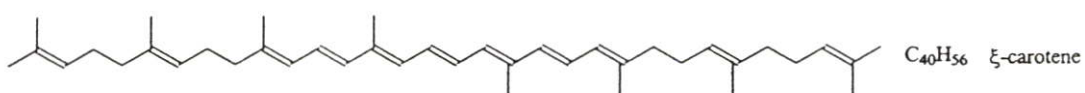
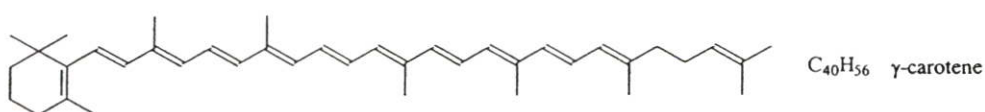
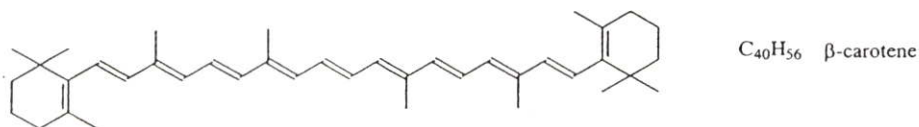
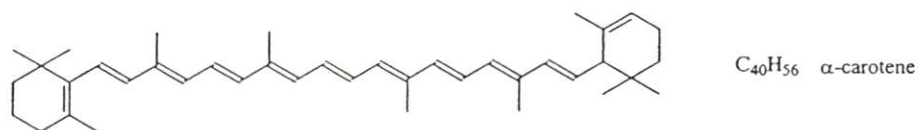
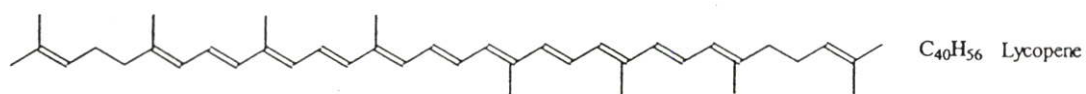
สูตรโมเลกุล	$C_{40}H_{56}$
น้ำหนักโมเลกุล	536.85 ดาลตัน
จุดหลอมเหลว	$172^{\circ}$ - $175^{\circ}$ ซ
รูปร่างผลึก	ในสารละลายเอทานอลที่ประกอบด้วยคาร์บอนไดซัลไฟด์มีรูปร่างเหมือนเข็ม มีสีแดง
ลักษณะผง	สีน้ำตาลแดง
ความสามารถในการละลาย	ละลายในคลอโรฟอร์ม เฮกเซน เบนซีน คาร์บอนไดซัลไฟด์ อะซีโตน ปีโตรเลียมอีเทอร์ ไม่ละลายในน้ำ เอทานอล เมทานอล
มีความไวต่อ (Sensitivity)	แสง ออกซิเจน อุณหภูมิสูง กรด

ที่มา : Shi and Le Maguer (2000)

### 2.3.2 โครงสร้างทางเคมี

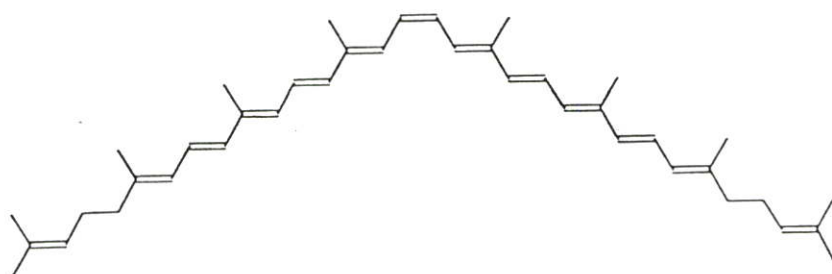
โครงสร้างเคมีของแคโรทีนอยด์ที่สำคัญในมะเขือเทศแสดงในภาพที่ 2.4 ไลโคพีนเป็นโพลีอินไฮโดรคาร์บอน (polyene hydrocarbon) ปลายโซ่เปิด เป็นแคโรทีนอยด์ไม่อิ่มตัว มีพันธะคู่ทั้งหมด 13 พันธะ แต่มีเพียง 11 พันธะที่เชื่อมต่อกันเป็นเส้นยาว ไลโคพีนมีสูตรโมเลกุล  $C_{40}H_{56}$  มีลักษณะเป็นสีแดงและเป็นสารยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน (antioxidant) ได้เนื่องจากมีโครงสร้างที่พิเศษที่แตกต่างจากแคโรทีนอยด์ชนิดอื่นและมีการเชื่อมกันของพันธะคู่ ไลโคพีนไม่สามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ เนื่องจากโครงสร้างของไลโคพีนไม่มีวงแหวนเบต้า ( $\beta$ -ionone ring) ในมะเขือเทศสดไลโคพีนอยู่ในรูปออล-ทรานส์ (all-trans) และสามารถเกิดไอโซเมอร์จากทรานส์ฟอร์ม (trans form) เป็นโมโน (mono) หรือโพลีซิสฟอร์ม (poly-cis form) ได้ ภายใต้สภาวะที่มีการชักนำโดย ความร้อน แสงหรือปฏิกิริยาเคมี แสง ความร้อน และกรดเป็นปัจจัยที่ทำให้ไลโคพีนเสื่อมสลาย ส่วนไอออนของโลหะ เช่น  $Cu^{2+}$  และ  $Fe^{3+}$  เป็นตัวเร่งให้ไลโคพีนเกิดออกซิเดชัน โครงสร้างของไลโคพีนบางไอโซเมอร์แสดงในภาพที่ 2.5

ไลโคพีนในรูปซิสไอโซเมอร์ (cis-isomer) มีความแตกต่างทางด้านรูปร่าง ความเสถียร และคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงจากทรานส์ไอโซเมอร์ (trans-isomer) ที่เป็นโครงสร้างที่พบส่วนใหญ่ในธรรมชาติ โดย trans-isomer จะมีโครงสร้างตรง แบนราบ และมีเสถียรภาพมากที่สุด ในขณะที่ cis-isomer มีพลังงานสูง ว่องไวต่อปฏิกิริยา ความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงได้สูงสุดลดลง ส่งผลให้มีสีแดงน้อยลง ความเข้มสีลดลง ซึ่งมีความสำคัญมากต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

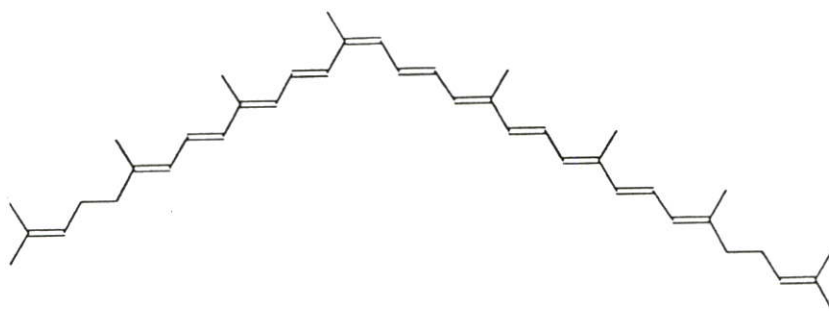


ภาพที่ 2.4 โครงสร้างโมเลกุลของแคโรทีนอยด์ที่พบในมะเขือเทศ

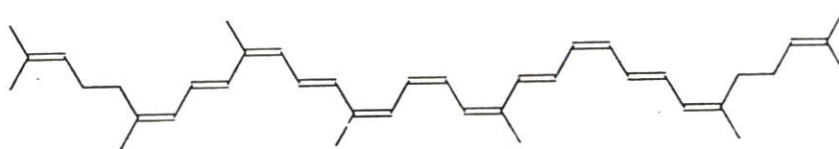
ที่มา : Shi and Le Maguer (2000)



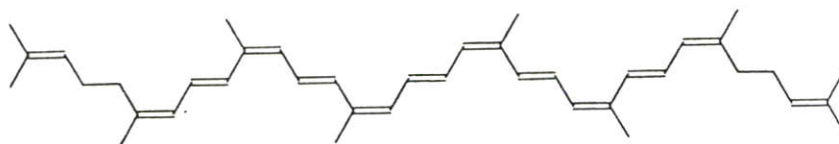
Central - mono *cis*-lycopene (15-*cis*)



next-to-central-mono *cis*-lycopene (13-*cis*)



5-*cis*-lycopene



6-*cis*-lycopene

ภาพที่ 2.5 โครงสร้างเคมีของไลโคพีน *cis*-isomer

ที่มา : Shi and Le Maguer (2000)

### 2.3.3 คุณสมบัติทางชีวเคมี

ไลโคพีนมีโครงสร้างที่ไม่มีวงแหวน (acyclic structure) มีโครงสร้างที่โดดเด่นและมีคุณสมบัติทางชีวภาพรวมถึงการเป็น antioxidant แตกต่างกับแคโรทีนอยด์อื่นๆ อย่างชัดเจน ไลโคพีนเป็นแคโรทีนอยด์ที่สามารถยับยั้ง singlet oxygen ( $O_2^{\cdot}$ ) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Di Mascio *et al.*, 1989; Conn, *et al.*, 1991) สามารถพิจารณาความแตกต่างของค่าคงที่ของการยับยั้ง singlet oxygen (Kq) ของแคโรทีนอยด์ชนิดต่างๆ ได้ในตารางที่ 2.5 เมื่อเปรียบเทียบโครงสร้างของ ไลโคพีน เบต้าแคโรทีน และแกมมาแคโรทีน จะเห็นว่า  $\beta$ -ionone ring แบบเปิดเพิ่มความสามารถในการยับยั้ง singlet oxygen ได้ดีกว่าแบบปิด ไลโคพีนและแคโรทีนอยด์อื่นๆ สามารถยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันได้ดี เนื่องจากมีคุณสมบัติของการยับยั้ง singlet oxygen และสามารถจับเปอร์ออกซิลเรดิคอล (peroxyl radical, ROO $\cdot$ ) ได้ ความสามารถในการยับยั้ง singlet oxygen ของแคโรทีนอยด์แต่ละชนิดขึ้นอยู่กับจำนวนพันธะคู่ที่เชื่อมต่อกัน (conjugated double bond) และ cyclic end group ที่ประกอบอยู่ในโครงสร้างของแคโรทีนอยด์ (Foote and Denny, 1968; Burton and Ingold, 1984)

ตารางที่ 2.5 ค่าคงที่ของการยับยั้ง singlet oxygen (Kq) ของแคโรทีนอยด์ชนิดต่างๆ

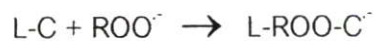
แคโรทีนอยด์	$10^9 \times Kq \text{ (m}^{-1}\text{s}^{-1}\text{)}$
Lycopene	31
$\gamma$ -carotene	25
$\alpha$ -carotene	19
$\beta$ -carotene	14
Lutein	8
Astaxanthin	24
Bixin	14
Canthaxanthin	21
Zeaxanthin	10

ที่มา : Shi and Le Maguer (2000)

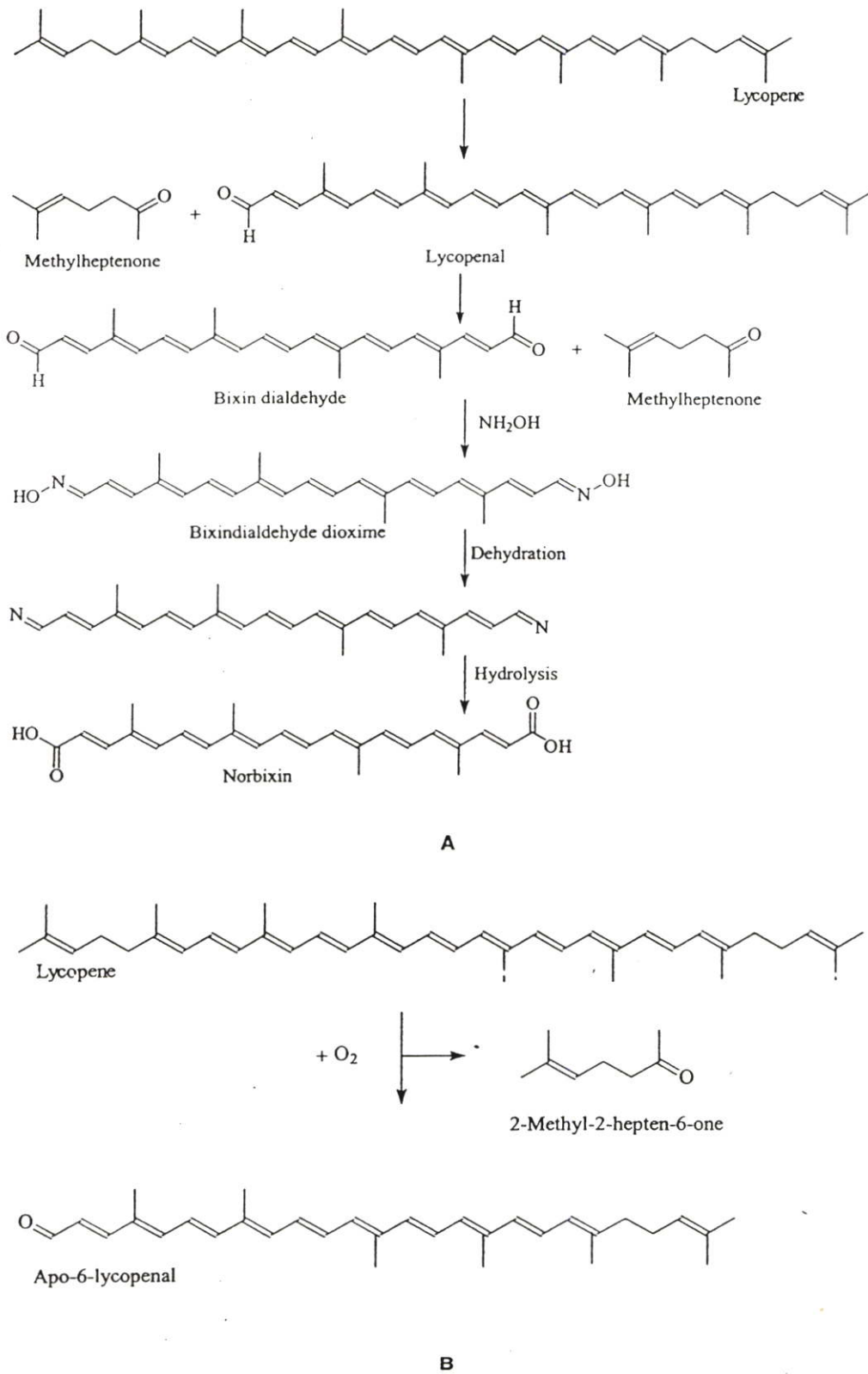
ไลโคพีน all-trans isomer เป็นไอโซเมอร์ที่พบในมะเขือเทศสด และเป็นไอโซเมอร์ที่เสถียรต่อการถ่ายเทความร้อน แต่ไลโคพีนก็สามารถเกิดไอโซเมอไรเซชัน (isomerization) จาก trans- เป็น cis-isomer ในระหว่างกระบวนการผลิตและการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มะเขือเทศอาหารที่ทำจากมะเขือเทศมีไลโคพีน all-trans isomer 35-96% ของไลโคพีนทั้งหมด (Schiele

*et al.*, 1996) ในการวิเคราะห์ NMR-spectroscopy พบไลโคพีน 5-cis 9-cis และ 15-cis isomer ในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศและในเนื้อเยื่ออวัยวะของมนุษย์ (Zumbrunn *et al.*, 1985) ในซีรัมและเนื้อเยื่ออวัยวะของมนุษย์พบไลโคพีนในรูป cis-isomer มากกว่า 50% ของไลโคพีนทั้งหมด (Krinsky *et al.*, 1990) โดยทั่วไปไลโคพีน cis-isomer มีชีวมากกว่า all-trans isomer และเป็นผลึกได้น้อยกว่า all-trans isomer เนื่องจาก cis-isomer มีโครงสร้างหงิกงอ นอกจากนี้ cis-isomer ยังละลายในน้ำมันและตัวทำละลายที่เป็นไฮโดรคาร์บอนได้ดีกว่า all-trans isomer ดังนั้นคุณสมบัติของการทำปฏิกิริยาทางชีวภาพ (bioactivity) ของ cis-isomer เปลี่ยนไปจาก all-trans isomer เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของโครงสร้าง

ไลโคพีนเป็น antioxidant ที่ยับยั้ง singlet oxygen และจับกับ peroxy radical ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง ปฏิกิริยาในการจับกันของไลโคพีนกับอนุมูลอิสระที่ประกอบด้วยออกซิเจนเรดิคัล (oxygen radical) เป็นปฏิกิริยาอันดับ 2 การชนถ่ายอิเล็กตรอนของไลโคพีนเกิดได้ทั้ง 2 แบบ คือ



peroxy radical สามารถทำหน้าที่เป็น prooxidant และทำให้เกิดออกซิเดชัน (autoxidation) ได้ แผนภาพการเสื่อมสลายของไลโคพีนแสดงในภาพที่ 2.6 A และ B ออกซิเจนมีหน้าที่หลัก 2 อย่าง คือ ทำหน้าที่แทนเมทิล (methyl) หรือหมู่เมทิลีน (methylene group) และเติมเข้าไปอยู่ในพันธะ C=C การเสื่อมสลายของไลโคพีนสามารถเกิดได้ที่ปลายสายโซ่ของ C<sub>40</sub> ทั้ง 2 ปลาย โดยเกิดการตัดโมเลกุลที่พันธะคู่ในระหว่างเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน



ภาพที่ 2.6 แผนภาพปฏิกิริยาการเสื่อมสลายของไลโคพีน (A) คือ แผนภาพการเสื่อมสลายของไลโคพีน (B) คือ แผนภาพการเกิด apo-6-lycopenal และ 2-methyl-2-hepten-6-one ในระหว่างที่ไลโคพีนโดนแสง

ที่มา : Shi and Le Maguer (2000)

## 2.4 ความสำคัญของไลโคพีนต่อโภชนาการของมนุษย์

### 2.4.1 ประโยชน์ต่อสุขภาพ

ระหว่าง 30 ปีที่ผ่านมา มีการตื่นตัวในการศึกษาเกี่ยวกับโภชนาการและโรคมะเร็ง กระบวนการออกซิเดชันทำให้เกิดไฮดรอกซีเรดิคัล (hydroxy radical) และสารประกอบเปอร์ออกไซด์ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดโรคมะเร็ง ผักและผลไม้มีวิตามินที่เป็น antioxidant และสารโพลีฟีนอล (polyphenol) บางตัวสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งพบว่าสาร antioxidant ที่ว่องไว (active) มาก คือ ไลโคพีน

ปัจจุบันมีผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณไลโคพีนในอาหารที่บริโภคกันทั่วไป ซึ่งเป็นการกระตุ้นให้ผู้บริโภคมีความสนใจบริโภคอาหารที่มีไลโคพีนสูง เพื่อลดความเสี่ยงจากการเป็นโรคต่างๆ ข้อมูลทางด้านการแพทย์เกี่ยวกับหน้าที่ของไลโคพีนซึ่งเป็นสารอาหารที่มีอยู่ในอาหารปริมาณน้อย (micronutrient) มีมากขึ้น เนื่องจากไลโคพีนสามารถป้องกันโรคมะเร็งหลายชนิด ดังนั้นการบริโภคอาหารที่ประกอบด้วย ไลโคพีนมีส่วนช่วยในการลดความเสี่ยงจากโรคมะเร็งที่อวัยวะต่างๆ เช่น บริเวณระบบย่อยอาหาร ตับอ่อน และกระเพาะปัสสาวะ งานวิจัยของ University of Milan พบว่า ผู้ที่บริโภคผลิตภัณฑ์มะเขือเทศอย่างน้อย 1 มื้อ/วัน สามารถลดการเติบโตของมะเร็งระบบย่อยอาหารลงได้ 50% เมื่อเปรียบเทียบกับผู้ที่ไม่บริโภคมะเขือเทศ (Franceschi *et al.*, 1994) งานวิจัยของ Harvard University พบว่า ผู้สูงอายุชาวอเมริกันที่บริโภคมะเขือเทศเป็นประจำ มีโอกาสน้อยที่จะเสียชีวิตจากการเป็นโรคมะเร็ง (Colditz *et al.*, 1985)

Peng และคณะ (1998) ศึกษาระดับแคโรทีนอยด์ชนิดต่างๆ รวมถึง ไลโคพีนและวิตามินเอ และวิตามินอี ในพลาสมาและเนื้อเยื่อคอมดลูก (cervical tissue) ในผู้หญิง 87 คน (ใน 87 คนนี้ มีคนเป็นโรคมะเร็ง 27 คน อยู่ในภาวะที่จะกลายเป็นมะเร็ง (precancerous) 33 คน และไม่เป็นโรคมะเร็ง 27 คน) พบว่าผู้หญิงที่เป็นโรคมะเร็งมีไลโคพีน แคโรทีนอยด์อื่นๆ วิตามินเอ และวิตามินอีในพลาสมาต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับผู้หญิงที่อยู่ในภาวะจะเป็นมะเร็งและผู้หญิงที่ไม่เป็นมะเร็ง ผลการศึกษานี้แสดงว่าผู้หญิงที่มีระดับไลโคพีนในพลาสมาสูงมีโอกาสเป็นมะเร็งคอมดลูกต่ำกว่าผู้หญิงที่มีระดับไลโคพีนในพลาสมาต่ำ

Wang และคณะ (1989) ศึกษาโมเดลของเซลล์เนื้องอกไกลิโอมา (glioma) ที่นำไปใส่ในหนู พบว่าไลโคพีนมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเติบโตของเซลล์ glioma เท่ากับ เบต้าแคโรทีน Dorgan และคณะ (1998) ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระดับแคโรทีนอยด์ (รวมไลโคพีนด้วย) ซีลีเนียม (selenium) และเรตินอล กับมะเร็งเต้านม (breast cancer) โดยได้รับตัวอย่างเนื้อเยื่อจาก Breast Cancer Serum Bank in Columbia พบว่ามีเพียงไลโคพีนเท่านั้นที่ลดความเสี่ยงสำหรับการเติบโตของมะเร็งเต้านม ในขณะที่แคโรทีนอยด์ชนิดอื่นไม่สามารถลดความเสี่ยง

ของมะเร็งเต้านมได้ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Levy และคณะ (1995) โดยทำการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ เพื่อศึกษาความสามารถในการยับยั้งก้อนเนื้อมะเร็งเต้านม (breast cancer tumor) ของไลโคพีนเปรียบเทียบกับแอลฟาและเบต้าแคโรทีน พบว่าเซลล์ที่ได้รับไลโคพีนมีการยับยั้งการเติบโตของเซลล์มะเร็งเต้านมได้ และพบว่าแอลฟาและเบต้าแคโรทีนมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเติบโตของเซลล์มะเร็งเต้านมต่ำกว่าไลโคพีนมาก

จากการศึกษาเหล่านี้สามารถกล่าวได้ว่าไลโคพีนมีหน้าที่ 2 อย่าง คือ เป็นตัวยับยั้ง singlet oxygen ที่มีประสิทธิภาพ จากการทดลองในหลอดแก้วพบว่าสาร antioxidant มีหน้าที่ในการลดการทำลายดีเอ็นเอ (DNA) ลดการเปลี่ยนรูปไปเป็นสารที่มีอันตราย และลดการทำลายโปรตีน ลิพิด และองค์ประกอบอื่นๆ ของเซลล์ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน หน้าที่ของไลโคพีนอีกอย่างหนึ่ง คือ เพิ่มการเชื่อมต่อกันของช่องว่าง (gap-junctional communication) ระหว่างเซลล์ และชักนำให้เกิดการสังเคราะห์คอนเน็กซิน-43 (connexin-43) (Zhang *et al.*, 1992) การสูญเสียการเชื่อมต่อกันของช่องว่างระหว่างเซลล์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปไปเป็นสารที่มีอันตราย ทำให้เกิดกระบวนการที่มีอันตราย ซึ่งต้องมีการศึกษาต่อไปเพื่ออธิบายให้เข้าใจถึงหน้าที่ของไลโคพีนในร่างกายมนุษย์

## 2.4.2 การดูดซึมไลโคพีนจากอาหาร

ร่างกายสามารถดูดซึมไลโคพีนจากอาหารชนิดต่างๆ ได้ต่างกัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ มากมาย เช่น การเชื่อมกันของโมเลกุลไลโคพีนกับสารอื่น ปริมาณไลโคพีนที่บริโภคในแต่ละมื้อ โครงสร้างร่างแหของอาหาร (food matrix) ซึ่งมีไลโคพีนรวมอยู่ด้วย การย่อยไลโคพีนร่วมกับเส้นใยอาหารปริมาณมาก การย่อยไลโคพีนร่วมกับไขมัน ปฏิกิริยาของไลโคพีนกับแคโรทีนอยด์ชนิดอื่นและสารอาหารอื่นๆ ปริมาณโปรตีน ปริมาณแซนโทฟิลล์ (xanthophyll) และคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) ขนาดอนุภาคของสารอาหารแต่ละชนิดและปัจจัยทางพันธุกรรม ตำแหน่งของไลโคพีนในโครงสร้างร่างแหของอาหาร (food matrix)

### 2.4.2.1 อิทธิพลของ trans และ cis-isomer

ไลโคพีนเป็นแคโรทีนอยด์ที่พบมากในพลาสมามนุษย์ และมีค่าครึ่งชีวิต (half life) ในร่างกายมนุษย์ประมาณ 2-3 วัน (Stahl and Sies, 1996) ไลโคพีนในพลาสมามนุษย์อยู่ในรูป cis-isomer 50% ของไลโคพีนทั้งหมด (total lycopene) เป็นสิ่งที่แสดงว่าเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนไอโซเมอร์จาก trans เป็น cis-isomer ในร่างกาย (Sakamoto *et al.*, 1994)

Boileau และคณะ (1999) กล่าวว่า สิ่งมีชีวิตสามารถใช้ประโยชน์จากไลโคพีน cis-isomer ได้มากกว่า trans-isomer เพราะ cis-isomer เกิดผลึกได้น้อยจึงละลายในสารคอลลอยด์ของกรดน้ำดี (bile acid micelle) ได้ดีกว่าและรวมกันเป็นไคโลไมครอน (chylomicron) ได้ดีกว่า trans-isomer กล่าวได้ว่าร่างกายสามารถดูดซึมไลโคพีน cis-isomer ได้ดีกว่า trans-isomer

#### 2.4.2.2 อิทธิพลของโครงสร้างร่างแหอาหาร (food matrix)

Giovanucci และคณะ (1995) ได้เปรียบเทียบความแตกต่างของการดูดซึมไลโคพีนจากมะเขือเทศสดกับผลิตภัณฑ์มะเขือเทศ พบว่าการบริโภคผลิตภัณฑ์มะเขือเทศที่ผ่านการแปรรูป มีผลให้ความเข้มข้นของไลโคพีนในซีรัมเพิ่มขึ้นมากกว่าการบริโภคมะเขือเทศที่ไม่ผ่านการแปรรูป ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากไลโคพีนในมะเขือเทศสดจับอยู่แน่นใน matrix ซึ่งกระบวนการที่ใช้ความร้อน เช่น การทำให้สุก และการอบอาหารให้ละเอียด ช่วยให้โครงสร้างผนังเซลล์ถูกทำลายเยื่อหุ้มคลอโรพลาสต์ (chloroplast membrane) แตกออก และทำให้โครงสร้างของไลโคพีนที่จับอยู่กับโปรตีน (lycopene-protein) ที่ซับซ้อนแตกออก ทำให้สามารถนำไลโคพีนไปใช้ได้

food matrix ช่วยให้ไลโคพีน all-trans isomer ในมะเขือเทศสดเสถียรอยู่ได้ ดังเห็นได้จากผลิตภัณฑ์มะเขือเทศที่ผ่านความร้อน เช่น ซอสมะเขือเทศ มะเขือเทศเข้มข้น มีไลโคพีน cis-isomer มากขึ้น ขณะที่ไลโคพีนในมะเขือเทศสดเป็น all-trans isomer ทั้งหมด กล่าวได้ว่า food matrix ที่ล้อมรอบไลโคพีนในผลมะเขือเทศช่วยป้องกันการเกิดไอโซเมอร์ไรเซชัน

#### 2.4.2.3 อิทธิพลของน้ำมัน (oil medium)

การดูดซึมไลโคพีนจากผลิตภัณฑ์มะเขือเทศที่ผ่านการแปรรูปสูงกว่ามะเขือเทศสดอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อไลโคพีนถูกย่อยร่วมกับน้ำมัน การย่อยน้ำมันมะเขือเทศที่ผ่านความร้อนในตัวกลางที่เป็นน้ำมัน ส่งผลให้ความเข้มข้นของไลโคพีนในซีรัมสูงขึ้น 2-3 เท่า หลังจากถูกย่อย 1 วัน แต่การบริโภคน้ำมันมะเขือเทศที่ไม่ผ่านความร้อนปริมาณเท่ากัน ความเข้มข้นของไลโคพีนในพลาสมาไม่เพิ่มขึ้น (Stahl and Sies, 1992) แสดงว่าการใช้ความร้อนและตัวกลางที่เป็นน้ำมันจำเป็นสำหรับการสกัดไลโคพีนในส่วนที่ละลายในไขมัน (lipophilic phase) ดังนั้นฐานฐานว่าการให้ความร้อนน้ำมันมะเขือเทศในน้ำมันข้าวโพด 1 ชั่วโมง เปลี่ยนไลโคพีนจาก trans form เป็น cis form จึงเพิ่มการดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย

#### 2.4.2.4 อิทธิพลของเส้นใยอาหาร (dietary fiber)

เส้นใยอาหารหลายชนิดลดการดูดซึมแคโรทีนอยด์จากอาหาร Rock และ Swendseid (1992) พบว่าเพกตินมีผลในการยับยั้งการดูดซึมแคโรทีนอยด์ โดยเฉพาะเมื่อเพกตินที่มีหมู่เมทิลสูง (high methoxyl pectin) ร่วมกับคลอเลสเตอรอล (cholesterol) มีผลให้การดูดซึมไลโคพีนลดลงเนื่องจากเป็นสถานะที่มีความหนืดสูง

#### 2.4.2.5 ปฏิกิริยาระหว่างแคโรทีนอยด์ (carotenoid interaction)

โดยปกติปฏิกิริยาระหว่างแคโรทีนอยด์เกิดขึ้นในขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการดูดซึมแคโรทีนอยด์ โดยเฉพาะในสถานะที่มีแคโรทีนอยด์ปริมาณสูง สำหรับการดูดซึมไลโคพีนพบว่าการดูดซึมไลโคพีนมีประสิทธิภาพมากเมื่อได้รับไลโคพีนปริมาณน้อย และการย่อยไลโคพีนร่วมกับ เบต้าแคโรทีนสามารถดูดซึมไลโคพีนได้มากกว่าการย่อยไลโคพีนเพียงอย่างเดียว (Johnson,

1998) แต่หากบริโภค  $\beta$ -carotene ปริมาณมากเสริมร่วมกับไลโคพีน มีผลให้ระดับไลโคพีนในซีรัมลดลงอย่างมาก ขณะที่การบริโภคอาหารเสริมชนิดอื่นไม่มีผลต่อระดับไลโคพีนที่จับอยู่กับไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ (LDL lycopene) (Prince *et al.*, 1991)

#### 2.4.2.6 ความสามารถในการดูดซึมไลโคพีน

ระดับไลโคพีนในพลาสมามนุษย์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อบริโภคน้ำมันมะเขือเทศที่ผ่านกระบวนการแปรรูป (การให้ความร้อน) เมื่อเปรียบเทียบกับกรบริโภคน้ำมันมะเขือเทศที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน นอกจากนี้การต้มน้ำมันมะเขือเทศที่ประกอบด้วยน้ำมันข้าวโพด 1% นาน 1 ชั่วโมงช่วยให้การดูดซึมไลโคพีนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

สรุปได้ว่าสามารถเพิ่มการดูดซึมไลโคพีนได้ 2 วิธี คือ

1. การสกัดไลโคพีนจาก food matrix ให้ไปอยู่ใน lipophilic phase
2. กระบวนการแปรรูปที่ใช้ความร้อน และการทำให้เซลล์เนื้อเยื่อมะเขือเทศแตกออก

การทำให้มะเขือเทศสุก และการลดขนาดอนุภาคโดยการบดหรือการทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้ protein carotenoid complex แยกออกจากกันหรือแรงพันธะที่เชื่อมกันอ่อนตัวลง ผลึกแคโรทีนอยด์เกิดการละลาย อยู่ในสารละลายที่ละลายในไขมัน อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาสภาวะการผลิตที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดการทำลายโครงสร้าง matrix ได้สูงสุด โดยที่สูญเสียไลโคพีนต่ำสุด

## 2.5 วิธีวิเคราะห์ไลโคพีน

Variya และ Bandyopadhyay (1990) ได้ศึกษาสารสีในพริกด้วยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี โดยวัดการดูดกลืนแสงที่ 460 nm พบว่าพริกมีแคโรทีนอยด์ 4.53 มิลลิกรัม/พริกแห้ง 100 กรัม หลังจากนั้นจึงวิเคราะห์ชนิดของแคโรทีนอยด์ด้วยวิธี Thin layer chromatography (TLC) สามารถแยกได้ 4 แบนด์ แบนด์ที่ 1 3 และ 4 คือ เบต้าแคโรทีน ไลโคพีนและลูเทออิน ซึ่งมีค่า  $R_f$  เท่ากับ 0.42 0.90 และ 0.00 ตามลำดับ แบนด์ที่ 2 มีค่า  $R_f$  0.20 ไม่สามารถบอกได้ว่าเป็นสารอะไร จึงอาจกล่าวได้ว่าแคโรทีนอยด์ในพริกประกอบด้วยเบต้าแคโรทีน ไลโคพีนและลูเทออิน

โดยทั่วไปการวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนสามารถทำได้ 2 วิธี คือ วิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี และวิธี HPLC นอกจากนี้ 2 วิธีนี้ยังสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างในเชิงคุณภาพได้โดยวิธี TLC ดังกล่าวข้างต้น

### 2.5.1 วิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี

แคโรทีนอยด์ชนิดต่างๆ ดูดกลืนแสงได้สูงสุดที่ความยาวคลื่นต่างกัน ซึ่งมีสาเหตุมาจากมีโครงสร้างแตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น ความแตกต่างของความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงสูงสุดของไฟโทอีน ไฟโทลูอีน  $\zeta$ -แคโรทีน นิวโรสปอริน และไลโคพีน มีสาเหตุมาจากการเพิ่มการเชื่อมกันด้วยพันธะคู่มากกว่า 2 พันธะในโครโมเฟียร์ (chromophore) ที่เป็นไซเปิด แคโรทีนอยด์ที่มีปลายไซปิดเพียงด้านเดียว เช่น แกมมาแคโรทีน ความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงสูงสุดอยู่ที่ 461 nm แคโรทีนอยด์ที่มีปลายไซปิดทั้ง 2 ด้าน เช่น เบต้าแคโรทีน ความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงสูงสุดอยู่ที่ 450 nm สำหรับ ไลโคพีนมีปลายไซเปิด 2 ด้าน มีความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงสูงสุด คือ 472 nm

การเกิด cis-isomer ทำให้ความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงสูงสุดเปลี่ยนไป 3-5 nm ซึ่งใกล้เคียงกับความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงสูงสุดของไอโซเมอร์เดิม ดังนั้นการวิเคราะห์โดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี ไม่สามารถวิเคราะห์การเกิดไอโซเมอร์ได้

Beerh และ Siddappa (1959) ได้ทดลองวัดปริมาณไลโคพีนในสารละลายตัวอย่างที่ประกอบด้วยไลโคพีน และเบต้าแคโรทีน อัตราส่วนต่างกันโดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี โดยวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 473 และ 503 nm ของตัวอย่างที่มีอัตราส่วนของไลโคพีนต่อเบต้าแคโรทีน อยู่ในช่วง 1:15.5 ถึง 1:140 พบว่าการวัดปริมาณไลโคพีนที่ความยาวคลื่น 503 nm ให้ค่าที่ถูกต้องกว่าวัดที่ 473 nm เนื่องจากการวัดที่ความยาวคลื่น 473 nm ใกล้เคียงกับความยาวคลื่นสูงสุดของเบต้าแคโรทีน ดังนั้นเมื่อสารตัวอย่างมีเบต้าแคโรทีนอยู่มาก ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้จึงมากกว่าค่าจริง แต่ในกรณีของผลิตภัณฑ์มะเขือเทศ ซึ่งมีอัตราส่วนของไลโคพีนต่อเบต้าแคโรทีน อยู่ในช่วง 1:3.8 ถึง 1:10.4 การวัดไลโคพีนที่ความยาวคลื่น 473 nm มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าวัดที่ความยาวคลื่น 503 nm

### 2.5.2 วิธี HPLC

การสกัดไลโคพีนเพื่อการวิเคราะห์โดยวิธี HPLC ต้องทำภายใต้การควบคุมปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม โดยควบคุมให้เกิดการเสื่อมสลายเนื่องจากออกซิเดชันน้อยที่สุด ดังนั้นในการสกัดจึงควรหลีกเลี่ยงแสง อาจมีการใช้สาร antioxidant เช่น butylated hydroxy toluene (BHT) ในสารสกัด เพื่อควบคุมการเกิดออกซิเดชันและปฏิกิริยาการเกิดไอโซเมอร์ของไลโคพีน (Nguyen and Schwartz, 1999) นอกจากนี้การใช้ไนโตรเจนหรืออาร์กอนแทนที่บรรยากาศบริเวณ head space ช่วยให้แน่ใจได้ว่าบรรยากาศในการเก็บตัวอย่างมีออกซิเจนอยู่น้อยที่สุด

วิธี HPLC เป็นวิธีที่นิยมใช้วิเคราะห์ไลโคพีน มีการใช้คอลัมน์ Suplex pkb-100 ในการวิเคราะห์ไอโซเมอร์ของไลโคพีนในพลาสติกมนุษย์ ได้พีคของไลโคพีนที่ตรงกับ all-trans 15-cis 13-cis และ 9-cis isomer (Stahl and Sies, 1992) ต่อมามีการพัฒนาคอลัมน์  $C_{18}$  ซึ่งมี packing material เป็นซิลิกา ซึ่งมีคุณสมบัติหลากหลายในด้านขนาดของอนุภาค รูพรุน (porosity) carbon

load end-capping และ polymerization ซึ่งมีผลต่อความไว (sensitivity) และการแยกส่วน (selectivity) ของการวิเคราะห์ไลโคพีน และยังมีการใช้คอลัมน์  $C_{30}$  ซึ่งได้รับการปรับปรุงคุณสมบัติให้เหมาะสมกับการวิเคราะห์แคโรทีนอยด์ โดยสามารถแยกไอโซเมอร์ของไลโคพีนได้ดีกว่าคอลัมน์  $C_{18}$  (Emenhiser *et al.*, 1995)

Rao และคณะ (1998) ได้วิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศที่บริโภคกันโดยทั่วไป ด้วยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 502 nm และวิธี HPLC แบบ reverse phase ใช้คอลัมน์  $C_{18}$  พบว่าปริมาณไลโคพีนในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศชนิดต่างๆ ที่วัดโดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี และ HPLC ให้ผลต่างกัน 11% และยังพบว่าปริมาณไลโคพีนในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศเข้มข้น ซอสมะเขือเทศ และน้ำมะเขือเทศยี่ห้อต่างๆ อยู่ในช่วง 195-365 ppm 130-178 ppm และ 101-109 ppm ตามลำดับ (วิเคราะห์โดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี)

## 2.6 การเปลี่ยนแปลงของไลโคพีนระหว่างการแปรรูป

กระบวนการแปรรูปมะเขือเทศประกอบด้วยขั้นตอนที่ต้องใช้ความร้อนและแรงกล ซึ่งมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์มะเขือเทศทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีแดงคล้ำ สาเหตุสำคัญของการเสื่อมสลายของไลโคพีนในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์มะเขือเทศคือ เกิดไอโซเมอร์ไรเซชัน และออกซิเดชัน โดยทั่วไปเชื่อกันว่ากระบวนการที่ใช้อุณหภูมิสูงทำให้ไลโคพีนเกิดไอโซเมอร์ไรเซชัน จาก trans- เป็น cis-isomer ทำให้คุณสมบัติทางชีวภาพของไลโคพีนเปลี่ยนไป

การเกิดออกซิเดชันในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์มะเขือเทศขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น สภาวะในกระบวนการผลิต ความชื้น อุณหภูมิ ลิปิดและ antioxidant ในส่วนผสม ตัวอย่างเช่น การสกัดน้ำมะเขือเทศที่ใช้ตะแกรงขนาดละเอียดทำให้ไลโคพีนเกิดออกซิเดชันได้มากกว่าการใช้ตะแกรงหยาบ เนื่องจากมีการสัมผัสกับพื้นผิวของโลหะและสัมผัสอากาศมากขึ้น การใช้ตะแกรงที่หยาบขึ้นจะช่วยรักษาสีของผลิตภัณฑ์มะเขือเทศให้ดีขึ้นได้ ส่วนประกอบจำพวกน้ำตาล กรด และกรดอะมิโนมีอิทธิพลต่อสีของผลิตภัณฑ์มะเขือเทศโดยทำให้เกิดสารสีน้ำตาล ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำ (Gould, 1992) ปริมาณไลโคพีนในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศชนิดต่างๆ แสดงใน ตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ปริมาณไลโคพีนในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศทางการค้า

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณไลโคพีน (มิลลิกรัม/100 กรัม นน.สด)
Tomato juice (ยี่ห้อของอิสราเอล)	5.8-9.0
Tomato ketchup (ยี่ห้อของฟินแลนด์)	9.9
Tomato puree	8.93-19.37
Tomato paste	6.07-18.27
Tomato ketchup	10.29-41.4
Tomato juice (ยี่ห้อของบราซิล)	61.6
Tomato soup	8.0-13.84
Tomato juice	9.70-11.84
Tomato paste	51.12-59.78
Tomato puree	16.67
Tomato sauce (ยี่ห้อของอเมริกา)	6.51-19.45
Tomato pulp	12.09-12.83
Pulp thick fraction	41.91-42.82
Pulp thin fraction (ยี่ห้อของแคนาดา)	3.98-4.08

ที่มา : Shi and Le Maguer (2000)

## 2.6.1 การเสื่อมสลายของไลโคพีน

### 2.6.1.1 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการเสื่อมสลายของไลโคพีน

ตารางที่ 2.7 แสดงการสูญเสียไลโคพีน (%) ของน้ำมะเขือเทศที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ จากข้อมูลในตารางพบว่าการให้ความร้อนน้ำมะเขือเทศเป็นเวลานาน 7 นาที ที่อุณหภูมิ 90<sup>o</sup>ซ และ 100<sup>o</sup>ซ ไลโคพีนลดลง 1.1 และ 1.7% ตามลำดับ แสดงว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้นปริมาณไลโคพีนลดลงมากขึ้น ดังเห็นได้จากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 130<sup>o</sup>ซ 7 นาที ไลโคพีนลดลงมากที่สุดคือ 17% การให้ความร้อนไลโคพีนที่ละลายอยู่ในสารตัวทำละลายอินทรีย์ (สภาวะที่ไม่มีคอปเปอร์สเตียเรต) เป็นเวลานาน 3 ชม.ที่อุณหภูมิ 65<sup>o</sup>ซ และ 100<sup>o</sup>ซ สูญเสีย ไลโคพีน 26.1 และ 35% ตามลำดับ (ตารางที่ 2.8) การให้ความร้อนในสภาวะที่มี

คอปเปอร์สเตียเรต (copper stearate) เป็นตัวเร่งการเกิดออกซิเดชัน ที่อุณหภูมิเดียวกันสูญเสียไลโคพีนเพิ่มขึ้นเป็น 60 และ 90% ตามลำดับ

ตารางที่ 2.7 การสูญเสียไลโคพีนในระหว่างการทำความร้อนน้ำมันมะเขือเทศ

อุณหภูมิ (°C)	การสูญเสียไลโคพีน (%)		
	1 นาที	3 นาที	7 นาที
90	0.6	0.9	1.1
100	0.9	1.4	1.7
110	2.2	3.2	4.4
115	2.7	4.5	7.0
118	3.7	6.0	9.1
121	4.6	7.3	10.6
124	5.5	8.5	12.5
127	6.5	9.9	14.6
130	7.4	11.5	17.1

ที่มา : Miki and Akatsu (1970)

ตารางที่ 2.8 การสูญเสียไลโคพีนในสารละลายเฮกเซนและปิโตรเลียม

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชม.)	การสูญเสียไลโคพีน (%)	
		(ไม่มี copper stearate)	(มี copper stearate)
65	0	0	0
	1	15.0	25
	2	20.0	45
	3	26.1	60
100	0	0	0
	1	20.0	40
	2	28.5	75
	3	35.0	90

ที่มา : Cole and Kapur (1957a)

จากข้อมูลข้างต้นสามารถกล่าวได้ว่าการให้ความร้อนเป็นเวลานานเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ไลโคพีนเสื่อมสลาย การให้ความร้อนในสภาวะที่มีการไล่อากาศและการใช้อุณหภูมิสูง เวลานั้น สามารถรักษาคุณภาพของน้ำมะเขือเทศได้

#### 2.6.1.2 อิทธิพลของออกซิเจนต่อการเสื่อมสลายของไลโคพีน

Monselise และ Berk (1954) กล่าวว่าปัจจัยสำคัญที่ทำให้ไลโคพีนเกิดการเสื่อมสลายในระหว่างกระบวนการผลิตมะเขือเทศเข้มข้น (tomato puree) เนื่องจากเกิดออกซิเดชัน คือ ออกซิเจน โดยพบว่าไลโคพีนมากกว่า 30% เสื่อมสลายไปเมื่อให้ความร้อนเนื้อมะเขือเทศที่ 100<sup>0</sup>ซ 3 ชม. ในสภาวะที่มีออกซิเจน การให้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิเดียวกันในสภาวะบรรยากาศของคาร์บอนไดออกไซด์สูญเสียไลโคพีนเพียง 5.1% (ตารางที่ 2.9)

ตารางที่ 2.9 อิทธิพลของออกซิเจนต่ออัตราการสูญเสียไลโคพีนในระหว่างการให้ความร้อนเนื้อมะเขือเทศที่ 100<sup>0</sup>ซ

สภาวะในการให้ความร้อน	เวลา (ชม.)	การสูญเสียไลโคพีน (%)
มืด และ CO <sub>2</sub>	0	0
	0.5	4.6
	1	4.9
	2	5.0
	3	5.1
มืด และ O <sub>2</sub>	0	0
	1	14.0
	2	23.7
	3	30.1
แสงตอนกลางวัน และ CO <sub>2</sub>	0	0
	1	5.4
	2	8.6
	3	11.3
แสงตอนกลางวัน และ O <sub>2</sub>	0	0
	1	15.1
	2	25.9
	3	33.1

ที่มา : Cole and Kapur (1957b)

### 2.6.1.3 อิทธิพลของความเข้มแสงต่อการเสื่อมสลายของไลโคพีน

การให้แสงสว่างร่วมกับการเพิ่มอุณหภูมิในการให้ความร้อน มีผลให้สูญเสียไลโคพีนเพิ่มขึ้น แต่แสงสว่างมีอิทธิพลต่อการเสื่อมสลายของไลโคพีนน้อยกว่าอุณหภูมิ (ตารางที่ 2.10)

ตารางที่ 2.10 อิทธิพลของแสงสว่างร่วมกับอุณหภูมิต่อการสูญเสียไลโคพีนในเนื้อมะเขือเทศ ในสภาวะบรรยากาศปกติ นาน 3 ชม.

สภาวะ	การสูญเสียไลโคพีน (%)
แรงเทียน 100 ฟุต อุณหภูมิ 60 <sup>0</sup> ซ	18.9
แรงเทียน 150 ฟุต อุณหภูมิ 60 <sup>0</sup> ซ	23.3
แรงเทียน 50 ฟุต อุณหภูมิ 100 <sup>0</sup> ซ	31.3
แรงเทียน 100 ฟุต อุณหภูมิ 100 <sup>0</sup> ซ	34.9
แรงเทียน 150 ฟุต อุณหภูมิ 100 <sup>0</sup> ซ	38.6
แรงเทียน 50 ฟุต อุณหภูมิ 110 <sup>0</sup> ซ	50.0
แรงเทียน 100 ฟุต อุณหภูมิ 110 <sup>0</sup> ซ	53.9
แรงเทียน 150 ฟุต อุณหภูมิ 110 <sup>0</sup> ซ	58.3

ที่มา : Cole and Kapur (1957b)

### 2.6.1.4 อิทธิพลของวิธีการทำแห้งต่อการเสื่อมสลายของไลโคพีน

Shi และคณะ (1999) ได้ศึกษาการรักษาไลโคพีนให้คงอยู่ในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศทำแห้ง โดยศึกษาการเกิด cis-isomer ของไลโคพีนในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศที่ทำแห้งด้วยวิธีต่างกัน และศึกษากระบวนการทำแห้งที่เหมาะสมเพื่อให้ไลโคพีนในมะเขือเทศทำแห้งยังคงมี bioactivity ด้วยการปรับผิวมะเขือเทศให้เป็นรู 20 รู/ตร.ซม. และแช่มะเขือเทศด้วยวิธีออสโมติกในสารละลายซูโครส 65<sup>0</sup> บริกซ์ ที่อุณหภูมิ 25<sup>0</sup>ซ เวลา 4 ชม. หลังจากนั้นทำแห้งในสุญญากาศที่ 55<sup>0</sup>ซ 4-8 ชม. แล้ววิเคราะห์หาปริมาณไลโคพีนเปรียบเทียบกับมะเขือเทศที่ทำแห้งด้วยวิธีลมร้อนที่ 95<sup>0</sup>ซ 6-10 ชม. พบว่าการทำแห้งในสุญญากาศร่วมกับวิธีออสโมติกสูญเสียไลโคพีน 2.4% และเกิด cis-isomer 6.5% ขณะที่วิธีสุญญากาศและวิธีลมร้อนโดยปราศจากวิธีออสโมติกสูญเสียไลโคพีน 3.2 และ 3.9% และเกิด cis-isomer 10.1 และ 16.6% ตามลำดับ (ตารางที่ 2.11) มะเขือเทศที่ทำแห้งด้วยวิธีออสโมติกร่วมกับวิธีสุญญากาศมีไลโคพีนมากกว่ามะเขือเทศที่ทำแห้งด้วยวิธีสุญญากาศเพียงอย่างเดียว (ไม่ใช้วิธีออสโมติก) อธิบายได้ว่าวิธีออสโมติกที่อุณหภูมิต่ำ น้ำเชื่อมที่เคลือบผิวหน้ามะเขือเทศป้องกันออกซิเจนแทรกซึมเข้าสู่เนื้อเยื่อมะเขือเทศและลดการเกิดออกซิเดชันของ

ไลโคพีนในเนื้อเยื่อมะเขือเทศ การทำแห้งด้วยวิธีทางการค้าซึ่งทำแห้งภายใต้บรรยากาศปกติ สูญเสียไลโคพีนมาก เนื่องจากความร้อนทำให้เนื้อเยื่อมะเขือเทศแตกออก ทำให้เนื้อเยื่อมะเขือเทศ โดนแสงและออกซิเจนมากขึ้น ส่งผลให้โครงสร้างไลโคพีนแตกสลาย

ตารางที่ 2.11 ปริมาณไลโคพีนทั้งหมด (total lycopene) และ cis lycopene ในมะเขือเทศทำแห้ง

ตัวอย่าง	total lycopene (µg/g นน.แห้ง)	การสูญเสียไลโคพีน (%)	All-trans isomer (%)	Cis-isomer (%)
มะเขือเทศสด	755 <sup>a</sup>	0	100	0
มะเขือเทศที่ผ่านวิธีออสโมติก	755 <sup>a</sup>	0	100	0
มะเขือเทศทำแห้งที่ใช้วิธี ออสโมติกร่วมกับสุญญากาศ	737 <sup>b</sup>	2.4	93.5	6.5
มะเขือเทศทำแห้งวิธีสุญญากาศ	731 <sup>c</sup>	3.2	89.9	10.1
มะเขือเทศทำแห้งวิธีลมร้อน	726 <sup>d</sup>	3.9	84.4	16.6

<sup>a b c d</sup> คือ ตัวอักษรที่แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในคอลัมน์เดียวกัน (P<0.01)

ที่มา : Shi and Le Maguer (1999b)

## 2.6.2 การเกิดไอโซเมอร์ไรเซชันของไลโคพีนในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์มะเขือเทศ

โดยทั่วไปสันนิษฐานว่า ไลโคพีนเกิดไอโซเมอร์ไรเซชันหลังจากผ่านกระบวนการที่ใช้ความร้อน Nguyen และ Schwartz (1998) กล่าวว่าความร้อน แสง กรดและปัจจัยอื่นๆ เป็นสาเหตุให้ไลโคพีนเกิดไอโซเมอร์ไรเซชัน ผลิตภัณฑ์มะเขือเทศจะมีคุณค่าทางโภชนาการและมีประโยชน์ต่อสุขภาพหรือไม่นั้น ไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณ total lycopene เพียงอย่างเดียวแต่ยังขึ้นอยู่กับไอโซเมอร์ของไลโคพีนด้วย

### 2.6.2.1 อิทธิพลของกระบวนการที่ใช้ความร้อนต่อการเกิดไอโซเมอร์ไรเซชันของไลโคพีน

ตารางที่ 2.12 แสดงไอโซเมอร์ของไลโคพีนในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศชนิดต่างๆ ที่กระบวนการผลิตมีการใช้ความร้อน กระบวนการผลิตที่ใช้ความร้อนมีอิทธิพลอย่างมากต่อการเกิดไอโซเมอร์ไรเซชันของไลโคพีน การให้ความร้อนมะเขือเทศในน้ำมันมีอิทธิพลต่อการเกิดไอโซเมอร์ไรเซชันของไลโคพีนมากกว่าการให้ความร้อนในน้ำ ดังนั้นการเกิดไอโซเมอร์ไรเซชันของ ไลโคพีนไม่ได้มีสาเหตุจากอุณหภูมิในการให้ความร้อนเพียงอย่างเดียว แต่องค์ประกอบของ food matrix เช่น น้ำมันหรือไขมัน ก็มีอิทธิพลต่อการเกิดไอโซเมอร์ไรเซชันด้วย (Shi and Le Maguer, 2000)

ตารางที่ 2.12 ปริมาณไลโคพีนในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศชนิดต่างๆ

ผลิตภัณฑ์	Total lycopene (mg/100 g dry basis)	Cis-isomer (%)
Peeled tomato	149.89	5.37
Tomato juice (hot-break)	161.23	5.98
Tomato juice (retorted)	180.10	3.56
Tomato (whole, retorted)	183.49	3.67
Tomato paste (concentrated)	174.79	5.07
Tomato paste (retorted)	189.26	4.07
Tomato soup (retorted)	136.76	4.34
Tomato sauce (retorted)	73.33	5.13

ที่มา : Nguyen and Schwartz (1998)

#### 2.6.2.2 อิทธิพลของวิธีการทำแห้งต่อการเกิด isomerization ของไลโคพีน

Shi และคณะ (1999) พบว่าการใช้วิธีอบสไมติก่วมกับการทำแห้ง มะเขือเทศ มีผลต่อการเกิด cis-isomer ของไลโคพีนน้อยกว่าการทำแห้งวิธีลมร้อนและวิธีสุญญากาศเพียงอย่างเดียว การทำแห้งด้วยวิธีลมร้อนไลโคพีนเกิด cis-isomer สูงสุด (ตารางที่ 2.11) ไลโคพีน cis-isomer ในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศทำแห้งเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและเวลาในการทำแห้ง

Beerh และ Siddappa (1958) ได้ศึกษาการสูญเสียไลโคพีนระหว่างการทำของสมะเขือเทศ และระหว่างการเก็บรักษา โดยวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนด้วยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี พบว่าระหว่างการทำของสมะเขือเทศสูญเสียไลโคพีน 19.9% เนื่องจากการเสื่อมสลายระหว่างการต้ม การเก็บของสมะเขือเทศที่ 37<sup>o</sup>ซ เป็นเวลา 2 เดือน ไลโคพีนเพิ่มขึ้นจาก 70.23 ไมโครกรัม/ตัวอย่าง 1 กรัม เป็น 77.66 ไมโครกรัม/ตัวอย่าง 1 กรัม ส่วนเบต้าแคโรทีนลดลงเล็กน้อยจาก 12.15 ไมโครกรัม/ตัวอย่าง 1 กรัม เป็น 11.48 ไมโครกรัม/ตัวอย่าง 1 กรัม

## บทที่ 3

# อุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย

### 3.1 วัตถุดิบ

#### 3.1.1 มะเขือเทศสด

มะเขือเทศสดพันธุ์ลูกท้อ (*Lycopersicon Esculentum Mill Var. Tor*) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4-5 ซม. และมีสีแดงทั้งผล ชื้อจากตลาดสี่มุมเมือง ใช้ในการผลิตมะเขือเทศแช่แข็ง

#### 3.1.2 ผลิตภัณฑ์มะเขือเทศ

3.1.2.1 ซอสมะเขือเทศตราไฮน์ หมดอายุวันที่ 2 พ.ย. 2545 ผลิตโดยบริษัทไฮเนเวินแซนซ์ จำกัด ประเทศไทย

3.1.2.2 น้ำมะเขือเทศบรรจุกระป๋องตรามาลี หมดอายุวันที่ 6 พ.ค. 2545 ผลิตโดยบริษัทมาลีสามพราน จำกัด (มหาชน) ประเทศไทย

3.1.2.3 มะเขือเทศปกผิวในน้ำมะเขือเทศบรรจุกระป๋องตราบุรุก หมดอายุวันที่ 1 มี.ค. 2546 ผลิตโดยโรงงานหลวงอาหารสำเร็จรูป ประเทศไทย

3.1.2.4 มะเขือเทศเข้มข้นบรรจุกระป๋องตราไม้ก้ำ หมดอายุวันที่ 29 พ.ค. 2545 ผลิตโดยบริษัทคอนดิเนนตัลฟูด จำกัด ประเทศไทย

3.1.2.5 มะเขือเทศแช่แข็งตรา red honey ผลิตโดยบริษัทวิชมล จำกัด ประเทศไทย

#### 3.1.3 ส่วนผสมที่ใช้ในกระบวนการผลิตซอสมะเขือเทศและมะเขือเทศแช่แข็ง

3.1.3.1 หอมใหญ่

3.1.3.2 น้ำตาลทราย (ตรามิตรผล)

3.1.3.3 เกลือ (ตราปรุทิพย์)

3.1.3.4 น้ำส้มสายชู (ตราภูเขาทอง)

3.1.3.5 สตาร์ชดัดแปร ( รหัส SMS 757HV จากบริษัทสยามโมดิฟายด์สตาร์ช)

### 3.2 อุปกรณ์

#### 3.2.1 อุปกรณ์ในการผลิตซอสมะเขือเทศและมะเขือเทศแช่แข็ง

3.2.1.1 อ่างน้ำร้อน (water bath)

3.2.1.2 เครื่องปั่น (blender)

3.2.1.3 เครื่องชั่งละเอียด

Mettler AB204 สวิสเซอร์แลนด์

3.2.1.4 เครื่องชั่งหยาบ

Mettler PE3000 สวิสเซอร์แลนด์

3.2.1.5 Hot plate

Velp scientifica อิตาลี

3.2.1.6	เทอร์โมมิเตอร์ (อุณหภูมิ 0-100 <sup>0</sup> เซลเซียส)		
3.2.1.7	หม้อนึ่งฆ่าเชื้อ (autoclave)	Tomy SS-245	ญี่ปุ่น
3.2.1.8	ถุงพลาสติก		
3.2.1.9	ขวดแก้วขนาด 100 มล.		
3.2.1.10	refractometer		
3.2.1.11	ตู้อบเชื้อ (incubator)	Memmert	เยอรมัน
3.2.1.12	ตู้อบลมร้อน (tray dryer)		
3.2.1.13	ตู้อบสุญญากาศ (vacuum dryer)	Hotpack	เยอรมัน
3.2.1.14	เครื่องแก้ว		

### 3.2.2 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์

3.2.2.1	เครื่องวัดสี (Chroma colorimeter)	Minolta CR-30D	ญี่ปุ่น
3.2.2.2	เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer)	Shimadzu	ญี่ปุ่น
3.2.2.3	HPLC	Milton Roy	อเมริกา
3.2.2.4	Guard column C <sub>18</sub> (P/N 03A-4053-EO 3.0X4.6 mm)	Jupiter	อเมริกา
3.2.2.5	คอลัมน์ C <sub>18</sub> (P/N 00G-4053-EO 5μ 200A <sup>0</sup> 250x4.6 mm)	Jupiter	อเมริกา
3.2.2.6	Rotary evaporator		
3.2.2.7	Separating funnel		
3.2.2.8	Refractometer		
3.2.2.9	ตู้อบสุญญากาศ (vacuum oven)	Hotpack	เยอรมัน
3.2.2.10	เครื่องแก้ว		

### 3.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1	Acetonitrile	Chromatography grade	Merck	เยอรมัน
3.3.2	Hexane	Chromatography grade	Merck	เยอรมัน
3.3.3	Methanol	Chromatography grade	Merck	เยอรมัน
3.3.4	2-Propanol	Chromatography grade	Merck	เยอรมัน
3.3.5	Petroleum ether (b.p. 80 <sup>0</sup> -100 <sup>0</sup> C)	Analytical grade	BDH	อังกฤษ
3.3.6	Petroleum ether (b.p. 40 <sup>0</sup> -60 <sup>0</sup> C)	Analytical grade	Merck	เยอรมัน
3.3.7	Sodium chloride	Analytical grade	Merck	เยอรมัน
3.3.8	Standard all-trans lycopene	Chromatography grade	Sigma	อเมริกา
3.3.9	Tetrahydrofuran	Analytical grade	Merck	เยอรมัน

3.3.10 Calcium chloride

Food grade

Merck เยอรมัน

### 3.4 สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### 3.5 วิธีการทดลอง

3.5.1 การเปรียบเทียบการวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนโดยวิธี สเปกโตรโฟโตเมทรี (Spectrophotometry) และวิธี High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

นำมะเขือเทศสดพันธุ์ลูกท้อทั้งผลและคว้านเมล็ด และผลิตภัณฑ์มะเขือเทศชนิดต่างๆ ได้แก่ มะเขือเทศเข้มข้น ซอสมะเขือเทศ น้ำมะเขือเทศ มะเขือเทศปอกผิวในน้ำมะเขือเทศและมะเขือเทศแช่แข็งมาวิเคราะห์

3.5.1.1 ความชื้น (AOAC, 1995)

3.5.1.2 ของแข็งที่ละลายได้ (AOAC, 1995)

3.5.1.3 ปริมาณไลโคพีนโดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี (ดัดแปลงจากวิธีที่รายงานใน ลักขณา รุจนะไกรภานต์ และนิธิยา รัตนานนท์, 2540)

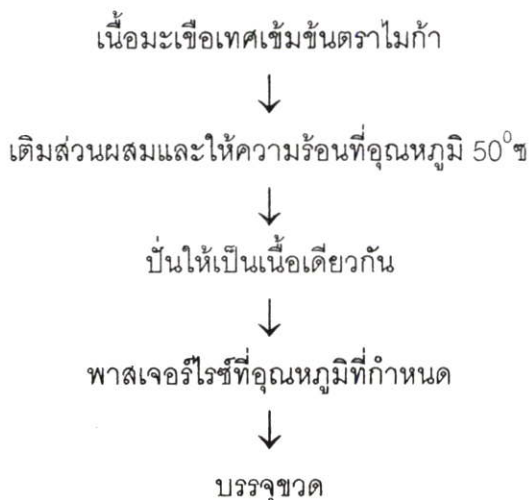
3.5.1.4 ปริมาณไลโคพีนโดยวิธี HPLC (ดัดแปลงจาก Anguelova และ Warthesen, 2000)

การเตรียมตัวอย่างก่อนทำการวิเคราะห์ สำหรับมะเขือเทศสดและมะเขือเทศปอกผิวในน้ำมะเขือเทศ นำมาบดละเอียดด้วยเครื่องบด (blender) มะเขือเทศแช่แข็งนำมาบดให้ละเอียดด้วยโกร่ง ส่วนมะเขือเทศเข้มข้นและซอสมะเขือเทศสามารถวิเคราะห์ได้โดยไม่ต้องทำการเตรียมตัวอย่าง

การวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนโดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี และวิธี HPLC ในแต่ละตัวอย่างทำการทดลอง 5 ซ้ำ วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของผลการวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนโดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี และวิธี HPLC โดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS Version 7.5

### 3.5.2 การศึกษาผลของสภาวะที่ใช้ในการพาสเจอร์ไรซ์ของมะเขือเทศที่มีต่อปริมาณไลโคปีน

ผลิตซอสมะเขือเทศจากเนื้อมะเขือเทศเข้มข้นตามภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 กระบวนการผลิตซอสมะเขือเทศ  
ที่มา : สุภาภรณ์ จบกระโทก และคณะ (2539)

ส่วนประกอบของซอสมะเขือเทศคือ	มะเขือเทศเข้มข้น 12 <sup>0</sup> บริกซ์	77.02 กรัม
	สตาร์ช	1.31 กรัม
	น้ำเชื่อม 65 <sup>0</sup> บริกซ์	11.55 กรัม
	เกลือ	1.63 กรัม
	น้ำส้มสายชู	4.57 กรัม
	หอมใหญ่	3.92 กรัม

เตรียมหอมใหญ่โดยนำหอมใหญ่มาปอกเปลือก หั่นเป็น 4 ส่วน แล้วจึงลวกในน้ำเดือดนาน 2-3 นาที นำมาบดโดยการบั่นให้ละเอียด กรองเอาส่วนกากมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตซอสมะเขือเทศ ผลิตซอสมะเขือเทศโดยเตรียมส่วนผสมทั้งหมดปริมาณ 2 กิโลกรัม

ศึกษาสภาวะในการพาสเจอร์ไรซ์ของมะเขือเทศ โดยพาสเจอร์ไรซ์ของมะเขือเทศ 2 สภาวะ คือ ที่อุณหภูมิ 60<sup>0</sup>ซ เวลา 30 นาที และ 90<sup>0</sup>ซ เวลา 10 นาที นำซอสมะเขือเทศที่ผ่านการผลิตทุกชั้นตอนมาตรวจวิเคราะห์

3.5.2.1 ความชื้น (AOAC, 1995)

3.5.2.2 ของแข็งที่ละลายได้ (AOAC, 1995)

3.5.2.3 ปริมาณไลโคพีนโดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี (ดัดแปลงจากวิธีที่รายงานใน  
ลักษณะ รุจนะไกรกานต์ และนิธิยา รัตนานนท์, 2540)

ทำการทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของปริมาณไลโคพีนในซอสมะเขือเทศที่ผ่านกระบวนการผลิตขั้นตอนต่างๆ โดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) และวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

**3.5.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีและปริมาณไลโคพีนในผลิตภัณฑ์ซอสมะเขือเทศที่เก็บภายใต้สภาวะเร่ง**

ผลิตซอสมะเขือเทศโดยพาสเจอร์ไรซ์สภาวะที่ซอสมะเขือเทศมีปริมาณไลโคพีนสูงสุดบรรจุซอสมะเขือเทศในขวดแก้วใส ขนาด 120 มล. นำมาเก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 45<sup>0</sup>ซ เก็บไว้นาน 6 สัปดาห์ ทำการตรวจวิเคราะห์ตัวแปรต่อไปในทุกสัปดาห์

3.5.3.1 วัดสีด้วย Chroma colorimeter

3.5.3.2 ความชื้น (AOAC, 1995)

3.5.3.3 ของแข็งที่ละลายได้ (AOAC, 1995)

3.5.3.4 ปริมาณไลโคพีนโดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี (ดัดแปลงจากวิธีที่รายงานใน  
ลักษณะ รุจนะไกรกานต์ และนิธิยา รัตนานนท์, 2540)

ทำการทดลอง 2 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

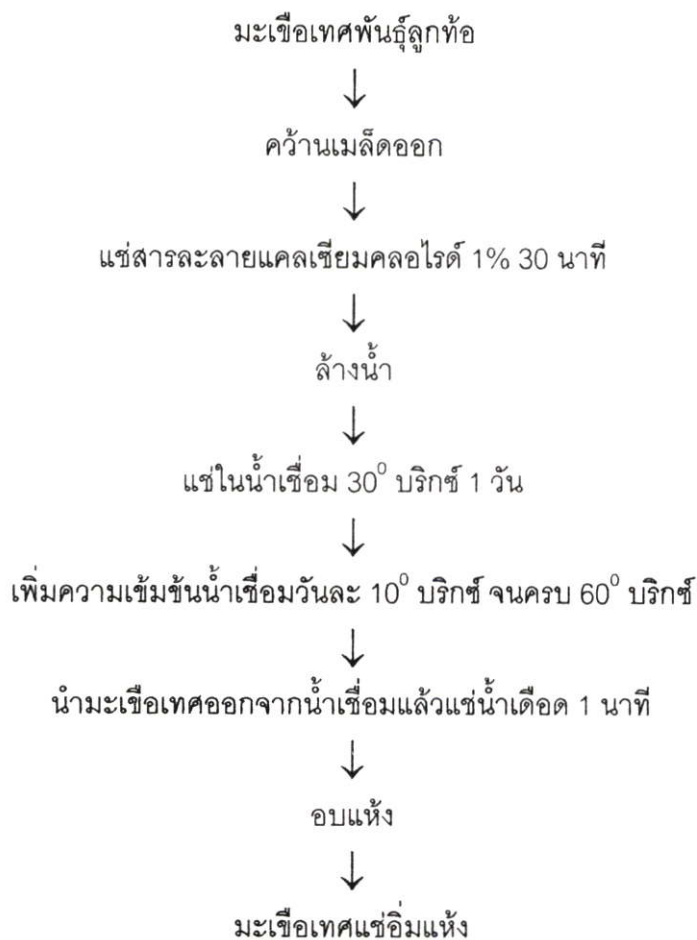
**3.5.4 การศึกษาผลของขั้นตอนการผลิตมะเขือเทศแช่แข็งที่มีต่อปริมาณไลโคพีน**

ผลิตมะเขือเทศแช่แข็งตามภาพที่ 3.2 โดยในขั้นตอนการอบแห้งมะเขือเทศแช่แข็ง ทำการอบแห้ง 2 วิธี คือ วิธีลมร้อน (hot air drying) ที่อุณหภูมิ 95<sup>0</sup>ซ นาน 6 8 และ 10 ชั่วโมง และวิธีอบแห้งภายใต้สุญญากาศ (vacuum drying) ที่อุณหภูมิ 55<sup>0</sup>ซ ความดัน 100 มิลลิบาร์ นาน 10 12 และ 14 ชั่วโมง นำตัวอย่างในทุกขั้นตอนการผลิตมาตรวจวิเคราะห์

3.5.4.1 ความชื้น (AOAC, 1995)

3.5.4.2 ปริมาณไลโคพีนโดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี (ดัดแปลงจากวิธีที่รายงานใน  
ลักษณะ รุจนะไกรกานต์ และนิธิยา รัตนานนท์, 2540)

ทำการทดลอง 2 ซ้ำ โดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของปริมาณไลโคพีนในมะเขือเทศแช่แข็งที่ผ่านการอบแห้งโดยวิธีลมร้อนและอบแห้งในสภาวะสุญญากาศในแต่ละช่วงเวลา โดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



ภาพที่ 3.2 กระบวนการผลิตมะเขือเทศแช่อิม

ที่มา : สมภพ จูฑะवलันต์ (2530)

## บทที่ 4

# ผลการทดลองและวิจารณ์

### 4.1 การเปรียบเทียบการวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนโดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี (Spectrophotometry) และวิธี HPLC

การวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนโดยทั่วไปสามารถทำได้ 2 วิธี คือ วิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี และวิธี HPLC ซึ่งในงานวิจัยอื่นๆ มีการวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนโดยวิธีใดวิธีหนึ่ง แต่ในการทดลองนี้ได้ทำการเปรียบเทียบการวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนโดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี และวิธี HPLC ในมะเขือเทศสดพันธุ์ลูกท้อทั้งผลและคว้านเมล็ด และผลิตภัณฑ์มะเขือเทศชนิดต่างๆ ได้แก่ มะเขือเทศเข้มข้น ซอสมะเขือเทศ น้ำมะเขือเทศ มะเขือเทศปอกผิวในน้ำมะเขือเทศและมะเขือเทศแช่แข็ง

#### 4.1.1 ผลการวิเคราะห์ความชื้นและของแข็งที่ละลายได้

จากการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (ตารางที่ 4.1) พบว่ามะเขือเทศสดทั้งผลและคว้านเมล็ด มะเขือเทศเข้มข้น ซอสมะเขือเทศ น้ำมะเขือเทศ มะเขือเทศปอกผิวในน้ำมะเขือเทศและมะเขือเทศแช่แข็ง มีความชื้นเท่ากับ 94.44, 93.29, 72.84, 73.39, 92.61, 93.68 และ 12.00% ตามลำดับ และมีของแข็งที่ละลายได้เท่ากับ 4.0, 4.0, 30.0, 29.8, 6.8, และ 5.0 ตามลำดับ สำหรับมะเขือเทศแช่แข็งไม่ได้วิเคราะห์ของแข็งที่ละลายได้ เนื่องจากมะเขือเทศแช่แข็งเป็นอาหารแห้ง การแสดงปริมาณไลโคพีนโดยน้ำหนักแห้ง (dry basis) แสดงให้เห็นถึงความเข้มข้นของไลโคพีนในผลิตภัณฑ์ที่แท้จริงโดยปราศจากความชื้น ตัวอย่างเช่นปริมาณไลโคพีนในมะเขือเทศสดทั้งผลที่วัดโดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี เท่ากับ 6.54 มก./100 กรัม นน.สดหรือ 117.70 มก./100 กรัม นน.แห้ง เมื่อเปรียบเทียบกับซอสมะเขือเทศซึ่งมีไลโคพีน 13.70 มก./100 กรัม นน.สด หรือ 51.50 มก./100 กรัม นน.แห้ง จะเห็นว่าเมื่อพิจารณาปริมาณไลโคพีนโดยน้ำหนักสด ซอสมะเขือเทศมีปริมาณไลโคพีนสูงกว่ามะเขือเทศสดทั้งผล แต่เมื่อพิจารณาปริมาณไลโคพีนโดยน้ำหนักแห้ง (dry basis) พบว่ามะเขือเทศสดทั้งผลมีไลโคพีนมากกว่าซอสมะเขือเทศ เนื่องจากมะเขือเทศสดมีปริมาณความชื้นสูงกว่าซอสมะเขือเทศ

ตารางที่ 4.1 ของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (total soluble solid) และความชื้นของมะเขือเทศสด และผลิตภัณฑ์มะเขือเทศชนิดต่างๆ

ตัวอย่าง	ของแข็งที่ละลายได้ ( <sup>o</sup> บริกซ์)	ความชื้น (%)
มะเขือเทศสดทั้งผล	4.0	94.44
มะเขือเทศสดคว้านเมล็ด	4.0	93.29
มะเขือเทศเข้มข้น	30.0	72.84
ซอสมะเขือเทศ	29.8	73.39
น้ำมะเขือเทศ	6.8	92.61
มะเขือเทศปอกผิวในน้ำมะเขือเทศ	5.0	93.68
มะเขือเทศแช่แข็ง	-	12.00

#### 4.1.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีน

การวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนโดยวิธี HPLC พบว่าไลโคพีนมีรีเทนชันไทม์ (retention time) ประมาณ 12 นาที ผลการวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนแสดงในตารางที่ 4.2

มะเขือเทศสดทั้งผลมีปริมาณไลโคพีนที่วิเคราะห์โดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี เท่ากับ 6.54 มก./100 กรัม นน.สด หรือ 117.70 มก./100 กรัม นน.แห้ง และเมื่อทดลองคว้านเมล็ดออก เพื่อวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนในส่วนเนื้อและผิวมะเขือเทศ พบว่ามีปริมาณไลโคพีน เท่ากับ 8.43 มก./100 กรัม นน.สด หรือ 125.60 มก./100 กรัม นน.แห้ง จะเห็นได้ว่ามะเขือเทศสดคว้านเมล็ดมีไลโคพีนมากกว่ามะเขือเทศสดทั้งผล เนื่องจากส่วนของเมล็ดมี ไลโคพีนปริมาณน้อยมาก โดยไลโคพีนส่วนใหญ่จะอยู่ที่ผิวมะเขือเทศ (Sharma and Le Maguer, 1996) การคว้านเมล็ดออกจึงเป็นการเพิ่มสัดส่วนเนื้อมะเขือเทศ ส่งผลให้มีปริมาณไลโคพีนสูงขึ้น

ในส่วนของผลิตภัณฑ์มะเขือเทศที่ใช้ในการทดลอง แบ่งผลิตภัณฑ์เป็น 3 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้เป็นส่วนประกอบในอาหาร ได้แก่ มะเขือเทศเข้มข้นและมะเขือเทศปอกผิวในน้ำมะเขือเทศ มีปริมาณไลโคพีนที่วิเคราะห์โดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี เท่ากับ 41.49 และ 8.93 มก./100 กรัม นน.สด หรือ 152.75 และ 141.38 มก./100 กรัม นน.แห้ง ตามลำดับ และมีปริมาณไลโคพีนที่วิเคราะห์โดยวิธี HPLC เท่ากับ 50.59 และ 10.28 มก./100 กรัม นน.สด หรือ 186.28 และ 162.72 มก./100 กรัม นน.แห้ง ตามลำดับ ซึ่งผลิตภัณฑ์ 2 ชนิดนี้มีปริมาณไลโคพีนโดยน้ำหนักสด (wet basis) ต่างกันมากเนื่องจากมีความชื้นต่างกันมาก แต่เมื่อพิจารณาปริมาณไลโคพีนโดยน้ำหนักแห้ง (dry basis) พบว่ามีปริมาณไลโคพีนใกล้เคียงกัน กลุ่มที่ 2 คือ ผลิตภัณฑ์ที่สามารถบริโภคได้โดยตรง ได้แก่ ซอสมะเขือเทศและน้ำมะเขือเทศ มีปริมาณไลโคพีนที่วิเคราะห์

โดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี เท่ากับ 13.70 และ 7.32 มก./100 กรัม นน.สด หรือ 51.50 และ 99.04 มก./100 กรัม นน.แห้ง ตามลำดับ และมีปริมาณไลโคพีนที่วิเคราะห์โดยวิธี HPLC เท่ากับ 9.67 และ 6.42 มก./100 กรัม นน.สด หรือ 36.35 และ 86.86 มก./100 กรัม นน.แห้ง ตามลำดับ กลุ่มที่ 3 คือมะเขือเทศแช่อิ่ม ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะต่างจากกลุ่มอื่นๆ โดยมีความชื้นต่ำมาก และมีปริมาณไลโคพีนโดยน้ำหนักแห้งต่ำมาก ซึ่งมีปริมาณไลโคพีนที่วิเคราะห์โดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี และวิธี HPLC เท่ากับ 10.44 และ 6.63 มก./100 กรัม นน.สด หรือ 11.86 และ 7.54 มก./100 กรัม นน.แห้งตามลำดับ ผลจากการทดลองนี้ใกล้เคียงกับโนบทความของ Nguyen และ Schwartz (1999) ซึ่งได้แสดงปริมาณไลโคพีนในมะเขือเทศสด มะเขือเทศเข้มข้น ซอสมะเขือเทศ และน้ำมะเขือเทศ เท่ากับ 3.1-7.74, 30.07, 16.60 และ 7.83 มก./100 กรัม นน.สด ตามลำดับ

การวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนโดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี ให้ผลแตกต่างจากวิธี HPLC อยู่ในช่วง 12.30-36.49% โดยการวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนในมะเขือเทศสดทั้งผลและคว้านเมล็ด น้ำมะเขือเทศและมะเขือเทศปอกผิวในน้ำมะเขือเทศ มีความแตกต่างระหว่าง 2 วิธีเล็กน้อย โดยมีความแตกต่างอยู่ในช่วง 12.30-15.12% แต่การวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนในมะเขือเทศเข้มข้น ซอสมะเขือเทศและมะเขือเทศแช่อิ่ม มีความแตกต่างจากการวิเคราะห์ระหว่าง 2 วิธีนี้เท่ากับ 21.93, 29.42 และ 36.49% ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างสูงกว่าในตัวอย่างอื่นๆ สังเกตเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์มะเขือเทศที่มีความชื้นต่ำ (มะเขือเทศเข้มข้น ซอสมะเขือเทศ และมะเขือเทศแช่อิ่ม) มีความแตกต่างจากการวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนระหว่าง 2 วิธีนี้สูงกว่ามะเขือเทศสดและผลิตภัณฑ์มะเขือเทศ (น้ำมะเขือเทศ และมะเขือเทศปอกผิวในน้ำมะเขือเทศ) ซึ่งมีความชื้นสูงกว่า อาจเนื่องจากการวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนโดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรีและวิธี HPLC มีวิธีการสกัดไลโคพีนแตกต่างกัน และใช้สารเคมีต่างกัน ซึ่งวิธีการสกัดไลโคพีนของวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรีใช้เวลาในการสกัดไลโคพีนจากตัวอย่างนานกว่าวิธี HPLC จึงอาจส่งผลให้ผลการวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนโดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรีมีแนวโน้มที่มากกว่าการวิเคราะห์โดยวิธี HPLC

อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนโดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรีอาจมีความคลาดเคลื่อนจากการวัดค่าการดูดกลืนแสง เนื่องจากไลโคพีนมีความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงสูงสุด ใกล้เคียงกับเบต้าแคโรทีน สำหรับผลจากการวิเคราะห์โดยวิธี HPLC คือไลโคพีนเท่านั้น เนื่องจากวิธี HPLC สามารถแยกฟีกของไลโคพีนออกจากเบต้าแคโรทีนได้

ตารางที่ 4.2 ปริมาณไลโคพีน (มก./100กรัม) ในมะเขือเทศสดและผลิตภัณฑ์มะเขือเทศชนิดต่างๆ ที่วิเคราะห์โดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรีและวิธี HPLC

ตัวอย่าง	วิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี				วิธี HPLC				ความแตกต่าง(%)
	ปริมาณไลโคพีน		ปริมาณไลโคพีน		ปริมาณไลโคพีน		ปริมาณไลโคพีน		
	Wet basis	Dry basis	Dry basis	CV (%)	Wet basis	Dry basis	CV (%)	(Wet basis)	
มะเขือเทศสดทั้งหมด	6.54±0.62 <sup>a</sup>	117.70±11.08	5.66±1.01 <sup>a</sup>	9.41	101.82±18.19	17.86	13.46		
มะเขือเทศสดคว้านเมล็ด	8.43±0.68 <sup>a</sup>	125.60±10.17	7.30±0.83 <sup>b</sup>	8.10	108.78±12.40	11.40	13.40		
มะเขือเทศเข้มข้น	41.49±3.00 <sup>a</sup>	152.75±11.03	50.59±2.48 <sup>b</sup>	7.22	186.28±9.12	4.90	21.93		
ซอสมะเขือเทศ	13.70±1.52 <sup>a</sup>	51.50±5.71	9.67±0.92 <sup>b</sup>	11.09	36.35±3.46	9.52	29.42		
น้ำมันมะเขือเทศ	7.32±0.41 <sup>a</sup>	99.04±5.49	6.42±1.41 <sup>a</sup>	5.54	86.86±19.10	21.99	12.30		
มะเขือเทศปอกผิวในน้ำ	8.93±0.28 <sup>a</sup>	141.38±4.43	10.28±1.80 <sup>a</sup>	3.13	162.72±28.43	17.47	15.12		
มะเขือเทศ									
มะเขือเทศแช่ขิม	10.44±1.38 <sup>a</sup>	11.86±1.57	6.63±0.87 <sup>b</sup>	13.24	7.54±1.00	13.26	36.49		

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่ต่างกันบนแถวหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05)

2) ปริมาณไลโคพีนที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากผลการทดลอง 5 ซ้ำ

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าปริมาณไลโคพีนโดยน้ำหนักสด (wet basis) ในมะเขือเทศสดทั้งผล น้ำมะเขือเทศและมะเขือเทศปอกผิวในน้ำมะเขือเทศ ที่วิเคราะห์โดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี และวิธี HPLC ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ส่วนปริมาณไลโคพีน (wet basis) ในมะเขือเทศสดคว้านเมล็ด มะเขือเทศเข้มข้น ซอสมะเขือเทศและมะเขือเทศแช่แข็งที่วิเคราะห์โดย 2 วิธีนี้ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (coefficient of variation, CV) จะเห็นว่าการวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนในมะเขือเทศสดทั้งผล น้ำมะเขือเทศและมะเขือเทศปอกผิวในน้ำมะเขือเทศ โดยวิธี HPLC มีค่า CV (%) เท่ากับ 17.86 21.99 และ 17.47% ตามลำดับ ซึ่งมีค่าค่อนข้างสูง แสดงให้เห็นว่าข้อมูลภายในตัวอย่างเดียวกันมีความเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ยมาก จึงทำให้ผลการวิเคราะห์ทางสถิติไม่มีความแตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาโดยรวมแล้วจะเห็นว่าวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรีมีค่า CV ต่ำกว่าวิธี HPLC และผลการวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนของทั้ง 2 วิธีมีแนวโน้มที่เหมือนกัน นอกจากนี้วิธีการสกัดไลโคพีนของวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรีไม่ยุ่งยาก ใช้สารเคมีน้อยกว่าวิธี HPLC จึงเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่า จากเหตุผลดังกล่าวจึงเลือกใช้วิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี วิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนในมะเขือเทศสดและผลิตภัณฑ์มะเขือเทศ

## 4.2 การศึกษาผลของสภาวะที่ใช้ในการพาสเจอร์ไรซ์ซอสมะเขือเทศที่มีต่อปริมาณไลโคพีน

### 4.2.1 ผลการวิเคราะห์ความชื้นและของแข็งที่ละลายได้

จากการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (total soluble solid) และปริมาณความชื้นของตัวอย่างในระหว่างกระบวนการผลิตซอสมะเขือเทศตามวิธีในภาพที่ 3.1 (ตารางที่ 4.3) พบว่าหลังจากผ่านขั้นตอนต่างๆ ซอสมะเขือเทศมีความชื้นลดลงเรื่อยๆ จากมะเขือเทศเข้มข้นที่เจือจางให้มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้  $12^{\circ}$ บริกซ์ ซึ่งมีความชื้น 86.46% เมื่อนำมาเติมส่วนผสมและให้ความร้อนที่  $50^{\circ}$ ซ นาน 30 นาที บั่นผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน และพาสเจอร์ไรซ์ที่  $60^{\circ}$ ซ 30 นาที หรือพาสเจอร์ไรซ์ที่  $90^{\circ}$ ซ 30 นาที ซอสมะเขือเทศมีความชื้นลดลงเหลือ 77.98, 77.88, 76.98 และ 75.79% ตามลำดับ ซึ่งแสดงผลที่สัมพันธ์กับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ที่เพิ่มขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิต กล่าวคือมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้นเป็น 19.6, 19.5, 20.4 และ  $21.9^{\circ}$ บริกซ์ ตามลำดับ

### 4.2.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีน

การวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนโดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรีในระหว่างกระบวนการผลิตซอสมะเขือเทศ เริ่มจากมะเขือเทศเข้มข้นที่เจือจางให้มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้  $12^{\circ}$ บริกซ์ ซึ่งมี

ไลโคพีน 28.11 มก./100 กรัม นน.สด หรือ 207.99 มก./100 กรัม นน.แห้ง หลังจากนั้นนำมาผ่านขั้นตอนการเติมส่วนผสมและให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50<sup>0</sup>ซ นาน 30 นาที พบว่ามีปริมาณไลโคพีน 22.32 มก./100 กรัม นน.สด หรือ 101.36 มก./100 กรัม นน.แห้ง ปริมาณไลโคพีนที่ลดลงเนื่องจากส่วนผสมของซอสมะเขือเทศมีมะเขือเทศเข้มข้นที่เจือจางเป็น 12<sup>0</sup>ปริกซ์ เพียง 77.00% นอกนั้นเป็นส่วนผสมอื่นๆ ได้แก่ สตาร์ช น้ำเชื่อม เกลือ น้ำส้มสายชูและหอมใหญ่ จึงทำให้ปริมาณไลโคพีนน้อยลงเมื่อเทียบต่อน้ำหนักทั้งหมด (ปริมาณไลโคพีนในส่วนผสมทั้งหมดที่ได้จากการคำนวณเท่ากับ 21.64 มก./100 กรัม นน.สด) หลังจากนั้นนำไปเติมส่วนผสมและให้ความร้อนที่ 50<sup>0</sup>ซ และปั่นผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน พบว่าปริมาณไลโคพีนยังคงไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากขั้นตอนดังกล่าวไม่ได้ใช้ความร้อนที่รุนแรง และในการปั่นเป็นการใช้แรงกลและใช้เวลาปั่นผสมเพียง 2 นาที ซึ่งไม่ได้สัมผัสกับออกซิเจนเป็นเวลานานจึงไม่มีผลต่อการสูญเสียไลโคพีน

หลังจากทำการพาสเจอร์ไรซ์ซอสมะเขือเทศที่ 2 สภาวะ คือที่อุณหภูมิ 60<sup>0</sup>ซ 30 นาที และ 90<sup>0</sup>ซ 10 นาที พบว่ามีปริมาณไลโคพีนในผลิตภัณฑ์ 23.67 และ 22.31 มก./100 กรัม นน.สด หรือ 102.79 และ 92.08 มก./100 กรัม นน.แห้ง จากการทดสอบทางสถิติพบว่าปริมาณไลโคพีนโดย น้ำหนักสด ในซอสมะเขือเทศที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่ 2 สภาวะนี้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) แต่เมื่อพิจารณาปริมาณไลโคพีนโดยน้ำหนักแห้ง พบว่าปริมาณไลโคพีนในซอสมะเขือเทศที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่ 2 สภาวะ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) เนื่องจากการพาสเจอร์ไรซ์ที่ 90<sup>0</sup>ซ ซอสมะเขือเทศมีความชื้นน้อยกว่าการพาสเจอร์ไรซ์ที่ 60<sup>0</sup>ซ จึงพิจารณาปริมาณไลโคพีนโดยน้ำหนักแห้ง พบว่าการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิสูงทำให้ปริมาณไลโคพีนลดลง เนื่องจากการใช้ความร้อนสูงเป็นสาเหตุของการเสื่อมสลายของไลโคพีนโดยจะไปเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน และ ไอโซเมอไรเซชัน (isomerization) ดังที่ Monselise และ Berk (1954) ได้กล่าวไว้ว่าไลโคพีนเกิดการเสื่อมสลายเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ในระหว่างกระบวนการผลิตมะเขือเทศเข้มข้น นอกจากนี้มีงานวิจัยของ Nguyen และ Schwartz (1998) ที่พบว่าผลิตภัณฑ์น้ำมะเขือเทศ มะเขือเทศทั้งผลบรรจุกระป๋อง มะเขือเทศเข้มข้น และซอสมะเขือเทศที่ให้ความร้อนในรีทอร์ท ประกอบด้วยไลโคพีน cis-isomer 3.56, 3.67, 4.07 และ 5.13% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า มะเขือเทศเข้มข้นและซอสมะเขือเทศซึ่งผ่านกระบวนการที่ใช้ความร้อนเป็นเวลานาน ซึ่งเป็นสภาวะที่รุนแรงกว่ากระบวนการผลิตน้ำมะเขือเทศและมะเขือเทศทั้งผลบรรจุกระป๋อง มีไลโคพีน cis-isomer มากขึ้น

ตารางที่ 4.3 ปริมาณไลโคพีน (มก/100 กรัม) ที่วิเคราะห์โดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมตรี ของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ และความชื้นในระหว่างกระบวนการผลิตซอสมะเขือเทศ

ตัวอย่าง	ปริมาณไลโคพีน		ของแข็งที่ละลายได้ (°บริกซ์)	ความชื้น (%)
	Wet basis	Dry basis		
มะเขือเทศเข้มข้น 12°บริกซ์	28.11	207.99	12.0	86.46
มะเขือเทศเข้มข้น 12°บริกซ์ + เติมส่วนผสมและให้ความร้อนที่ 50°ซ	22.32±0.82 <sup>a</sup>	101.36±3.08 <sup>a</sup>	19.6	77.98
มะเขือเทศเข้มข้น 12°บริกซ์ + เติมส่วนผสมและให้ความร้อนที่ 50°ซ + ปั่นผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน	23.45±0.66 <sup>a</sup>	106.01±3.75 <sup>a</sup>	19.5	77.88
มะเขือเทศเข้มข้น 12°บริกซ์ + เติมส่วนผสมและให้ความร้อนที่ 50°ซ + ปั่นผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน + พาสเจอร์ไรซ์ 60°ซ 30 นาที	23.67±0.52 <sup>a</sup>	102.76±1.63 <sup>a</sup>	20.4	76.98
มะเขือเทศเข้มข้น 12°บริกซ์ + เติมส่วนผสมและให้ความร้อนที่ 50°ซ + ปั่นผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน + พาสเจอร์ไรซ์ 90°ซ 10 นาที	22.31±0.95 <sup>a</sup>	92.08±2.29 <sup>b</sup>	21.9	75.79

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05)

### 4.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีและปริมาณไลโคพีนในผลิตภัณฑ์ซอสมะเขือเทศที่เก็บภายใต้สภาวะเร่ง

ผลิตซอสมะเขือเทศตามวิธีในภาพที่ 3.1 โดยทำการพาสเจอร์ไรซ์ซอสมะเขือเทศที่อุณหภูมิ 60<sup>o</sup>ซ 30 นาที เนื่องจากการพาสเจอร์ไรซ์ที่สภาวะนี้ ซอสมะเขือเทศมีปริมาณไลโคพีนสูงกว่าการพาสเจอร์ไรซ์ที่ 90<sup>o</sup>ซ 10 นาที หลังจากนั้นบรรจุซอสมะเขือเทศในขวดแก้วใสขนาด 120 มล. แล้วจึงนำไปเก็บรักษาในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 45<sup>o</sup>ซ เป็นเวลา 6 สัปดาห์

ในระหว่างการเก็บรักษาซอสมะเขือเทศพบว่าซอสมะเขือเทศมีปริมาณความชื้นไม่เปลี่ยนแปลง (ตารางที่ 4.4) จึงวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนโดยน้ำหนักสด ซึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนโดยวิธี สเปกโตรโฟโตเมทรีทุกสัปดาห์ พบว่าปริมาณไลโคพีนมีแนวโน้มลดลง (ภาพที่ 4.1) ในซอสมะเขือเทศเริ่มต้นมีปริมาณไลโคพีน 18.16 มก./100 กรัม นน. สด และเมื่อเก็บไว้ครบ 6 สัปดาห์ ปริมาณไลโคพีนลดลงเหลือ 16.24 มก./100 กรัม นน. สด เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าการเก็บซอสมะเขือเทศไว้นาน 5 และ 6 สัปดาห์ ปริมาณไลโคพีน แตกต่างกับที่เวลา 0 และ 1 สัปดาห์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ตารางที่ 4.4)

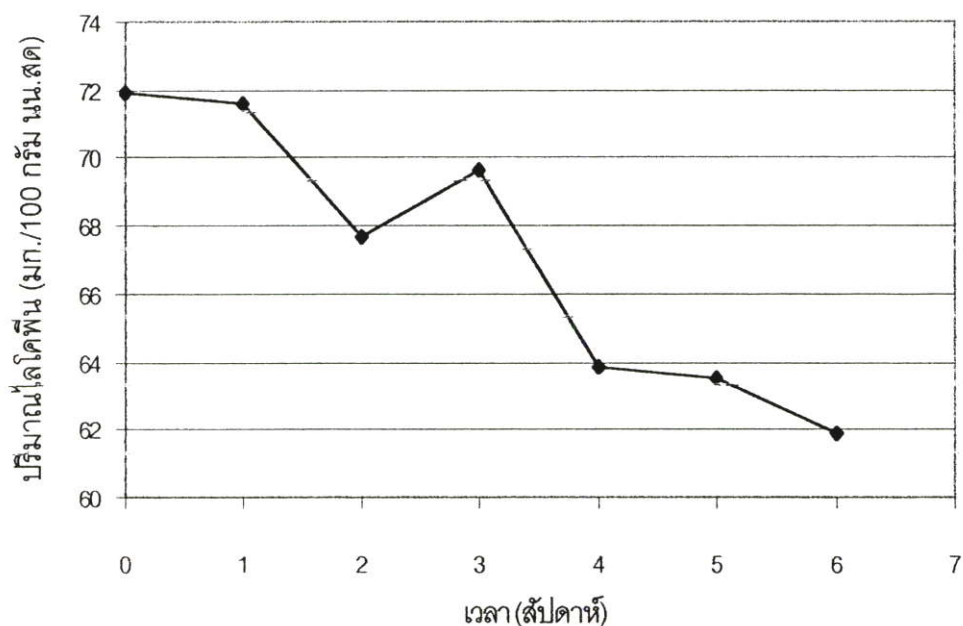
การที่ไลโคพีนในซอสมะเขือเทศที่เก็บรักษาระยะเวลานานมีปริมาณลดลง อาจเนื่องจากแคโรทีนอยด์ในผักและผลไม้จะอยู่รวมกับโปรตีนเป็นโครงสร้างที่ซับซ้อน (protein-carotenoid complex) ซึ่งโครงสร้างร่างแหของอาหาร (food matrix) เช่น องค์ประกอบของโครโมพลาสต์ และไฟเบอร์ ช่วยรักษาเสถียรภาพของ all-trans lycopene ในมะเขือเทศ การปรุงอาหารด้วยความร้อน (cooking) การบด และการสับให้ละเอียดจะทำให้ผนังเซลล์พืชแตก ทำให้ lycopene-protein complex แตกออก เกิดการปลดปล่อยไลโคพีน (Hussein and El-Tohamy, 1990) ทำให้ไลโคพีนมีเสถียรภาพลดลง จึงมีความไว (sensitive) ต่อแสง ความร้อน กรดและออกซิเจนมากขึ้น ส่งผลให้ไลโคพีนไม่เสถียรในระหว่างเก็บรักษา

ถึงแม้ว่าการผลิตซอสมะเขือเทศจะบรรจุในขณะร้อน แต่ภายในผลิตภัณฑ์ยังคงมีอากาศเหลืออยู่ จึงทำให้มีอากาศหลงเหลืออยู่ในภาชนะบรรจุ ซึ่งออกซิเจนเป็นปัจจัยสำคัญในการเสื่อมสลายของไลโคพีนในระหว่างเก็บรักษา (Wong and Bohart, 1957) ประกอบกับการเก็บในสภาวะเร่งเป็นการเก็บที่อุณหภูมิสูง (45<sup>o</sup>ซ) จึงเป็นการเพิ่มอัตราการเกิดออกซิเดชันของไลโคพีน ดังนั้นการเก็บผลิตภัณฑ์มะเขือเทศที่ดีที่สุดจึงควรเก็บในสภาวะสุญญากาศ หรือบรรยากาศเฉื่อย โดย ทดแทนก๊าซไนโตรเจนบริเวณที่ว่างคอดขวด เพื่อให้การสูญเสียไลโคพีนในระหว่างการเก็บรักษาน้อยที่สุด (Shi and Le Marguer, 2000)

ตารางที่ 4.4 ปริมาณไลโคพีน (มก./100 กรัม นน.สด) ความชื้นและค่าสีของซอสมะเขือเทศในระหว่างการเก็บรักษาที่ 45<sup>0</sup>ซ

เวลา (สัปดาห์)	ปริมาณไลโคพีน	ความชื้น (%)	ค่าสี				
			L	a	b	$\Delta E$	$\tan^{-1}(b/a)$
0	18.86±0.08 <sup>a</sup>	73.77	43.61	12.61	7.12	0	29.47
1	18.68±0.33 <sup>a</sup>	73.90	42.16	11.15	6.73	2.10	31.12
2	17.84±1.72 <sup>ab</sup>	73.66	42.11	10.41	6.21	2.76	31.75
3	18.33±0.56 <sup>ab</sup>	73.68	41.90	9.68	6.03	3.57	31.92
4	16.68±0.42 <sup>ab</sup>	73.86	41.51	9.28	5.82	4.15	32.09
5	16.18±0.95 <sup>b</sup>	74.52	40.53	9.00	5.69	4.99	32.32
6	16.24±1.44 <sup>b</sup>	73.79	40.34	8.40	5.31	5.68	32.32

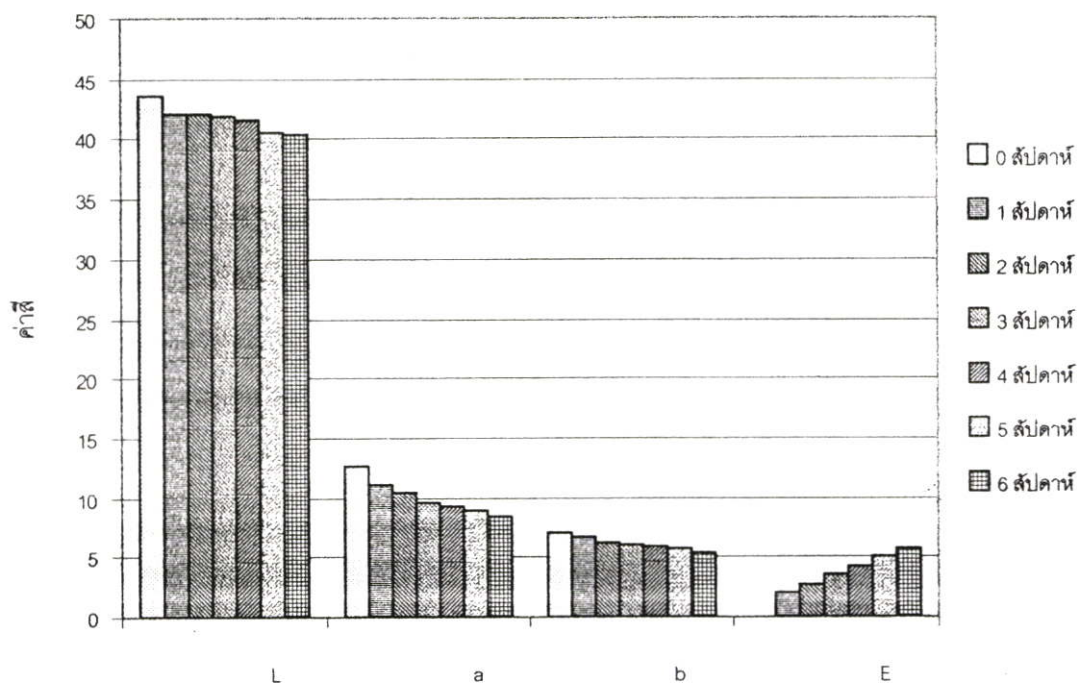
หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )



ภาพที่ 4.1 ปริมาณไลโคพีนในซอสมะเขือเทศในระหว่างการเก็บรักษาที่ 45<sup>0</sup>ซ

จากการวัดสีของซอสมะเขือเทศโดย Chroma colorimeter (ภาพที่ 4.2) พบว่า ค่า L ซึ่งเป็นค่าที่ใช้กำหนดความสว่าง มีค่าลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาจาก 43.61 ลดลงเหลือ 40.34 แสดงว่าซอสมะเขือเทศมีสีคล้ำขึ้นเมื่อเก็บไว้นานขึ้น ค่า a ซึ่งเป็นค่าที่ใช้กำหนดสีแดงหรือเขียว (+ หมายถึงสีแดง - หมายถึงสีเขียว) ค่าที่ได้มีค่า a ลดลง ตลอดระยะเวลาการเก็บจาก 12.61 เป็น 8.40 แสดงว่าซอสมะเขือเทศมีสีแดงลดลง ค่า b ซึ่งเป็นค่าที่ใช้กำหนดสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน (+ หมายถึงสีเหลือง - หมายถึงสีน้ำเงิน) ค่าที่ได้มีค่า b ลดลงตลอดระยะเวลาเก็บจาก 7.12 เป็น 5.31 แสดงว่าซอสมะเขือเทศมีสีเหลืองลดลง และมีแนวโน้มของสีน้ำเงินมากขึ้น ซึ่งก็คือมีสีคล้ำขึ้นนั่นเอง เมื่อพิจารณาค่า  $\Delta E$  จะเห็นได้ว่าเมื่อเก็บซอสมะเขือเทศนานขึ้นซอสมะเขือเทศจะมีสีเปลี่ยนไป ( $\Delta E$  เพิ่มขึ้น) โดยมีสีคล้ำขึ้นตามที่กล่าวมาข้างต้น สำหรับค่า  $\tan^{-1}(b/a)$  เป็นค่าที่แสดงว่าสีอยู่ที่ตำแหน่งใดในกราฟ มีหน่วยเป็นองศา ( $\tan^{-1}(b/a)$  เท่ากับ 0 แสดงว่าเป็นสีแดง  $90^\circ$  แสดงว่าเป็นสีเหลือง  $180^\circ$  แสดงว่าเป็นสีเขียว  $270^\circ$  แสดงว่าเป็นสีน้ำเงิน) ค่า  $\tan^{-1}(b/a)$  ของซอสมะเขือเทศมีค่าเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาเก็บรักษาจาก 29.47 เป็น 32.32 แสดงว่ามีค่าอยู่ระหว่างสีแดงและสีเหลือง แต่ยังคงเป็นสีแดง

ในระหว่างเก็บรักษาซอสมะเขือเทศสังเกตเห็นว่า ซอสมะเขือเทศมีสีคล้ำขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยไม่ใช้เอนไซม์ ระหว่างกรดอะมิโนและน้ำตาลรีดิวซ์ ซอสมะเขือเทศมีค่า pH ต่ำ และมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบอยู่มาก ทำให้เกิดการย่อยสลายน้ำตาลให้เป็นกลายเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ ซึ่งเป็นสารสำคัญในการเกิดปฏิกิริยานอกจากนี้ยังพบว่าซอสมะเขือเทศที่บริเวณคอขวดมีสีดำ (black neck) ซึ่งเป็นปัญหาที่เกิดแก่ซอสมะเขือเทศที่เก็บไว้เป็นเวลานาน สาเหตุสำคัญของการเกิด black neck คือ เหล็ก แทนิน และออกซิเจน โดยที่เหล็กซึ่งเจือปนในซอสมะเขือเทศจะทำปฏิกิริยากับแทนนิน ซึ่งเป็นองค์ประกอบตามธรรมชาติในเนื้อ เมล็ดมะเขือเทศ และเครื่องเทศ กลายเป็นสารประกอบที่เรียกว่า black ferric compounds โดยมีออกซิเจนเป็นตัวออกซิไดซ์ให้เหล็กเฟอร์รัส (ferrous) เปลี่ยนรูปเป็นเหล็กเฟอร์ริก (ferric) แล้วเหล็กเฟอร์ริกจะทำปฏิกิริยากับกลุ่มสารแทนนิน กลายเป็นสารประกอบที่มีสีน้ำตาลคล้ำหรือสีดำ (สุพรรณณี, 2520)



ภาพที่ 4.2 ค่าสีของซอสมะเขือเทศในระหว่างเก็บรักษาที่  $45^{\circ}\text{ซ}$

นอกจากนี้ยังได้ทำการวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และพีเอช (pH) ของซอสมะเขือเทศในระหว่างการเก็บรักษา พบว่าซอสมะเขือเทศมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ และ pH ไม่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ตารางที่ 4.5)

ตารางที่ 4.5 ของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ และ pH ของซอสมะเขือเทศในระหว่างการเก็บรักษาที่  $45^{\circ}\text{ซ}$

เวลา (สัปดาห์)	ของแข็งที่ละลายได้ (°บrix)	pH
0	23.90	3.54
1	23.50	3.63
2	24.00	3.64
3	23.70	3.67
4	23.90	3.62
5	23.80	3.64
6	24.10	3.65

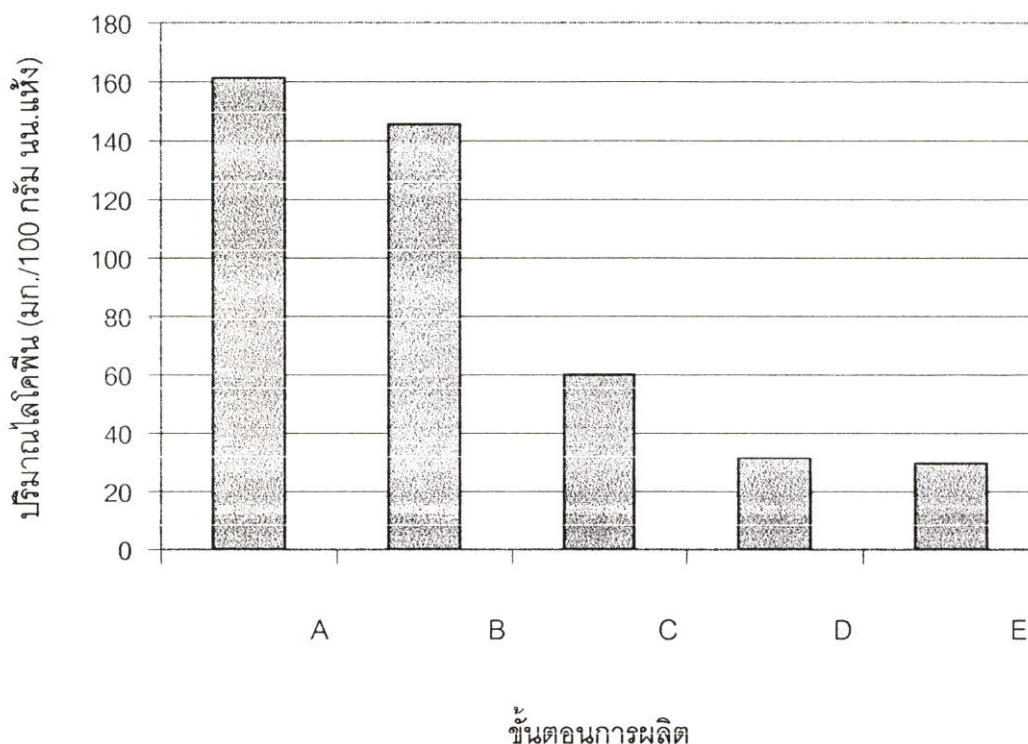
#### 4.4 การศึกษาผลของขั้นตอนการผลิตมะเขือเทศแช่ร้อนที่มีต่อปริมาณไลโคพีน

การวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนโดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี ในระหว่างกระบวนการผลิตมะเขือเทศแช่ร้อน ตามวิธีในภาพที่ 3.2 แสดงในตาราง 4.6 พบว่ามะเขือเทศสดคว้านเมล็ดมีปริมาณไลโคพีน 161.46 มก./100 กรัม นน.แห้ง หลังจากนั้นนำมาแช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 1% นาน 30 นาที ปริมาณไลโคพีนลดลงเหลือ 145.54 มก./100 กรัม นน.แห้ง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) การสูญเสีย 9.86% หลังจากแช่น้ำเชื่อม 30° บริกซ์ 1 วัน ไลโคพีนลดลงอย่างมาก โดยลดลงเหลือเพียง 60.29 มก./100 กรัม นน.แห้ง สูญเสียไลโคพีนสูงถึง 62.66% เมื่อเปรียบเทียบกับไลโคพีนในมะเขือเทศสดคว้านเมล็ดเริ่มต้น ซึ่งจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ปริมาณไลโคพีนในมะเขือเทศที่ผ่านการแช่น้ำเชื่อม 30° บริกซ์ แตกต่างกับปริมาณไลโคพีนในมะเขือเทศก่อนนำมาแช่น้ำเชื่อมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และหลังจากเปลี่ยนน้ำเชื่อมโดยเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเชื่อมวันละ 10° บริกซ์ จนครบ 60° บริกซ์ พบว่าปริมาณไลโคพีนลดลงเหลือ 31.55 มก./100 กรัม นน.แห้ง สูญเสียไลโคพีนมากขึ้นเป็น 80.46% ซึ่งแตกต่างกับปริมาณไลโคพีนในมะเขือเทศที่ผ่านการแช่น้ำเชื่อม 30° บริกซ์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) จากผลการทดลองนี้พบว่า หลังจากผ่านขั้นตอนการแช่น้ำเชื่อม 30° บริกซ์ ปริมาณไลโคพีนลดลงมากที่สุด (ภาพที่ 4.3) การที่ปริมาณไลโคพีนลดลงอย่างมากนี้อาจเนื่องจากไม่มีขั้นตอนการลวก หรือขั้นตอนที่สามารถทำลายเอนไซม์ที่เร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ได้แก่ เอนไซม์ไลพอกซีจีเนส และเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส โดยเอนไซม์ ไลพอกซีจีเนสจะเร่งให้ไขมันไม่อิ่มตัวเกิดออกซิเดชัน หลังจากนั้นสารที่เกิดจากการออกซิเดชันจะออกซิไดซ์แคโรทีนอยด์ ดังที่มีการค้นพบว่าเกิดการเสื่อมสลายของแคโรทีนอยด์ในคลอโรพลาสต์ในใบของผักขม (spinach beet leave) โดยเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (Gross, 1991) สำหรับเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสจะออกซิไดซ์แคโรทีนอยด์โดยตรงหรือเร่งให้ไขมันเกิดการออกซิเดชันเกิดเป็นสารที่สามารถออกซิไดซ์แคโรทีนอยด์ได้เช่นเดียวกับเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (Bauernfeind, 1981) นอกจากนี้ขั้นตอนการแช่น้ำเชื่อมใช้เวลานาน ทำให้มะเขือเทศสัมผัสกับอากาศนานจึงอาจเกิดการเสื่อมสลายของไลโคพีนมากจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยที่ไม่ใช้เอนไซม์

ตารางที่ 4.6 ปริมาณไลโคพีน (มก./100 กรัม) และความชื้นของมะเขือเทศในระหว่างการผลิต  
มะเขือเทศแช่แข็ง

ขั้นตอน	ปริมาณไลโคพีน		% การสูญเสีย * (Dry basis)	ความชื้น (%)
	Wet basis	Dry basis		
มะเขือเทศสดคว้านเมล็ด	9.17±1.60	161.46±9.67 <sup>a</sup>	-	94.34
มะเขือเทศสดคว้านเมล็ด + แร่สารละลายแคลเซียม คลอไรด์	8.27±1.12	145.54±15.48 <sup>a</sup>	9.86	94.33
มะเขือเทศสดคว้านเมล็ด + แร่สารละลายแคลเซียม คลอไรด์ + แชน้ำเชื่อม 30 <sup>0</sup> บริกซ์	10.01±0.21	60.29±2.72 <sup>b</sup>	62.66	83.38
มะเขือเทศสดคว้านเมล็ด + แร่สารละลายแคลเซียม คลอไรด์ + แชน้ำเชื่อม 30 <sup>0</sup> บริกซ์ + เพิ่มความเข้มข้น ของน้ำเชื่อมวันละ 10 <sup>0</sup> บริกซ์ จนครบ 60 <sup>0</sup> บริกซ์	13.38±0.87	31.55±2.93 <sup>c</sup>	80.46	57.55
มะเขือเทศสดคว้านเมล็ด + แร่สารละลายแคลเซียม คลอไรด์ + แชน้ำเชื่อม 30 <sup>0</sup> บริกซ์ + เพิ่มความเข้มข้น ของน้ำเชื่อมวันละ 10 <sup>0</sup> บริกซ์ จนครบ 60 <sup>0</sup> บริกซ์ + ลวกน้ำเดือด 1 นาที	11.85±0.76	29.52±0.23 <sup>c</sup>	81.72	59.86

หมายเหตุ : \* เปรียบเทียบกับมะเขือเทศสดคว้านเมล็ดเริ่มต้น



**ภาพที่ 4.3** ปริมาณโพลีฟีนอลในมะเขือเทศระหว่างการผลิตมะเขือเทศแช่อิ่ม

หมายเหตุ : A หมายถึงมะเขือเทศสดคว้านเมล็ด

B หมายถึงมะเขือเทศสดคว้านเมล็ด + แช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์

C หมายถึงมะเขือเทศสดคว้านเมล็ด + แช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ + แช่น้ำเชื่อม 30°บริกซ์

D หมายถึงมะเขือเทศสดคว้านเมล็ด + แช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ + แช่น้ำเชื่อม 30°บริกซ์ + เพิ่มความเข้มข้นของน้ำเชื่อมวันละ 10°บริกซ์ จนครบ 60°บริกซ์

E หมายถึงมะเขือเทศสดคว้านเมล็ด + แช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ + แช่น้ำเชื่อม 30°บริกซ์ + เพิ่มความเข้มข้นของน้ำเชื่อมวันละ 10°บริกซ์ จนครบ 60°บริกซ์ + ลวกน้ำเดือด 1 นาที

หลังจากการแช่น้ำเชื่อมทำการลวกมะเขือเทศในน้ำเดือดนาน 1 นาที พบว่าโพลีฟีนอลลดลงเล็กน้อย เนื่องจากเป็นการใช้อุณหภูมิสูงเวลานั้น จึงไม่มีอิทธิพลต่อโพลีฟีนอลมากนัก หลังจากนั้นนำมะเขือเทศแช่อิ่มมาอบแห้งด้วยวิธีลมร้อนที่อุณหภูมิ 95°ซ นาน 6 8 และ 10 ชั่วโมง พบว่าปริมาณโพลีฟีนอลลดลงเหลือ 21.54, 21.95 และ 18.18 มก./100 กรัม นน.แห้ง ตามลำดับ (ตาราง 4.7) และทำการอบแห้งในภาวะสูญญากาศที่อุณหภูมิ 55°ซ ความดัน 100 มิลลิบาร์ นาน 10 12 และ 14 ชั่วโมง พบว่าปริมาณโพลีฟีนอลลดลงเหลือ 24.43, 23.62 และ 25.79 มก./100 กรัม นน.แห้ง ซึ่งปริมาณโพลีฟีนอลในมะเขือเทศแช่อิ่มที่ผ่านการอบแห้งโดยวิธีลมร้อนหรือวิธีในสูญญากาศที่เวลาต่างๆ กันนี้ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) แต่มีแนวโน้มว่ามะเขือเทศ

แช่อบที่อบแห้งโดยวิธีสุญญากาศมีปริมาณไลโคพีนสูงกว่ามะเขือเทศแช่อบที่อบแห้งโดยวิธีลมร้อน เนื่องจากการอบแห้งวิธีลมร้อนเป็นสภาวะที่ใช้อุณหภูมิสูงกว่าการอบแห้งในสุญญากาศ โดยความร้อนทำให้เนื้อเยื่อมะเขือเทศแตกออก ประกอบกับเป็นสภาวะที่มีออกซิเจน จึงทำให้โครงสร้างไลโคพีนแตกสลายมากกว่า ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองของ Shi และคณะ (1999) ซึ่งพบว่าปริมาณไลโคพีนในมะเขือเทศที่ทำแห้งโดยวิธีสุญญากาศสูงกว่าการทำแห้งโดยวิธีลมร้อน

ตารางที่ 4.7 ปริมาณไลโคพีน (มก/100 กรัม) ในมะเขือเทศแช่อบแห้งด้วยวิธีลมร้อนและวิธีสุญญากาศ

วิธีอบแห้ง	เวลา (ชม.)	ปริมาณไลโคพีน Dry basis	ความชื้น (%)
วิธีลมร้อน	6	21.54±3.42 <sup>a</sup>	23.63
	8	21.95±2.38 <sup>a</sup>	15.83
	10	18.18±3.65 <sup>a</sup>	9.51
วิธีสุญญากาศ	10	24.43±1.98 <sup>a</sup>	9.79
	12	23.62±4.03 <sup>a</sup>	9.17
	14	25.79±2.55 <sup>a</sup>	7.84

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

เมื่อพิจารณาค่าสี (ตารางที่ 4.8) พบว่ามะเขือเทศแช่อบแห้งโดยวิธีลมร้อนและวิธีสุญญากาศ มีแนวโน้มของค่าสีเป็นไปในทางเดียวกัน โดยมีค่า L มีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง ค่า a และ b ลดลงเมื่ออบแห้งเป็นเวลานานขึ้น โดยมะเขือเทศแช่อบแห้งวิธีลมร้อน นาน 6 8 และ 10 ชั่วโมง มีค่า a เท่ากับ 13.66, 10.27 และ 8.80 ตามลำดับ มีค่า b เท่ากับ 6.24, 4.79 และ 3.86 ตามลำดับ มะเขือเทศแช่อบแห้งโดยวิธีสุญญากาศ นาน 10 12 และ 14 ชั่วโมง มีค่า a เท่ากับ 12.27, 11.49 และ 11.04 ตามลำดับ มีค่า b เท่ากับ 5.96, 4.98 และ 4.58 ตามลำดับ กล่าวได้ว่ามะเขือเทศแช่อบแห้งมีสีคล้ำขึ้นเมื่ออบแห้งเป็นเวลานานขึ้น โดยที่มะเขือเทศแช่อบแห้งโดยวิธีลมร้อน มีแนวโน้มของค่า a และ b ลดลงมากกว่ามะเขือเทศแช่อบแห้งโดยวิธีสุญญากาศ สำหรับค่า  $\tan^{-1}(b/a)$  พบว่า มะเขือเทศแช่อบแห้งโดยวิธีลมร้อนและวิธีสุญญากาศมีค่า  $\tan^{-1}(b/a)$  อยู่ในช่วงของสีแดง

ตารางที่ 4.8 ค่าสี่ของมะเขือเทศแช่อิ่มที่อบแห้งด้วยวิธีลมร้อนและวิธีสุญญากาศ

วิธีอบแห้ง	เวลา (ชม.)	ค่าสี่			
		L	a	b	$\tan^{-1}(b/a)$
วิธีลมร้อน	6	47.79	13.66	6.24	24.45
	8	48.46	10.27	4.79	24.94
	10	47.84	8.80	3.86	23.44
วิธีสุญญากาศ	10	51.80	12.27	5.96	25.81
	12	50.07	11.49	4.98	23.44
	14	49.05	11.04	4.58	22.15

มะเขือเทศแช่อิ่มที่อบแห้งโดยวิธีลมร้อนนาน 8 ชั่วโมง มีลักษณะดีกว่า 6 และ 10 ชั่วโมง โดยไม่ขึ้นและไม่แห้งเกินไป สำหรับมะเขือเทศแช่อิ่มที่อบแห้งวิธีสุญญากาศนาน 10 ชั่วโมง มีลักษณะดีกว่า 12 และ 14 ชั่วโมง ซึ่งมะเขือเทศแช่อิ่มที่อบแห้งนาน 12 และ 14 ชั่วโมง มีลักษณะแห้งมากเกินไปเหมาะแก่การรับประทานเนื่องจากมีเนื้อสัมผัสเหนียว

จากผลการทดลองนี้ พบว่าการอบแห้งมะเขือเทศแช่อิ่มโดยวิธีสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ  $55^{\circ}\text{C}$  ความดัน 100 มิลลิบาร์ เป็นวิธีที่สามารถปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยลดการสูญเสียไลโคพีนในระหว่างการอบแห้ง อีกทั้งยังให้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีดีกว่าการอบแห้งโดยวิธีลมร้อนที่อุณหภูมิ  $95^{\circ}\text{C}$

## บทที่ 5

# สรุปผลการทดลอง

จากการเปรียบเทียบการวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนในมะเขือเทศสดและผลิตภัณฑ์มะเขือเทศชนิดต่างๆ ได้แก่ มะเขือเทศเข้มข้น ซอสมะเขือเทศ น้ำมะเขือเทศ มะเขือเทศปอกผิวในน้ำมะเขือเทศและมะเขือเทศแช่แข็ง โดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี และวิธี HPLC และการศึกษาปริมาณไลโคพีนในระหว่างการผลิตซอสมะเขือเทศและมะเขือเทศแช่แข็ง และการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีและปริมาณไลโคพีนในระหว่างการเก็บรักษาซอสมะเขือเทศในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 45<sup>0</sup>ซ นาน 6 สัปดาห์ พบว่า

1. ปริมาณไลโคพีนในมะเขือเทศสดทั้งผลและคว้านเมล็ด และผลิตภัณฑ์มะเขือเทศชนิดต่างๆ ที่วิเคราะห์โดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี และวิธี HPLC มีความแตกต่างกันโดยเฉลี่ย 17.61%

2. วิธีสเปกโตรโฟโตเมทรีเป็นวิธีที่สะดวก รวดเร็ว เสียค่าใช้จ่ายในการสกัดตัวอย่างน้อย และมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (CV %) ต่ำกว่าวิธี HPLC ซึ่งสามารถใช้ติดตามการเปลี่ยนแปลงของไลโคพีนในรูปของ total lycopene ได้

3. การวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนในระหว่างการผลิตซอสมะเขือเทศ โดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี พบว่าขั้นตอนการเติมส่วนผสมและให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50<sup>0</sup>ซ และการปั่นผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน ไม่ได้ทำให้ปริมาณไลโคพีนลดลง ซอสมะเขือเทศที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่ 60<sup>0</sup>ซ 30 นาที มีปริมาณไลโคพีนสูงกว่าซอสมะเขือเทศที่พาสเจอร์ไรซ์ที่ 90<sup>0</sup>ซ 10 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

4. การเก็บรักษาซอสมะเขือเทศที่พาสเจอร์ไรซ์ที่ 60<sup>0</sup>ซ 30 นาที ในสภาวะเร่ง ที่อุณหภูมิ 45<sup>0</sup>ซ นาน 6 สัปดาห์ พบว่าปริมาณไลโคพีนในซอสมะเขือเทศลดลงเล็กน้อย จากการวัดสีซอสมะเขือเทศพบว่า มีค่า  $L$  a และ  $b$  ลดลง ค่า  $\Delta E$  เพิ่มขึ้น กล่าวได้ว่าการเก็บซอสมะเขือเทศนานขึ้นซอสมะเขือเทศจะมีคุณภาพเปลี่ยนแปลงไปในทางเสื่อมลงของผลิตภัณฑ์มากขึ้น โดยมีสีคล้ำขึ้น

5. การวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนในระหว่างการผลิตมะเขือเทศแช่แข็ง โดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี พบว่าปริมาณไลโคพีนในมะเขือเทศลดลงในทุกขั้นตอนการผลิต โดยไลโคพีนลดลงมากในขั้นตอนการแช่แข็ง และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณไลโคพีนในมะเขือเทศแช่แข็งที่อบแห้งโดยวิธีลมร้อนที่อุณหภูมิ 95<sup>0</sup>ซ 6 8 และ 10 ชั่วโมง และอบแห้งในสุญญากาศที่อุณหภูมิ 55<sup>0</sup>ซ 10 12 และ 14 ชั่วโมง พบว่ามะเขือเทศแช่แข็งที่อบแห้งในสุญญากาศมีปริมาณไลโคพีนสูงกว่ามะเขือเทศแช่แข็งที่อบแห้งโดยวิธีลมร้อนทุกช่วงเวลาการอบแห้ง โดยการอบแห้งมะเขือเทศแช่แข็งโดยวิธี

ลมร้อน นาน 8 ชั่วโมง มีลักษณะดีกว่าช่วงเวลาอื่นๆ สำหรับมะเขือเทศและขมิ้นที่อบแห้งใน  
สุญญากาศ นาน 10 ชั่วโมง มีลักษณะดีกว่าช่วงเวลาอื่นๆ

## บรรณานุกรม

- ลักษณะ รุจนะไกรกานต์ และนิตยา รัตนাপนธ์. 2540. **หลักการวิเคราะห์อาหาร**. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สมภาพ สฐิตะวสันต์. 2530. **การผลิตมะเขือเทศเพื่อการค้า**. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สุพรรณิ ปิติขันติธรรม. 2520. "การศึกษาคุณภาพของซอสมะเขือเทศจากมะเขือเทศพันธุ์ต่างกัน." **วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**.
- สุภาภรณ์ จบกระโทก คมสันต์ นาคสมบุรณ์ และวสวัตติ แก้ววังสาร. 2539. "การสกัดสีจากกากมะเขือเทศ". **รายงานการฝึกงาน ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**.
- Al-Wandawi, H., Abdul-Rahman, M. and Al-Shaikhly, K. 1985. "Tomato processing waste as essential raw materials source." **J. Agric. Food Chem.** 33 : 804-807.
- Anguelova, T. and Warthesen, J. 2000. "Lycopene Stability in Tomato Powders." **J. Food Sci.** 65(1) : 67-70.
- Beerh, O.P. and Siddappa, G.S. 1959. "A rapid spectrophotometric method for the detection and estimation of adulterants in tomato ketchup." **Food Tech.** 13 : 414-418.
- Boileau, A.C., Merchen, N.R., Wasson, K., Atkinson, C.A. and Erdman, J.W. 1999. "Cis-lycopene is more bioavailable than trans-lycopene in vitro and in lymph-cannulated ferrets." **J. Nut.** 129 : 1176-1181.
- Buggy, M.J., Britton, G. and Goodwin, T.W. 1969. "Stereo-chemistry of phytoene biosynthesis by isolated chloroplasts." **Biochem. J.** 114 : 641-643.
- Burton, G.W. and Ingold, K.U. 1984. " $\beta$ -carotene: an unusual type of lipid antioxidant." **Science.** 224 : 569-573.
- Colditz, G.A., Branch, L.G. and Lipnic, R.J. 1985. "Increased green and yellow vegetables intake and lowered cancer death in an elderly population." **Am. J. Clin. Nutr.** 41 : 6-32.
- Cole, E.R. and Kapur, N.S. 1957a. "The stability of lycopene. I. Degradation by oxygen." **J. Sci. Food Agric.** 8 : 360-365.

- Cole, E.R. and Kapur, N.S. 1957b. "The stability of lycopene. II. Oxidation during heating of tomato pulp." *J. Sci. Food Agric.* 8 : 366-368.
- Conn, P.F., Schalch, W. and Truscott, T.G. 1991. "The singlet oxygen and carotenoid interaction." *J. Photochem. Photobiol. B. Biol.* 11 : 41-47.
- Curl, A.L. 1961. "The xanthophylls of tomatoes." *J. Food Sci.* 26 : 106-111.
- Di Mascio, P., Kaiser, S. and Sie, H. 1989. "Lycopene as the most efficient biological carotenoid singlet oxygen quencher." *Arch. Biochem. Biophys.* 274 : 532-538.
- Dorgan, J.F., Sowell, A., Swanson, C.A., Potischman, N., Miller, R., Schussler, N. and Stephenson, H.E. 1998. "Relationships of serum carotenoids, retinol,  $\alpha$ -tocopherol and selenium with breast cancer risk : results from a prospective study in Columbia, Missouri (United States)." *Cancer Causes Contro.* 9 : 89-97.
- Emenhiser, C., Sander, L.C. and Schwartz, S.J. 1995. "Capability of a polymeric  $C_{30}$  stationary phase to resolve cis-trans carotenoid isomers in reverse-phase liquid chromatography." *J. Chromatog A.* 707 : 205-216
- Emenhiser, C., Simunovic, N., Sander, L.C. and Schwartz, S.J. 1996. "Separation of geometric isomers in biological extracts using a polymeric  $C_{30}$  column in reversed-phase liquid chromatography." *J. Agric. Food Chem.* 44 : 3887-3893.
- Foote, C.S. and Denny, R.W. 1968. "Chemistry of singlet oxygen. VII. Quenching by  $\beta$ -carotene." *J. Am. Chem. Soc.* 90 : 6233-6235.
- Franceschi, S., Bidoli, E., La Vecchia, C., Talamini, R., D'Avanzo, B. and Negri, E. 1994. "Tomatoes and risk of digestive-tract cancers." *Int. J. Cancer.* 59 : 181-184.
- Giovannucci, E., Ascherio, A., Rimm, E.B., Stampfer, M.J., Colditz, G.A. and Willett, W.C. 1995. "Intake of carotenoids and retinol in relation to risk of prostate cancer." *J. Natl. Cancer Inst.* 87 : 1767-1776.
- Gould, W.V. 1992. **Tomato Production, Processing, and Technology.** Baltimore : CTI Publications.
- Gross, J. 1987. **Pigments in Fruits.** London : Academic Press.
- Gross, J. 1991. **Pigments in vegetables.** New York : Van Nostrand Runhold.

- Hussein, L. and El-Tohamy, M. 1990. "Vitamin A potency of carrot and spinach carotenes in human metabolic studies." *Int. J. Vit. Nutr. Res.* 60 : 229-235.
- Khudairi, A.K. 1972. "The ripening of tomatoes." *American Sci.* 60 : 696-707.
- Krinsky, N.I., Russett, M.D., Handeman, G.J. and Snodderly, D.M. 1990. "Structural and geometrical isomers of carotenoids in human plasma." *J. Nutr.* 120 : 1654-1662.
- Johnson, E. 1998. "Human studies on bioavailability and plasma response of lycopene." *Proc. Soc. Exp. Med.* 218(2) : 115-120.
- Levy, J., Bisin, E., Feldman, B., Giat, Y., Minster, A., Danilenko, M. and Sharoni, Y. 1995. "Lycopene is a more potent inhibitor of human cancer cell proliferation than either  $\alpha$ -carotene or  $\beta$ -carotene." *Nutr. Cancer.* 24 : 257-266.
- Mangels, A.R., Holden, J.M., Beecher, G.R., Forman, M. and Lanza, E. 1993. "Carotenoid content of fruits and vegetables : An evaluation of analytical data." *J. Am. Dietet. Assn.* 93 : 284-296.
- McCollum, J.P. 1955. "Distribution of carotenoids in the tomato." *Food Res.* 20 : 55-59.
- Miki, N. and Akatsu, K. 1970. "Effect of heating sterilization on color of tomato juice." *Nippon Shok. Kogyo Gakk.* 17 : 175-181.
- Monselise, J.J. and Berk, Z. 1954. "Some observations on the oxidative destruction of lycopene during the manufacture of tomato pure." *Bull. Res. Council. Israel.* 4 : 188-191.
- Nguyen, M.L. and Schwartz, S.J. 1998. "Lycopene stability during food processing." *Proc. Soc. Exp. Med.* 218(2) : 101-105.
- Nguyen, M.L. and Schwartz, S.J. 1999. "Lycopene : chemical and biological properties." *Food Tech.* 53(2) : 38-45.
- Peng, Y.M., Peng, Y.S., Chiders, J.M., Hatch, K.D., Roe, D.J., Lin, Y. and Lin, P. 1998. "Concentrations of carotenoids, tocopherols and retinol in paired plasma and cervical tissue of patients with cervical cancer, precancer and noncancerous diseases." *Cancer Epidemiol. Biomark. Prev.* 7 : 347-350.
- Porter, J.W. and Anderson, D.G. 1967. "Biosynthesis of carotenoids." *Ann. Rev. Pl. Physiol.* 18 : 197-228.

- Prince, M.R., Frisoli, J.K. and Goetschkes, M.M. 1991. "Rapid serum carotene loading with high-dose  $\beta$ -carotene : clinic implications." *J. Cardiovasc. Pharmacol.* 17 : 343-347.
- Rao, A.V., Waseem, Z. and Agarwal, S. 1998. "Lycopene content of tomatoes and tomato products and their contribution to dietary lycopene." *Food Res. Int.* 31 (10) : 737-741.
- Rock, C.L. and Swendseid, M.F. 1992. "Plasma  $\beta$ -carotene response in humans after meals, supplemented with dietary pectin." *Am. J. Clin. Nutr.* 55 : 96-99
- Rubatzky, V.E. and Yamaguchi, M., 1997. *World Vegetable (Principle, Production and Nutritive Values)*. United States of America : Chapman & Hall.
- Sakamoto, H., Mori, H., Ojima, F., Ishiguro, Y., Arimoto, S., Imae, Y., Nanba, T., Ogawa, M. and Fukuba, H. 1994. "Elevation of serum carotenoids after continual ingestion of tomato juice." *J. Japan Soc. Nutr. Food Sci.* 47 : 93-99.
- Sari, H.H. and Heinonen, I.M. 1994. "Chromatographic Purification of Natural Lycopene." *J. Agric. Food Chem.* 42 : 1314-1316.
- Schierle, J., Bretzel, W., Buhler, I., Faccin, N., Hess, D., Steiner, K. and Schuep, W. 1996. "Content and isomeric ratio of lycopene in food and human blood plasma." *Food Chem.* 59(3) : 459-465.
- Shi, J., Le Maguer, M., Kakuda, Y. and Liptay, A. 1999. "Lycopene degradation and isomerization in tomato dehydration." *Food Res. Intl.* 32(1) : 15-21.
- Shi, J. and Le Maguer, M. 1999b. *Proc. Ind. App.* Valencia, Spain.
- Shi, J. and Le Maguer, M. 2000. "Lycopene in Tomatoes : Chemical and Physical Properties Affected by Food Processing." *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 40(1) : 1-42.
- Stahl, W. and Sies, H. 1992. "Cis-trans isomers of lycopene and beta-carotene in human serum and tissue." *Arch. Biochem. Biophys.* 294(1) : 173-177.
- Stahl, W. and Sies, H. 1996. "Perspectives in biochemistry and biophysics." *Arch. Biochem. Biophys.* 336(1) : 1-9.
- Sweeney, J.P. and Marsh, A.C. 1971. "Effect of processing on provitamin A in vegetable." *J. Am. Dietet. Assoc.* 59 : 238.

- Tavares, C. A. and Rodriguez-Amaya, D.B. 1994. "Carotenoid composition of Brazilian tomatoes and tomato products". **Lebensm. Wiss. U. Technol.** 27 : 219-224.
- Tonucci, L.H., Holden, J.M., Beecher, G.R., Khachik, F., Davis, C. and Mulokozi, G. 1995. "Carotenoid content of thermally processed tomato-based food products". **J. Agric. Food Chem.** 43 : 579-586
- USDA. 1998. "USDA-NCI carotenoid database for U.S. food." **Nutrient Data Lab., Agric. Res. Service.** U.S. : U.S. Dept. of agriculture, Beltsville Human Nutrition Research Center, Riverdate, Md.
- Variya, P.S. and Bandyopadhyay, C. 1990. "On the carotenoids of ripened pepper berries (*Piper Nigrum* L.)." **J. Food Sci. Technol.** 27(5) : 294-295.
- Wang, C.J., Chou, M.Y. and Lin, J.K. 1989. "Inhibition of growth and development of the transplantable C06 glioma cells inoculated in rats by retinoids and carotenoids." **Cancer Lett.** 48 : 135-142.
- Wong, F.F. and Bohart, G.S. 1957. "Observation on the color of vacuum-dried tomato juice powder during storage." **Food Technol.** 5 : 293-296.
- Zhang, L.X., Cooney, R.V. and Bertram, J.S. 1992. "Carotenoids up-regulate connexin-43 gene expression independent of their provitamin-A or antioxidant properties." **Cancer Res.** 52 : 5707-5712.
- Zumbrunn, A., Uebelhart, P. and Eugster, C.H. 1985. "HPLC of carotenes with  $\gamma$ -end groups and (Z)-configuration at terminal conjugated double bonds, isolation of (5Z)-lycopene from tomatoes." **Helv. Chim. Acta.** 68 : 1540-1542.

## ภาคผนวก ก

### ก1. วิธีวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 1975)

#### 1.1 อุปกรณ์

- 1.1.1 ตู้อบสูญญากาศ (Vacuum oven)
- 1.1.2 ถ้วยอลูมิเนียม
- 1.1.3 โถดูดความชื้น (Dessicator)
- 1.1.4 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง

#### 1.2 วิธีวิเคราะห์

1.2.1 ชั่งน้ำหนักถ้วยอลูมิเนียมพร้อมฝา ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ  $70 \pm 3^{\circ}\text{C}$  แล้วปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก นำไปอบหลายๆ ครั้งจนได้น้ำหนักคงที่

1.2.2 ชั่งตัวอย่าง 3 กรัม ใส่ถ้วยอลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนัก

1.2.3 นำไปอบในตู้อบสูญญากาศที่อุณหภูมิ  $70 \pm 3^{\circ}\text{C}$  จนได้น้ำหนักคงที่

$$\text{ความชื้น (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}}$$

### ก2. ของแข็งที่ละลายน้ำได้ (AOAC, 1995)

วัดด้วย Hand refractometer

### ก3. ปริมาณไลโคพินโดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี (ดัดแปลงจากวิธีที่รายงานใน ลักขณา รุจนะไกรกานต์ และนิธิยา รัตนาปนต์, 2540)

#### 3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

- 3.1.1 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer)
- 3.1.2 กรวยแยก (Separating funnel)
- 3.1.3 ปีโตรเลียมอีเทอร์ (จุดเดือด  $80^{\circ}\text{C}$ - $100^{\circ}\text{C}$ )

#### 3.2 วิธีวิเคราะห์

3.2.1 ชั่งตัวอย่าง 0.1 กรัม เติมน้ำกลั่น 50 มล. เทใส่กรวยแยก

3.2.2 เติมปีโตรเลียมอีเทอร์ 25 มล. เขย่านาน 15 นาที

3.2.3 ปล่อยให้ตั้งไว้ให้แยกชั้นแล้วจึงแยกชั้นของปีโตรเลียมมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 472 nm โดยมีปีโตรเลียมอีเทอร์เป็นแบลนด์

#### ก4. ปริมาณไลโคพีนโดยวิธี HPLC (ดัดแปลงจากวิธีของ Anguelova และ Warthesen, 2000)

##### 4.1 อุปกรณ์และสารเคมี

4.1.1 HPLC

4.1.2 คอลัมน์ C<sub>18</sub> (P/N 00G-4053-EO 5 $\mu$  200A<sup>0</sup> 250x4.6 mm)

4.1.3 การ์ดคอลัมน์ (Guard column)

4.1.4 เครื่องระเหย (Rotary evaporator)

4.1.5 กรวยแยก (Separating funnel)

4.1.6 ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump)

4.1.7 กระดาษกรองไนลอน 0.45 และ 0.2 ไมครอน

4.1.8 กระดาษกรอง glass fiber GF/A

4.1.9 ชุดกรองเชื้อ

4.1.10 Acetonitrile

4.1.11 Hexane

4.1.12 Methanol

4.1.13 2-Propanol

4.1.14 Petroleum ether (b.p. 40<sup>0</sup>-60<sup>0</sup>C)

4.1.15 Sodium chloride

4.1.16 Tetrahydrofuran

4.1.17 Standard all-trans lycopene

##### 4.2 วิธีเตรียม mobile phase

4.2.1 เตรียม acetonitrile methanol และ 2-propanol ตามปริมาตรที่ต้องการใช้ ตามอัตราส่วน (44:54:2 v/v/v)

4.2.2 กรองด้วยชุดกรองเชื้อ โดยใช้กระดาษกรองไนลอน 0.2 ไมครอน

4.2.3 ใส่อากาศโดยการดูดอากาศออกด้วยปั๊มสุญญากาศ

##### 4.3 วิธีเตรียมตัวอย่าง

4.3.1 ชั่งตัวอย่าง 0.2 กรัม เติมสารละลาย tetrahydrofuran : methanol (1:1 v/v) 40 มล.

4.3.2 คนให้ทั่ว ทิ้งไว้ในที่มืด 5 นาที

4.3.3 กรองผ่าน glass fiber filter GF/A ด้วย Vacuum pump

4.3.4 สารละลาย tetrahydrofuran : methanol (1:1 v/v) 20 มล. ผ่าน glass fiber filter GF/A ที่มีกากของตัวอย่างติดอยู่

4.3.5 นำสารละลายที่กรองได้เทใส่กรวยแยก เติม petroleum ether (b.p. 40<sup>o</sup>-60<sup>o</sup>ซ) 20 มล. และสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 10% 20 มล.

4.3.6 เขย่า ทิ้งไว้ให้แยกชั้น

4.3.7 แยกสารละลายชั้นบน (petroleum ether) มาเติมน้ำ 100 มล.

4.3.8 เขย่า ทิ้งไว้ให้แยกชั้น

4.3.9 แยกของเหลวชั้นบน (petroleum ether) มาระเหยให้แห้งด้วย Rotary evaporator ที่อุณหภูมิ 35<sup>o</sup>ซ

4.3.10 ละลายตัวอย่างด้วย hexane 4 มล.

4.3.11 กรองตัวอย่างด้วย millipore 0.45 ไมครอน

## ก5. ค่าสี

### 5.1 อุปกรณ์

5.1.1 เครื่องวัดสี (Chroma colorimeter)

### 5.2 วิธีวิเคราะห์

5.2.1 วัดค่า L a และ b ด้วยเครื่องวัดสี

5.2.2 คำนวณค่า  $\Delta E$  ด้วยสูตร

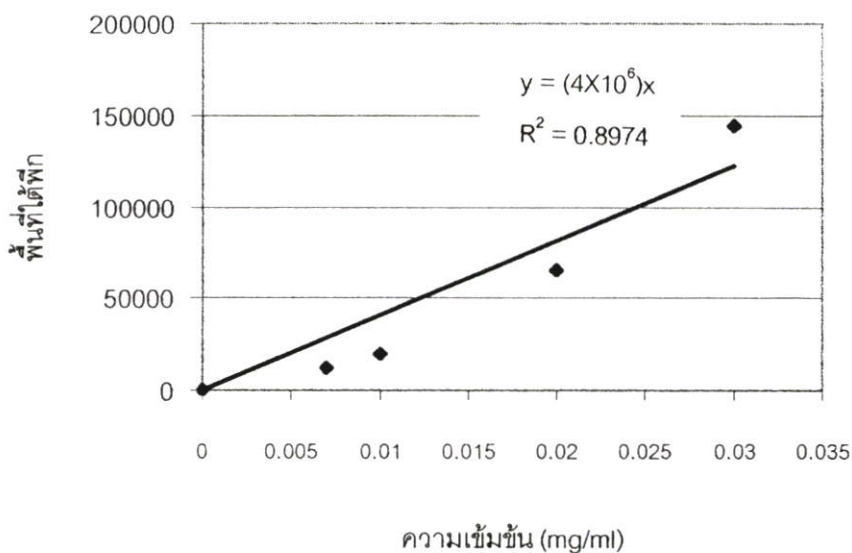
$$\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2}$$

5.2.3 คำนวณค่า  $\tan^{-1}(b/a)$

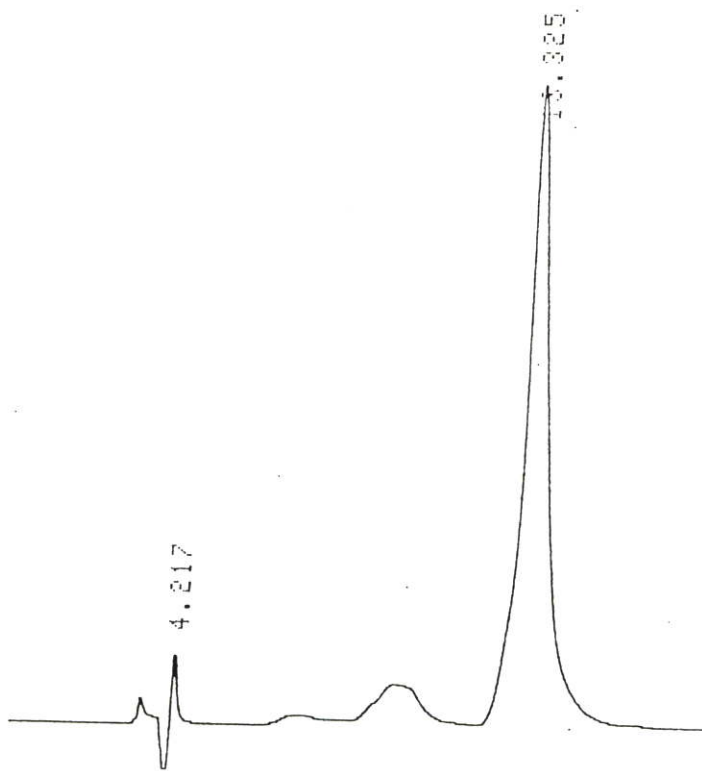
## ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข1 พื้นที่ใต้พีคของสารละลายมาตรฐาน all-trans lycopene ความเข้มข้นต่างๆ

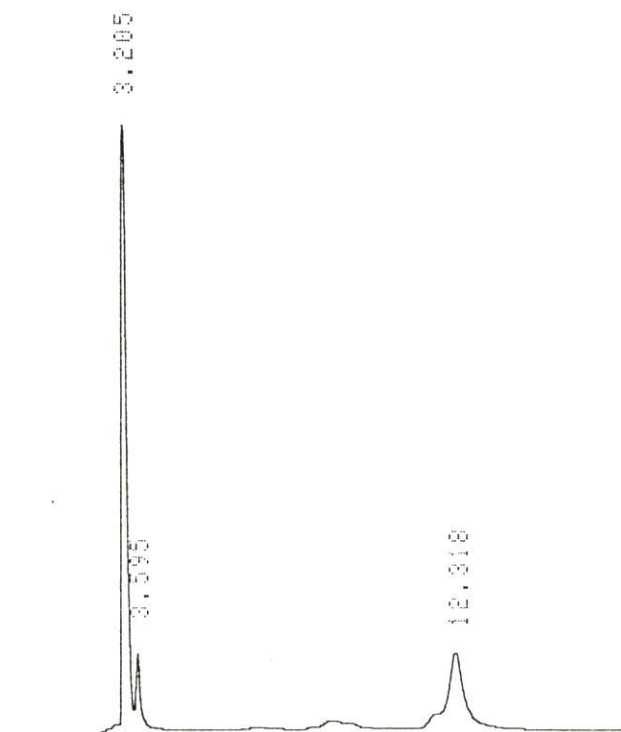
ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน all-trans lycopene (มก./มล.)	พื้นที่ใต้พีค		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
0.007	11,217	12,708	11,962.5
0.010	20,415	19,055	19,735.0
0.020	66,722	65,323	66,022.5
0.030	143,200	144,959	144,079.5



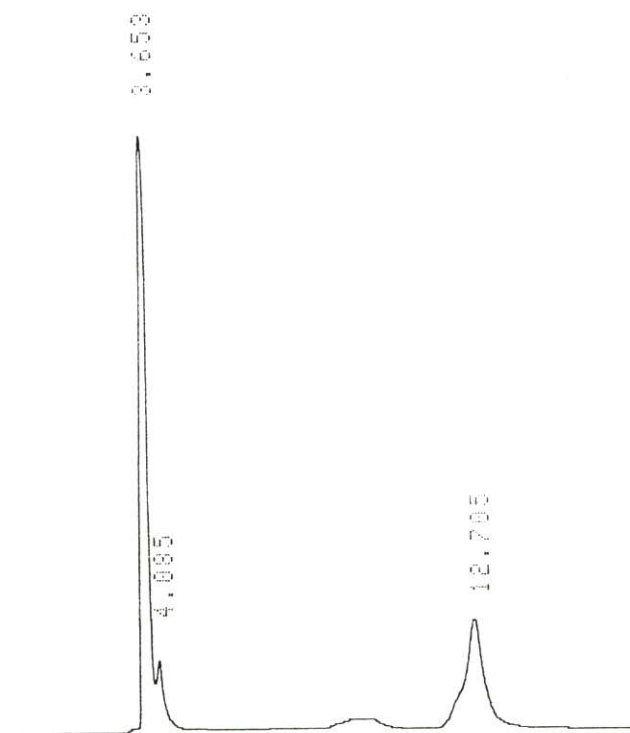
ภาพที่ ข1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณไลโคพีนและพื้นที่ใต้พีค



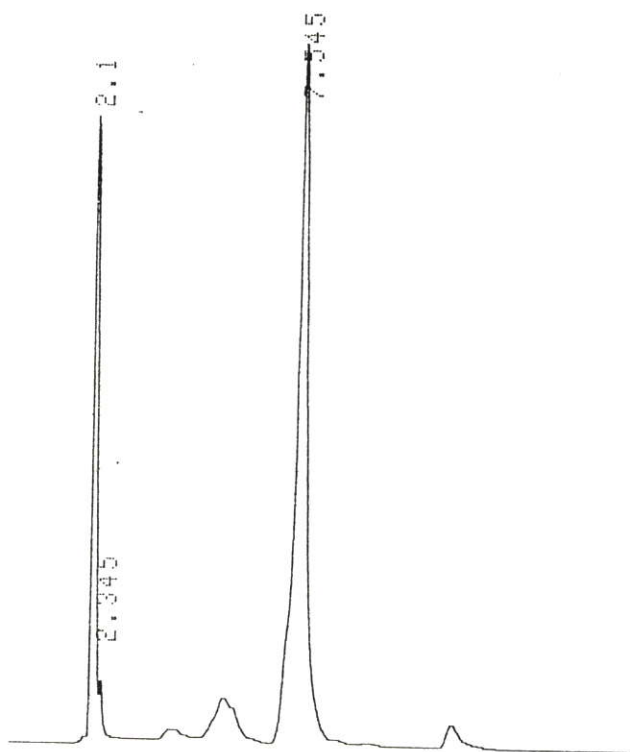
ภาพที่ ข2 โครมาโตแกรมของสารละลายมาตรฐาน all-trans lycopene ความเข้มข้น 0.02 มก./มล.



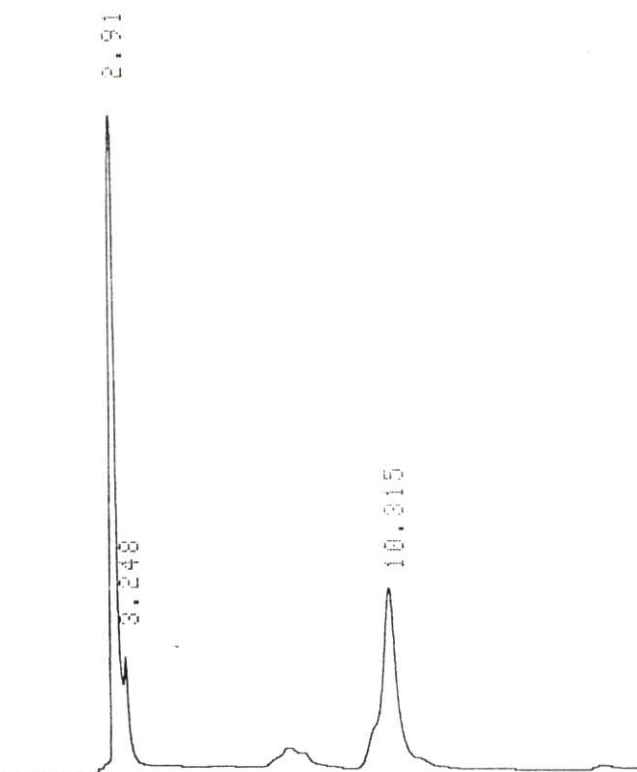
ภาพที่ ข3 โครมาโตแกรมของมะเขือเทศสดทั้งผล



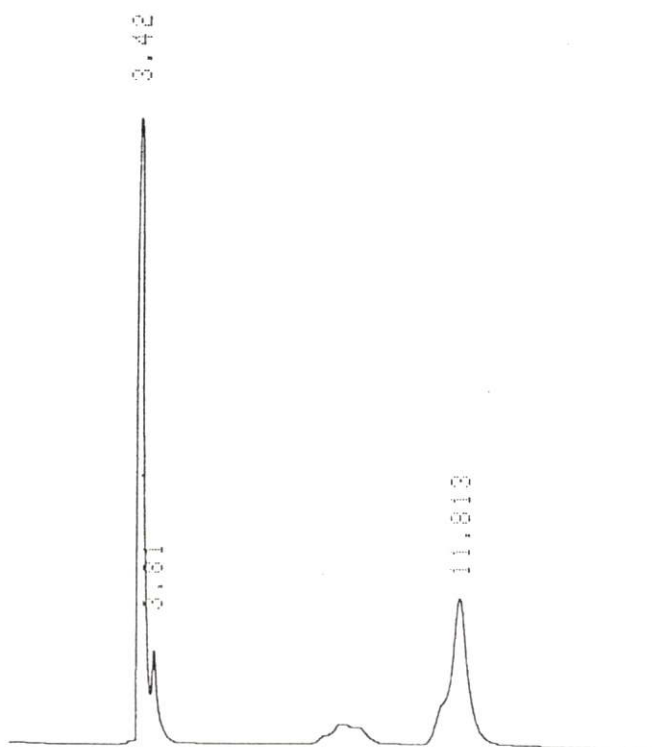
ภาพที่ ข4 โครมาโตแกรมของมะเขือเทศคั่ววันเมล็ด



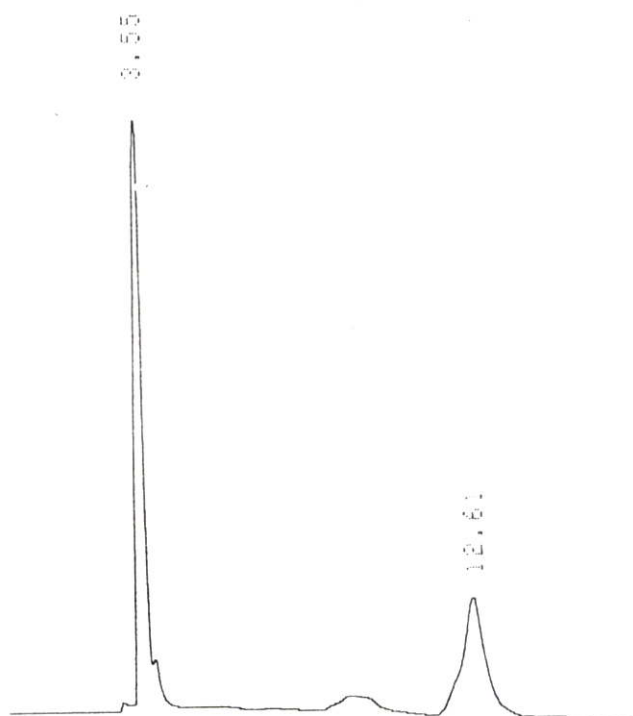
ภาพที่ ข5 โครมาโตแกรมของมะเขือเทศเข้มชั้น



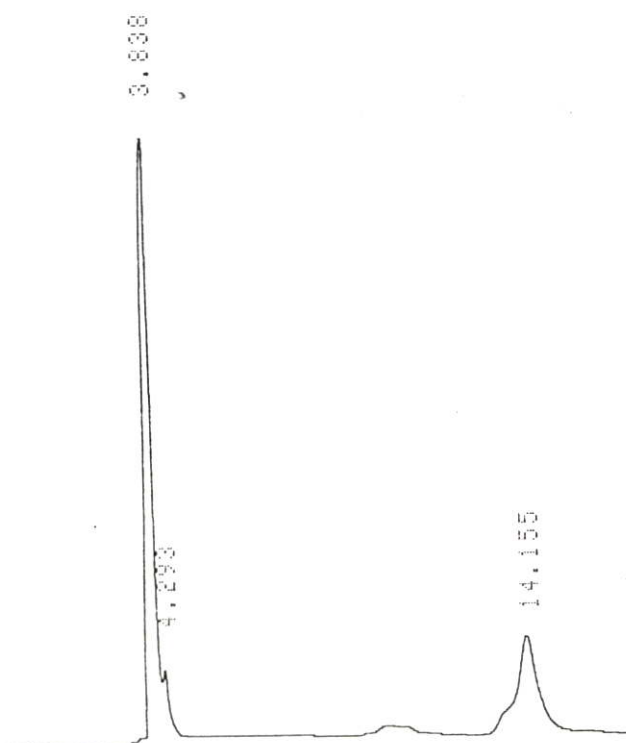
ภาพที่ ข6 โครมาโตแกรมของซอสมะเขือเทศ



ภาพที่ ข7 โครมาโตแกรมของน้ำมะเขือเทศ



ภาพที่ ข8 โครมาโตแกรมของมะเขือเทศปกผิวในน้ำมะเขือเทศ



ภาพที่ ข9 โครมาโตแกรมของมะเขือเทศแช่ส้ม

## ภาคผนวก ค

ตารางที่ ค1 ค่าการดูดกลืนแสงของไลโคพีนในมะเขือเทศสดและผลิตภัณฑ์มะเขือเทศ จากการวัดโดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมตรี

ตัวอย่าง	ค่าการดูดกลืนแสงของไลโคพีน				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
มะเขือเทศสดทั้งผล	0.0820	0.9000	0.1020	0.0950	0.0825
มะเขือเทศสดคว้านเมล็ด	0.1070	0.1110	0.1180	0.1315	0.1140
มะเขือเทศเข้มข้น	0.5770	0.5385	0.6280	0.5930	0.5260
ซอสมะเขือเทศ	0.1620	0.2125	0.2035	0.1735	0.1940
น้ำมะเขือเทศ	0.0950	0.1040	0.1090	0.0970	0.1000
มะเขือเทศปอกผิวในน้ำมะเขือเทศ	0.1245	0.1285	0.1245	0.1190	0.1200
มะเขือเทศแช่แข็ง	0.1120	0.1560	0.1510	0.1420	0.1590

ตารางที่ ค2 พื้นที่ใต้พีคของไลโคพีนในมะเขือเทศสดและผลิตภัณฑ์มะเขือเทศ จากการวัดโดยวิธี

HPLC

ตัวอย่าง	พื้นที่ใต้พีคของไลโคพีน				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
มะเขือเทศสดทั้งผล	7,999.5	12,962.0	11,371.0	12,945.0	11,336.5
มะเขือเทศสดคว้านเมล็ด	15,024.0	11,660.0	15,289.0	15,251.0	15,768.0
มะเขือเทศเข้มข้น	106,383.0	106,606.0	96,319.0	99,168.0	97,448.0
ซอสมะเขือเทศ	17,379.0	21,932.0	19,272.5	17,879.0	20,248.5
น้ำมะเขือเทศ	8,990.5	15,232.5	13,443.0	10,960.0	15,566.0
มะเขือเทศปอกผิวในน้ำ	21,866.0	23,519.0	17,710.0	23,880.0	15,864.0
มะเขือเทศ					
มะเขือเทศแช่แข็ง	14,368.5	13,665.0	10,934.0	15,287.5	12,086.0

## ภาคผนวก ง

**ตารางที่ ง1** ค่าการดูดกลืนแสงของไลโคพีนในระหว่างกระบวนการผลิตซอสมะเขือเทศที่ได้จากการวัดโดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี

ขั้นตอน	ค่าการดูดกลืนแสง			
	ผลิตภัณฑ์ 1		ผลิตภัณฑ์ 2	
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
มะเขือเทศเข้มชั้น 12 <sup>0</sup> บริกซ์	0.396	0.407	0.356	0.392
มะเขือเทศเข้มชั้น 12 <sup>0</sup> บริกซ์ + เติมส่วนผสมและให้ความร้อนที่ 50 <sup>0</sup> ซ	0.321	0.311	0.304	0.296
มะเขือเทศเข้มชั้น 12 <sup>0</sup> บริกซ์ + เติมส่วนผสมและให้ความร้อนที่ 50 <sup>0</sup> ซ + บั่นผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน	0.336	0.324	0.315	0.319
มะเขือเทศเข้มชั้น 12 <sup>0</sup> บริกซ์ + เติมส่วนผสมและให้ความร้อนที่ 50 <sup>0</sup> ซ + บั่นผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน + พาสเจอร์ไรส์ 60 <sup>0</sup> ซ 30 นาที	0.323	0.340	0.320	0.323
มะเขือเทศเข้มชั้น 12 <sup>0</sup> บริกซ์ + เติมส่วนผสมและให้ความร้อนที่ 50 <sup>0</sup> ซ + บั่นผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน + พาสเจอร์ไรส์ 90 <sup>0</sup> ซ 10 นาที	0.315	0.319	0.309	0.288

ตารางที่ ง2 ค่าการดูดกลืนแสงของไลโคพีนในระหว่างการเก็บรักษาที่ได้จากการวัดโดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี

เวลา (สัปดาห์)	ค่าการดูดกลืนแสง			
	ผลิตครั้งที่ 1		ผลิตครั้งที่ 2	
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
0	0.2410	0.2810	0.2570	0.2620
1	0.2460	0.2760	0.2460	0.2630
2	0.2570	0.2690	0.2350	0.2240
3	0.2560	0.2610	0.2590	0.2360
4	0.2195	0.2490	0.2240	0.2280
5	0.2280	0.2370	0.2110	0.2170
6	0.2370	0.2390	0.2100	0.2100

ตารางที่ ง3 ค่า L,a และ b ของซอสมะเขือเทศในระหว่างเก็บรักษา

เวลา (สัปดาห์)	L		a		b	
	ผลิตครั้งที่ 1	ผลิตครั้งที่ 2	ผลิตครั้งที่ 1	ผลิตครั้งที่ 2	ผลิตครั้งที่ 1	ผลิตครั้งที่ 2
0	43.73	43.49	13.19	12.03	7.34	6.90
1	42.19	42.12	11.73	10.57	6.94	6.51
2	42.33	42.11	11.05	10.41	6.70	6.21
3	41.90	41.90	10.02	9.33	6.19	5.86
4	41.60	41.42	9.55	9.01	5.87	5.76
5	41.14	39.92	9.37	8.62	5.75	5.62
6	41.16	39.51	8.77	8.02	5.41	5.20

ตารางที่ ง4 ค่า  $\Delta E$  ของขอสมะเชื้อเทศในระหว่างเก็บรักษา

เวลา (สัปดาห์)	$\Delta E$	
	ผลิตรั้งที่ 1	ผลิตรั้งที่ 2
0	0	0
1	2.16	2.04
2	2.64	2.87
3	3.84	3.30
4	4.47	3.83
5	4.88	5.10
6	5.46	5.90

ตารางที่ ง5 ค่า  $\tan^{-1}(b/a)$  ของขอสมะเชื้อเทศในระหว่างเก็บรักษา

เวลา (สัปดาห์)	$\tan^{-1}(b/a)$	
	ผลิตรั้งที่ 1	ผลิตรั้งที่ 2
0	29.10	29.84
1	30.61	31.63
2	31.23	32.26
3	31.71	32.13
4	31.58	32.59
5	31.54	33.10
6	31.67	32.96

## ภาคผนวก จ

ตารางที่ จ.1 ของแข็งที่ละลายได้ และค่าการดูดกลืนแสงของมะเขือเทศในระหว่างกระบวนการผลิตมะเขือเทศแช่แข็งที่ได้จากการวัดโดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี

ขั้นตอน	ของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ ( <sup>0</sup> ปริกซ์)	ค่าการดูดกลืนแสง	
		ผลิตครั้งที่ 1	ผลิตครั้งที่ 2
มะเขือเทศสดคว้านเมล็ด	4.6	0.111	0.142
มะเขือเทศสดคว้านเมล็ด + แร่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์	3.9	0.103	0.125
มะเขือเทศสดคว้านเมล็ด + แร่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ + แร่ธาตุแช่ 30 <sup>0</sup> ปริกซ์	14.4	0.136	0.140
มะเขือเทศสดคว้านเมล็ด + แร่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ + แร่ธาตุแช่ 30 <sup>0</sup> ปริกซ์ + เพิ่มความเข้มข้นของน้ำแช่ 6 วัน ละ 10 <sup>0</sup> ปริกซ์ จนครบ 60 <sup>0</sup> ปริกซ์	38.9	0.176	0.193
มะเขือเทศสดคว้านเมล็ด + แร่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ + แร่ธาตุแช่ 30 <sup>0</sup> ปริกซ์ + เพิ่มความเข้มข้นของน้ำแช่ 6 วัน ละ 10 <sup>0</sup> ปริกซ์ จนครบ 60 <sup>0</sup> ปริกซ์ + ลวกน้ำเดือด 1 นาที	38.2	0.156	0.171

ตารางที่ ๑2 ค่าการดูดกลืนแสงของมะเขือเทศแช่อบแห้งโดยวิธีลมร้อนและวิธีสุญญากาศที่  
เวลาต่างๆ กัน

วิธีอบแห้ง	เวลา (ชม.)	ค่าการดูดกลืนแสง	
		ผลิตรั้งที่ 1	ผลิตรั้งที่ 2
วิธีลมร้อน	6	0.257	0.198
	8	0.276	0.234
	10	0.259	0.271
วิธีสุญญากาศ	10	0.319	0.289
	12	0.257	0.336
	14	0.304	0.352

ตารางที่ ๑3 ค่า L a และ b ของมะเขือเทศแช่อบแห้งวิธีลมร้อนและวิธีสุญญากาศที่เวลา  
ต่างๆ กัน

วิธีอบ แห้ง	เวลา (ชม.)	L		a		b	
		ผลิตรั้งที่ 1	ผลิตรั้งที่ 2	ผลิตรั้งที่ 1	ผลิตรั้งที่ 2	ผลิตรั้งที่ 1	ผลิตรั้งที่ 2
วิธีลม ร้อน	6	47.10	48.47	12.77	14.54	5.42	7.06
	8	48.98	47.94	9.47	11.07	4.30	5.27
	10	48.02	47.65	8.08	9.52	3.14	4.57
วิธีสุญ- ญากาศ	10	51.10	52.50	11.86	12.67	5.25	6.66
	12	50.42	49.72	11.81	11.17	5.04	4.92
	14	49.41	48.69	11.57	10.51	4.83	4.32

ตารางที่ ๑4 ค่า  $A_w$  ของมะเขือเทศแช่อบแห้งวิธีลมร้อนและวิธีสุญญากาศที่เวลาต่างๆ กัน

วิธีอบแห้ง	เวลา (ชม.)	$A_w$
วิธีลมร้อน	6	0.738
	8	0.480
	10	0.357
วิธีสุญญากาศ	10	0.396
	12	0.360
	14	0.338

ตารางที่ ๑5 ร้อยละผลผลิต (%yield) ของมะเขือเทศแช่อบแห้งวิธีลมร้อนและวิธีสุญญากาศที่เวลาต่างๆ กัน

วิธีอบแห้ง	เวลา (ชม.)	นน.ก่อนอบ	นน.หลังอบ	%yield
วิธีลมร้อน	6	185.69	89.04	47.95
	8	182.46	75.89	41.59
	10	181.50	70.65	38.93
วิธีสุญญากาศ	10	183.17	85.81	46.85
	12	192.02	87.61	45.63
	14	186.02	80.48	43.26

## ภาคผนวก จ

### จ1. การคำนวณปริมาณไลโคพีนที่วิเคราะห์โดยวิธี Spectrophotometry

ตัวอย่างมะเขือเทศสดทั้งผล ในการสกัดครั้งที่ 1 มีค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.0820 มีวิธีการคำนวณดังนี้

$$1.1 \text{ จากสูตร } A = E_{1\text{cm}}^{1\%} bc$$

A คือ ค่าการดูดกลืนแสง

$E_{1\text{cm}}^{1\%}$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง เท่ากับ 3450 หมายความว่า ถ้าวัดการดูดกลืนแสงได้เท่ากับ 3450 โดยใช้ควิเวตต์กว้าง 1 ซม. แสดงว่าสารละลายนั้นมีความเข้มข้นของไลโคพีนเท่ากับ 1%

b คือ ความกว้างของควิเวตต์เท่ากับ 1 ซม.

c คือ ความเข้มข้นของไลโคพีน (%)

1.2 แทนค่า A ในสูตรเพื่อหาค่า c

$$0.0820 = 3450 \times 1 \times c$$

$$\text{จะได้ } c = 2.3768 \times 10^{-5} \%$$

1.3 คำนวณปริมาณไลโคพีนเป็น มก./100 กรัม นน.สด

สารสกัด 100 มล. มีไลโคพีน  $2.3768 \times 10^{-5}$  กรัม

สารสกัด 25 มล. มีไลโคพีน  $((2.3768 \times 10^{-5}) \times 25) / 100$  เท่ากับ  $5.94 \times 10^{-6}$  กรัม

ในการสกัดใช้ตัวอย่าง 0.1 กรัม ดังนั้นมีไลโคพีน  $5.94 \times 10^{-6}$  กรัม / 0.1 กรัม นน.สด หรือ  $5.94 \times 10^{-3}$  กรัม/100 กรัม นน.สด หรือ 5.94 มก./100 กรัม นน.สด

1.4 คำนวณปริมาณไลโคพีนเป็น มก./100 กรัม นน.แห้ง

จากมะเขือเทศสดทั้งผลมีความชื้น 94.44% แสดงว่ามีปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solid) 5.56%

มะเขือเทศสด 5.56 กรัม นน.แห้ง มีไลโคพีน 5.94 มก.

มะเขือเทศสด 100 กรัม นน.แห้ง มีไลโคพีน  $(5.94 \times 100) / 5.56 = 106.83$  มก./ 100 กรัม นน.แห้ง

## จ2. การคำนวณปริมาณไลโคพินที่วิเคราะห์โดยวิธี HPLC

ตัวอย่างมะเขือเทศสดทั้งหมด ในการสกัดครั้งที่ 1 มีพื้นที่ใต้พีคเท่ากับ 7,999.5 มีวิธีการคำนวณดังนี้

2.1 จากสมการ  $y = (4 \times 10^6)x$

$y$  คือ พื้นที่ใต้พีค

$x$  คือ ความเข้มข้นของไลโคพิน (มก./มล.)

2.2 แทนค่า  $y$  ในสมการ เพื่อหาค่า  $x$

$$7,999.5 = (4 \times 10^6)x$$

จะได้  $x = 1.9999 \times 10^{-3}$  มก./มล.

2.3 คำนวณปริมาณไลโคพินเป็น มก./100 กรัม นน.สด

สารสกัด 1 มล. มีไลโคพิน  $1.9999 \times 10^{-3}$  มก./มล.

สารสกัด 4 มล. มีไลโคพิน  $(1.9999 \times 10^{-3}) \times 4 = 7.9996 \times 10^{-3}$  มก.

ในการสกัด 4 มล. ใช้ตัวอย่าง 0.2 กรัม ดังนั้นมีไลโคพิน  $7.9996 \times 10^{-3}$  มก./ตัวอย่าง 0.2

กรัม

ตัวอย่าง 100 กรัม มีไลโคพิน  $(7.9996 \times 10^{-3} \times 100) / 0.2 = 4.00$  มิลลิกรัม

2.4 คำนวณปริมาณไลโคพินเป็น มก./100 กรัม นน.แห้ง

จากมะเขือเทศสดทั้งหมดมีความชื้น 94.44% แสดงว่ามีปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solid) 5.56%

มะเขือเทศสด 5.56 กรัม นน.แห้ง มีไลโคพิน 4.00 มก.

มะเขือเทศสด 100 กรัม นน.แห้ง มีไลโคพิน  $(4 \times 100) / 5.56 = 71.94$  มก./ 100 กรัม นน.

แห้ง

## ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติปริมาณไลโคปีน (โดย นน.สด) ในมะเขือเทศสดทั้งผลที่วิเคราะห์ด้วยวิธี สเปกโตรโฟโตเมทรีและวิธี HPLC

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Mean	
								Lower	Upper
Lycopene Equal variances assumed	.310	.593	1.670	8	.133	.8840	.5293	-.3366	2.1046
Equal variances not assumed			1.670	6.614	.141	.8840	.5293	-.3826	2.1506

ตารางที่ ๒2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติปริมาณไลโคพีน (โดย นน.สด) ในมะเขือเทศสดที่ปริมาณที่วิเคราะห์โดยวิธี สเปกโตรโฟโตเมทรีและวิธี HPLC

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Mean	
								Lower	Upper
Lycopene Equal variances assumed	.108	.751	-2.343	8	.047	-1.1280	.4813	-2.2380	-1.80x10 <sup>-2</sup>
Equal variances not assumed			-2.343	7.710	.048	-1.1280	.4813	-2.2453	-1.07x10 <sup>-2</sup>

ตารางที่ ๒3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติปริมาณไลโคพีน (โดย นน.สด) ในมะเขือเทศที่ปริมาณที่วิเคราะห์โดยวิธี สเปกโตรโฟโตเมทรีและวิธี HPLC

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Mean	
								Lower	Upper
Lycopene Equal variances assumed	.082	.782	5.237	8	.001	9.1040	1.7383	5.0954	13.1126
Equal variances not assumed			5.237	7.726	.001	9.1040	1.7383	5.0705	13.1375

ตารางที่ ๒4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติปริมาณไลโคพีน (โดย นน.สด) ในขอมมะเขือเทศที่วิเคราะห์โดยวิธี สเปกโตรโฟโตเมทรีและวิธี HPLC

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Mean	
								Lower	Upper
Lycopene Equal variances assumed	2.330	.165	-5.074	8	.001	-4.0320	.7946	-5.8643	-2.1997
Equal variances not assumed			-5.074	6.585	.002	-4.0320	.7946	-5.9352	-2.1288

ตารางที่ ๒5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติปริมาณไลโคพีน (โดย นน.สด) ในขอมมะเขือเทศที่วิเคราะห์โดยวิธี สเปกโตรโฟโตเมทรีและวิธี HPLC

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Mean	
								Lower	Upper
Lycopene Equal variances assumed	8.746	.018	-1.385	8	.204	-.9060	.6542	-2.4147	.6027
Equal variances not assumed			-1.385	4.662	.229	-.9060	.6542	-2.6251	-.8131

ตารางที่ ๗6 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติปริมาณไลโคพีน (โดย นน.สด) ในมะเขือเทศปกอกผิวในน้ำมะเขือเทศที่วิเคราะห์โดยวิธี สเปกโตรโฟโตเมทรีและวิธี HPLC

Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means							
F	Sig	t	df	Sig (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Mean		
							Lower	Upper	
Lycopene	21.239	.002	1.665	8	.135	1.3540	.8133	-5215	3.2295
Equal variances assumed									
Lycopene			1.665	4.200	.168	1.3540	.8133	-8624	3.5704
Equal variances not assumed									

ตารางที่ ๗7 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติปริมาณไลโคพีน (โดย นน.สด) ในมะเขือเทศแช่มีที่วิเคราะห์โดยวิธี สเปกโตรโฟโตเมทรีและวิธี HPLC

Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means							
F	Sig	t	df	Sig (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Mean		
							Lower	Upper	
Lycopene	.483	.507	-5.217	8	.001	-3.8040	.7292	-5.4855	-2.1225
Equal variances assumed									
Lycopene			-5.217	6.775	.001	-3.8040	.7292	-5.5399	-2.0681
Equal variances not assumed									

**ตารางที่ ข8 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติปริมาณไลโคพีน (โดย นน.สด) ในระหว่างกระบวนการผลิต  
ซอสมะเขือเทศ**

Source of variation	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig
Treatment	3	3.146	1.049	1.830	.282
Error	4	2.292	.573		
Total	7	5.439			

**ตารางที่ ข9 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติปริมาณไลโคพีน (โดย นน.แห้ง) ในระหว่างกระบวนการ  
ผลิตซอสมะเขือเทศ**

Source of variation	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig
Treatment	3	214.060	71.353	9.074	.029
Error	4	31.453	7.863		
Total	7	245.513			

**ตารางที่ ข10 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติปริมาณไลโคพีน (โดย นน.สด) ของซอสมะเขือเทศใน  
ระหว่างการเก็บรักษาที่ 45<sup>0</sup>ซ**

Source of variation	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig
Treatment	6	16.167	2.695	2.893	.095
Error	7	6.519	.931		
Total	13	22.687			

ตารางที่ ข11 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติปริมาณไลโคพีน (โดย นน.แห้ง) ในระหว่างกระบวนการผลิตมะเขือเทศแช่แข็ง

Source of variation	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig
Treatment	4	32109.973	8027.493	114.943	.000
Error	5	349.196	69.839		
Total	9	32459.168			

ตารางที่ ข12 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติปริมาณไลโคพีน (โดย นน.แห้ง) ในมะเขือเทศแช่แข็งอบแห้งด้วยวิธีลมร้อนและวิธีสุญญากาศ

Source of variation	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig
Treatment	5	71.229	14.246	1.490	.318
Error	6	57.351	9.559		
Total	11	128.580			

## ประวัติผู้เขียน

นางสาวเยาวภา สิริวัฒนานุกูล เกิดวันที่ 27 เมษายน พ.ศ. 2521 ที่จังหวัดภูเก็ต สำเร็จการศึกษาวិทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จ. กรุงเทพฯ ปีการศึกษา 2541 ศึกษาต่อในระดับวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในสาขาวิชาวิทยาศาสตรการอาหาร ในปี พ.ศ. 2542 และสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2545