17135

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง

ผลของสารแอนติออกซิแดนท์และสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงและเปลือกส้มเขียวหวานต่อการสูญเสียไลโคปีนในระหว่างการให้ความร้อนเนื้อมะเขือเทศบด

(Effect of antioxidants and extracts from Roselle and Tangerine peel on the loss of lycopene content during heat treatment of tomato pulp)

T096465

โดย

นายปฐมพงศ์ เอื้ออารี	รหัสประจำตัว	43040243
นายพิสัณห์ จารุฑีฆัมพร	รหัสประจำตัว	43040257
นายสาธิษฐ กลีบแก้ว	รหัสประจำตัว	43040281

ปพ.
ป141ผ
2547
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.96465.....
วัน,เดือน,ปี.....

ได้รับความเห็นชอบจาก

..... 29 / มี.ค. / 47 อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

(ผศ.ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นายปฐมพงศ์ เอื้ออารี นายพิสัณห์ จารุฑีฆัมพร และนายสาธิษฐ กลีบแก้ว . 2546 : ผลของสารแอนติออกซิแดนท์และสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงและเปลือกส้มเขียวหวานต่อการสูญเสียไลโคปีนในระหว่างการให้ความร้อนเนื้อมะเขือเทศบด (Effect of antioxidants and extracts from Roselle and Tangerine peel on the loss of lycopene content during heat treatment of tomato pulp) ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร

บทคัดย่อ

จากการศึกษาผลของการเติมสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสังเคราะห์ (butylated hydroxytoluene ,BHT ; propyl gallate ,PG) และวิตามินซี ที่ระดับความเข้มข้น 100 – 300 ppm. และสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานและสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง ที่ระดับความเข้มข้นที่ 200 – 600 ppm. ต่อการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนโดยการต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่า BHT, PG และ วิตามินซี มีผลในการป้องกันการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดได้ดี ในขณะที่สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงมีผลในการลดการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดได้เล็กน้อย อย่างไรก็ตาม สารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับความเข้มข้นที่ศึกษาไม่มีผลในการป้องกันการสูญเสียไลโคปีนในมะเขือเทศบด เมื่อผ่านการให้ความร้อนโดยการต้ม

ปฐมพงศ์ เอื้ออารี		
พิสัณห์ จารุฑีฆัมพร		
สาธิษฐ กลีบแก้ว	(ผศ.ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม)	29 มี.ค. 47
ลายมือชื่อนักศึกษา	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา	วัน/เดือน/ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปัญหาพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ดีทั้งนี้ต้องขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม ผศ.เยาวลักษณ์ สุรพันธพิศิษฐ์ และผศ.ดร.รุจิรา ตราปราบ ที่กรุณาให้เกียรติที่มาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาพร้อมทั้งแนะนำผู้จัดทำปัญหาพิเศษ ที่มีประโยชน์ ไม่ว่าเป็นข้อมูลต่างๆ ตรวจเอกสาร รวมถึงการเตรียมความพร้อมในการพูดปัญหาพิเศษ ผู้จัดทำขอขอบพระคุณในความอนุเคราะห์ของอาจารย์ทุกท่านด้วยความเคารพอย่างสูง

ในขั้นตอนการวิเคราะห์และการศึกษา จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ ถ้าไม่ได้รับความอนุเคราะห์ในการยืม – คืน อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์และการศึกษาจากพี่ ๆ ที่คอยดูแลเครื่องมือและห้องปฏิบัติการทุกท่านผู้จัดของขอบพระคุณทุกท่าน

นอกจากนี้ต้องขอขอบพระคุณ คุณณัฐพล มานะกุล ที่เอื้อเฟื้อคอมพิวเตอร์ในการพิมพ์รายงาน และบุคคลที่สำคัญอย่างยิ่ง คือ พ่อและแม่ที่เป็นกำลังใจที่ดียิ่ง ตลอดจนสนับสนุนด้านทรัพย์มาโดยตลอด ท้ายที่สุดต้องขอขอบคุณตัวเองที่สามารถฟันฝ่าอุปสรรคด้วยความอดทนจนสามารถทำปัญหาพิเศษครั้งนี้ลุล่วง

ปฐมพงศ์ เอื้ออารี
พิสัณห์ จารุฑีฆัมพร
สาธิษฐ กลีบแก้ว
22 มีนาคม 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ ก
กิตติกรรมประกาศ ข
สารบัญ ค
สารบัญ (ต่อ) ง
สารบัญรูปภาพ จ
สารบัญตาราง ฉ
สารบัญตาราง (ต่อ) ช
บทที่ 1 บทนำ 1
บทที่ 2 วารสารปริทรรศน์
2.1 ไลโคปีนในมะเขือเทศ 2
2.2 คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของไลโคปีน 3
2.3 ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงไลโคปีน 7
2.4 ผลของกระบวนการแปรรูปต่อไลโคปีน 8
2.5 *สารแอนติออกซิแดนท์* 12
2.6 สมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากพืชตระกูลส้ม 12
2.7 สมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดกระเจี๊ยบแดง 13
บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง
3.1 วัตถุดิบ 16
3.2 อุปกรณ์การทดลอง 16
3.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 16
3.4 สารสกัดที่ใช้ในการทดลอง 16
3.5 วิธีการทดลอง 17
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิจารณ์
4.1 ผลของการเติมสารแอนติออกซิแดนท์บางชนิดต่อการสูญเสียไลโคปีนในตัวอย่างมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อน 18
4.2 ผลของการเติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงและสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานต่อการสูญเสียไลโคปีนในตัวอย่างมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อน 21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง 25

5.2 ข้อเสนอแนะ 25

เอกสารอ้างอิง 26

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ผลการวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีน 28

ภาคผนวก ข ผลของความชื้นและการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น 36

ประวัติผู้จัดทำ 42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	โครงสร้างโดยทั่วไปของไลโคปีน	2
2.2	โครงสร้างเคมีของไลโคปีน cis – isomer	5
2.3	แสดงถึงการเสื่อมสลายของไลโคปีนใน tomato pulp ที่ 100°C	9
2.4	แสดงการเสื่อมสลายของปริมาณ ไลโคปีน ทั้งหมดระหว่างการบ่ม ภายใต้แสงที่ 25°C นาน 144 ชั่วโมง	10
2.5	แสดงการเสื่อมสลายของปริมาณไลโคปีนทั้งหมด ระหว่างได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 50° C (A), 100° C (B) และ 150° C (C)	11
4.1	เปอร์เซนต์การสูญเสียไลโคปีนในตัวอย่างเนื้อมะเขือเทศบดที่เติม BHT ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน เมื่อผ่านการให้ความร้อนโดยการต้ม 3 ชั่วโมง	19
4.2	เปอร์เซนต์การสูญเสียไลโคปีนในตัวอย่างเนื้อมะเขือเทศบดที่เติม PG ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน เมื่อผ่านการให้ความร้อนโดยการต้ม 3 ชั่วโมง	20
4.3	เปอร์เซนต์การสูญเสียไลโคปีนในตัวอย่างเนื้อมะเขือเทศบดที่เติมวิตามินซีที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน เมื่อผ่านการให้ความร้อนโดยการต้ม 3 ชั่วโมง	20
4.4	เปอร์เซนต์การสูญเสียไลโคปีนในตัวอย่างเนื้อมะเขือเทศบดที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน เมื่อผ่านการให้ความร้อนโดยการต้ม 3 ชั่วโมง	22
4.5	เปอร์เซนต์การสูญเสียไลโคปีนในตัวอย่างเนื้อมะเขือเทศบดที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวาน ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน เมื่อผ่านการให้ความร้อนโดยการต้ม 3 ชั่วโมง	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ปริมาณไลโคปีนในผลไม้สด 2
2.2 แคโรทีนอยด์ชนิดต่าง ๆ ที่พบในมะเขือเทศ 3
2.3 คุณสมบัติทางกายภาพของไลโคปีน 4
2.4 ค่าคงที่ของการยับยั้ง singlet oxygen (Kq) ของแคโรทีนอยด์ชนิดต่าง ๆ 6
2.5 แสดงถึงปริมาณไลโคปีนและปริมาณ cis-isomer ในมะเขือเทศทำแห้ง 8
4.1 ปริมาณไลโคปีนในตัวอย่างเนื้อมะเขือเทศบดที่เติมสาร BHT ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน เมื่อผ่านการให้ความร้อนโดยการต้ม 3 ชั่วโมง 18
4.2 ปริมาณไลโคปีนในตัวอย่างเนื้อมะเขือเทศบดที่เติมสาร PG ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน เมื่อผ่านการให้ความร้อนโดยการต้ม 3 ชั่วโมง 18
4.3 ปริมาณไลโคปีนในตัวอย่างมะเขือเทศบดที่เติมวิตามินซี ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน เมื่อผ่านการให้ความร้อนโดยการต้ม 3 ชั่วโมง 19
4.4 ปริมาณไลโคปีนในตัวอย่างมะเขือเทศบดที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน เมื่อผ่านการให้ความร้อนโดยการต้ม 3 ชั่วโมง 21
4.5 ปริมาณไลโคปีนในตัวอย่างมะเขือเทศบดที่เติมสารสกัดจาก เปลือกส้มเขียวหวาน ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน เมื่อผ่านการให้ความร้อนโดยการต้ม 3 ชั่วโมง 22

ตารางภาคผนวก

ก.1 ค่าดูดกลืนแสงและปริมาณไลโคปีนในตัวอย่างมะเขือเทศบดที่เติม BHT ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน เมื่อผ่านการให้ความร้อนโดยการต้ม 3 ชั่วโมง 31
ก.2 ค่าดูดกลืนแสงและปริมาณไลโคปีนในตัวอย่างมะเขือเทศบดที่เติม PG ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน เมื่อผ่านการให้ความร้อนโดยการต้ม 3 ชั่วโมง 32
ก.3 ค่าดูดกลืนแสงและปริมาณไลโคปีนในตัวอย่างมะเขือเทศบดที่เติมวิตามินซี ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน เมื่อผ่านการให้ความร้อนโดยการต้ม 3 ชั่วโมง 33
ก.4 ค่าดูดกลืนแสงและปริมาณไลโคปีนในตัวอย่างมะเขือเทศบดที่เติมสาร สกัดจากกระเจี๊ยบแดง ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน เมื่อผ่านการให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนโดยการต้ม 3 ชั่วโมง 34
ก.5 ค่าดูดกลืนแสงและปริมาณไลโคปีนในตัวอย่างมะเขือเทศบดที่เติมสาร
สกัดจากเปลือกส้มเขียวหวาน ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน เมื่อผ่านการให้
ความร้อนโดยการต้ม 3 ชั่วโมง 35
ข.1 เปอร์เซ็นต์ความชื้นมะเขือเทศบดที่เติม BHT ที่ระดับความเข้มข้น
ต่างกัน เมื่อผ่านการให้ความร้อนโดยการต้ม 3 ชั่วโมง 37
ข.2 เปอร์เซ็นต์ความชื้นมะเขือเทศบดที่เติม PG ที่ระดับความเข้มข้น
ต่างกัน เมื่อผ่านการให้ความร้อนโดยการต้ม 3 ชั่วโมง 38
ข.3 เปอร์เซ็นต์ความชื้นมะเขือเทศบดที่เติมวิตามินซี ที่ระดับความเข้มข้น
ต่างกัน เมื่อผ่านการให้ความร้อนโดยการต้ม 3 ชั่วโมง 39
ข.4 เปอร์เซ็นต์ความชื้นมะเขือเทศบดที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดง
ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน เมื่อผ่านการให้ความร้อนโดยการต้ม 3 ชั่วโมง 40
ข.5 เปอร์เซ็นต์ความชื้นมะเขือเทศบดที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวาน
ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน เมื่อผ่านการให้ความร้อนโดยการต้ม 3 ชั่วโมง 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ไลโคปีน เป็นรงควัตถุสีแดงประเภทแคโรทีนอยด์ ที่มีโครงสร้างไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว พบได้ในพืชหลายชนิด เช่น ส้ม องุ่น เกรฟฟรุต (grape-fruit) มะละกอ แตงโม ลูกท้อ (peach) แต่จะพบมากในผลมะเขือเทศสุก โดยทั่วไปกระบวนการแปรรูปและการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มะเขือเทศโดยวิธีการใช้ความร้อน ความเย็น และการอบแห้ง มีผลต่อการสูญเสียไลโคปีนในมะเขือเทศ (ประพันธ์, 2546.) อย่างไรก็ตามวัตถุเจือปนอาหารต่าง ๆ เช่น เกลือ น้ำตาล กรดอินทรีย์ เครื่องเทศ แอนติออกซิแดนท์ และไฮโดรคอลลอยด์ เป็นต้น อาจจะมีผลในด้านบวกหรือลบต่อการสูญเสียไลโคปีนในระหว่างการแปรรูปและการเก็บรักษามะเขือเทศ ดังนั้นโครงร่างปัญหาพิเศษนี้จึงมุ่งศึกษาผลของแอนติออกซิแดนท์และสารสกัดจากเมล็ดส้มและกระเจี๊ยบแดง ซึ่งมีองค์ประกอบของสารที่มีสมบัติต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (ประพันธ์, 2545., Duh and Yen, 1997.) ต่อการสูญเสียไลโคปีนในระหว่างการแปรรูปเนื้อมะเขือเทศบดโดยการใช้ความร้อน

วัตถุประสงค์

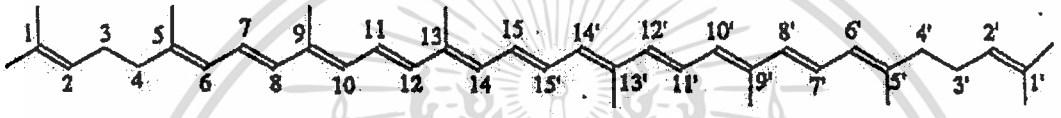
1. เพื่อศึกษาผลของการเติมสารแอนติออกซิแดนท์บางชนิดต่อการสูญเสียไลโคปีนในระหว่างการให้ความร้อนเนื้อมะเขือเทศบด
2. เพื่อศึกษาผลของการเติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงและเมล็ดส้มเขียวหวานต่อการสูญเสียไลโคปีนในระหว่างการให้ความร้อนเนื้อมะเขือเทศบด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่2
วารสารปริทรรศน์

2.1 ไลโคปีนในมะเขือเทศ

ไลโคปีนเป็นรงควัตถุ (pigment) ในกลุ่มแคโรทีนอยด์ มีผลึกสีแดงเข้ม พบมากในมะเขือเทศสดและผลิตภัณฑ์มะเขือเทศ แต่พบในผลไม้ชนิดอื่น ๆ เพียงเล็กน้อย เช่น แอปริคอท พีชตระกูลส้ม องุ่น ฝรั่ง มะละกอ ดังแสดงปริมาณในตารางที่ 2.1 โครงสร้างโดยทั่วไปของไลโคปีนเป็นอัลลิฟาติค ไฮโดรคาร์บอน (aliphatic hydrocarbon) มีสูตรโมเลกุล $C_{40}H_{56}$ ละลายได้ในไขมัน มีธาตุคาร์บอนเชื่อมต่อกันด้วยพันธะคู่แบบคอนจูเกจดับเบิ้ลบอนด์ (conjugated double bond) ถึง 11 พันธะ ดังโครงสร้างแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างโดยทั่วไปของไลโคปีน
ที่มา : Bramley (2000)

ตารางที่ 2.1 ปริมาณไลโคปีนในผลไม้สด

ผลไม้	ปริมาณ (มิลลิกรัม / 100 กรัมน้ำหนักสด)
แอปริคอท	0.005[a]
องุ่น	3.360[a]
ฝรั่ง	5.400[a]
มะละกอ	2.000-5.300[b]
มะเขือเทศ	3.100-7.740[c]
แดงโม	4.100[a]

ที่มา : [a]USDA (1998)
[b]Mangels (1993)
[c]Nguyen and Schwartz (1998)

ในมะเขือเทศสดจะพบไลโคปีนในรูป all – trans configulation อยู่สูงถึง 95% ปริมาณจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพันธุ์ ความสุก และสภาวะแวดล้อมในการบ่มให้สุก แต่เนื่องจากในซีรัมของมนุษย์ จะพบไลโคปีนในรูป cis-somers มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับแคโรทีนอยด์ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อื่น ๆ เช่น อัลฟา – แคโรทีน เบต้า – แคโรทีน จึงเป็นข้อสันนิษฐานว่า ร่างกายสามารถดูดซึมไลโคปีนในรูป cis-isomer เพื่อการนำไปใช้ทางชีวภาพ (bioavailability) ได้มากกว่าไลโคปีนในรูป trans – isomer

2.2 คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของไลโคปีน

แคโรทีนอยด์ที่เป็นส่วนประกอบในผักและผลไม้มีมากกว่า 600 ชนิด ในทางเคมีสามารถแบ่งแคโรทีนอยด์ออกได้เป็น 2 กลุ่มหลัก ๆ ได้แก่

1.) แคโรทีนอยด์ไม่อิ่มตัวอย่างมาก (highly unsaturated hydrocarbon carotenoid) เช่น ไล

โคปีน แอลฟาแคโรทีน เบต้าแคโรทีน และ ξ - แคโรทีน แคโรทีนอยด์ในกลุ่มนี้โครงสร้างทางเคมีไม่มีออกซิเจน

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

ในมะเขือเทศพบรงควัตถุ (pigment) ที่อยู่ในกลุ่มแคโรทีนอยด์มากกว่า 21 ชนิด โดยพบไลโคปีนมากที่สุด นอกนั้นเป็น แอลฟาแคโรทีน เบต้าแคโรทีน – แคโรทีน ไฟโทอีน ไฟโทฟลูอีน นิวโรสปอรีน และลูเทอิน (Goukd, 1992) ปริมาณเล็กน้อย (ตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.2 แคโรทีนอยด์ชนิดต่าง ๆ ที่พบในมะเขือเทศ

แคโรทีนอยด์	สัดส่วน (%)	จำนวนพันธะคู่ที่เชื่อมต่อกัน	ความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงได้สูงสุดในสารละลายเฮกเซน (nm)
Lycopene	80 – 90	11	472 (457, 485, 519)
α -carotene	0.03	9	444 (319, 348, 366)
β -carotene	3 – 5	9	450 (4277, 450, 477)
γ -carotene	1 – 1.3	7	450 (432, 461, 490)
ξ -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)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

คุณสมบัติทางกายภาพของไลโคปีนแสดงในตารางที่ 2.3 ไลโคปีนในมะเขือเทศสดอยู่ในรูปที่มีโครงสร้างเป็นเส้นยาว (trans form) มีลักษณะเป็นผลึก ทำให้มะเขือเทศมีสีแดงสว่าง ไลโคปีนละลายในคอลโรฟอร์ม เบนซึม และตัวทำละลายอินทรีย์อื่น ๆ ได้ดีกว่าน้ำ

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติทางกายภาพของไลโคปีน

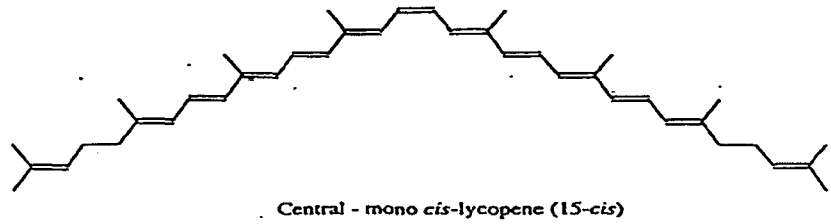
สูตรโมเลกุล	$C_{40}H_{56}$
น้ำหนักโมเลกุล	536.85 ดาลตัน
จุดหลอมเหลว	172° - 175° ซ
รูปร่างผลึก	ในสารละลายเอทานอลที่ประกอบด้วย คาร์บอนไดซัลไฟด์มีรูปร่างเหมือนเข็ม มีสีแดง
ลักษณะผง	สีน้ำตาลแดง
ความสามารถในการละลาย	ละลายในคลอโรฟอร์ม เฮกเซน เบนซีน คาร์บอนไดซัลไฟด์ อะซีโตน ปิโตรเลี่ยม อีเทอร์ ไม่ละลายในน้ำ เอทานอล เมทานอล
มีความไวต่อ (Sensitivity)	แสง ออกซิเจน อุณหภูมิสูง กรด

ที่มา : Shi and Le Maguer (2000)

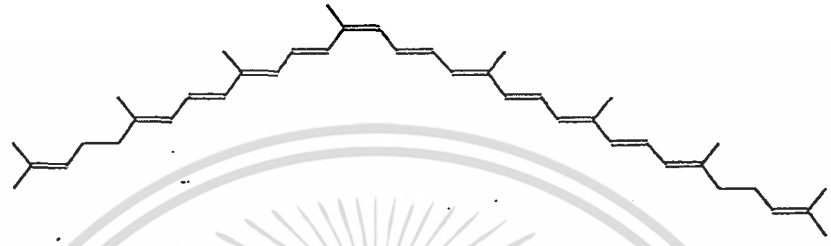
2.2.2 โครงสร้างทางเคมี

โครงสร้างเคมีของแคโรทีนอยด์ที่สำคัญในมะเขือเทศแสดงในภาพที่ 2.2 ไลโคปีนเป็นโพลีอิน ไฮโดรคาร์บอน (polyene hydrocarbon)ปลายโซ่เปิด เป็นแคโรทีนอยด์ไม่อิ่มตัวมีพันธะคู่ทั้งหมด 13 พันธะ แต่มีเพียง 11 พันธะที่เชื่อมต่อเรียงกันเป็นเส้นยาว ไลโคปีนมีสูตรโมเลกุล $C_{40}H_{56}$ มีลักษณะเป็นสีแดงและเป็นสารยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน (antioxidant) ได้เนื่องจากมีโครงสร้างที่พิเศษที่แตกต่างจากแคโรทีนอยด์ชนิดอื่นและมีการเชื่อมกันของพันธะคู่ ไลโคปีนไม่สามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ เนื่องจากโครงสร้างของไลโคปีนไม่มีวงแหวนเบต้า (β - ionone ring) ในมะเขือเทศสดไลโคปีนอยู่ในรูปออล-ทรานส์ (all-trans) และสามารถเกิดไอโซเมอร์จาก ทรานส์ฟอร์ม (trans-form) เป็นโมโน (mono) หรือโพลวิสฟอร์ม (poly-cis form) ได้ภายใต้สภาวะที่มีการชักนำโดยความร้อน แสง หรือปฏิกิริยาเคมี แสง ความร้อน และกรดเป็นปัจจัยที่ทำให้ไลโคปีนเสื่อม สลาย สวนไอออนของโลหะ เช่น Cu^{2+} และ Fe^{3+} เป็นตัวเร่งให้ไลโค-ปีนเกิดออกซิเดชัน โครงสร้างของไลโคปีนบางไอโซเมอร์แสดงในภาพที่ 2.2

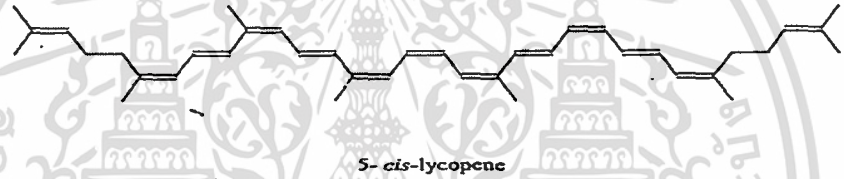
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



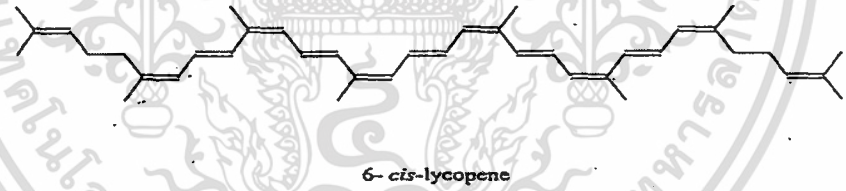
Central - mono *cis*-lycopene (15-*cis*)



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



5- *cis*-lycopene



6- *cis*-lycopene

ภาพที่ 2.2 โครงสร้างเคมีของไลโคปีน cis – isomer
ที่มา : Shi and Le Maguer (2000)

ไลโคปีนในรูปซิสไอโซเมอร์ (cis – isomer) มีความแตกต่างทางด้านรูปร่าง ความเสถียรและคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงจากทรานส์ไอโซเมอร์ (trans-isomer) ที่เป็นโครงสร้างที่พบส่วนใหญ่ในธรรมชาติ โดย trans – isomer จะมีโครงสร้างตรง แบนราบ และมีเสถียรภาพมากที่สุดใน ขณะที่ cis – isomer มีพลังงานสูง ว่องไวต่อปฏิกิริยา ความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงได้สูงสุดลดลงส่งผลให้มีสีแดงน้อยลง ความเข้มสีลดลง ซึ่งมีความสำคัญมากต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 คุณสมบัติทางชีวเคมี

ไลโคปีนมีโครงสร้างที่ไม่มีวงแหวน (acyclic structure) มีโครงสร้างที่โดดเด่นและมีคุณสมบัติทางชีวภาพรวมถึงการเป็น antioxidant แตกต่างกับแคโรทีนอยด์อื่น ๆ อย่างชัดเจน ไลโคปีนเป็นแคโรทีนอยด์ที่สามารถยับยั้ง singlet oxygen (O_2) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Di Mascio et al., 1989; Conn, et al., 1991) สามารถพิจารณาความแตกต่างของค่าคงที่ของการยับยั้ง singlet oxygen (Kq) ของแคโรทีนอยด์ชนิดต่าง ๆ ได้ในตารางที่ 4 เมื่อเปรียบเทียบโครงสร้างของไลโคปีน เบต้าแคโรทีน และกมมาแคโรทีน จะเห็นว่า β - ionone ring แบบเปิดเพิ่มความสามารถยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันได้ดี เนื่องจากมีคุณสมบัติของการยับยั้ง singlet oxygen และสามารถจับเปอร์ออกซิลเรดิคอล (peroxyl radical, ROO•) ได้ ความสามารถในการยับยั้ง singlet oxygen ของแคโรทีนอยด์แต่ละชนิดขึ้นอยู่กับจำนวนพันธะคู่ที่เชื่อมต่อกัน (conjugated double bond) และ cyclic and group ที่ประกอบอยู่ในโครงสร้างของแคโรทีนอยด์ (Foote and Denny, 1968; Burton and Ingold, 1984)

ตารางที่ 2.4 ค่าคงที่ของการยับยั้ง singlet oxygen (Kq) ของแคโรทีนอยด์ชนิดต่าง ๆ

แคโรทีนอยด์	10^9 x Kq (m^{-1} s^{-1})
Lycopene	31
γ -carotene	25
α -carotene	19
β -carotene	14
Lutein	8
Astaxanthin	24
Bixin	14
Canthaxanthin	21
Zeaxanthin	10

ที่มา : Shi and Le Maguer (2000)

ไลโคปีน all – trans isomer เป็นไอโซเมอร์ที่พบในมะเขือเทศสด และเป็นไอโซเมอร์ที่เสถียรต่อการถ่ายเทความร้อน แต่ไลโคปีนก็สามารถเกิดไอโซเมอไรเซชัน (isomerization) จาก trans- เป็น cis-isomer ในระหว่างกระบวนการผลิตและการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มะเขือเทศ อาหารที่ทำจากมะเขือเทศมีไลโคปีน all-trans isomer 35 – 96% ของไลโคปีนทั้งหมด

ในการวิเคราะห์ 5-cis 9-cis และ 15-cis isomer ในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศและในซีรัมเนื้อเยื่ออวัยวะของมนุษย์พบไลโคปีนในรูป cis-isomer มากกว่า 50% ของไลโคปีนทั้งหมด (Krinsky et al., 1990) โดยทั่วไปไลโคปีน cis-isomer มีขั้วมากกว่า all –trans isomer และเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลึกได้น้อยกว่า all-trans isomer เนื่องจาก cis-isomer มีโครงสร้างไม่เป็นเส้นตรง นอกจากนี้ cis-isomer ยังละลายในน้ำมันและตัวทำละลายที่เป็นไฮโดรคาร์บอนได้ดีกว่า all-trans isomer ดังนั้นคุณสมบัติของการทำปฏิกิริยาทางชีวภาพ (bioactivity) ของ cis-isomer เปลี่ยนไปจาก all-trans isomer เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของโครงสร้าง

ไลโคปีนเป็น antioxidant ที่ยับยั้ง singlet oxygen และจับกับอนุมูลอิสระเปอร์ออกซิล (peroxyl radical) ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง ปฏิกิริยาในการจับกันของไลโคปีนกับอนุมูลอิสระที่ประกอบด้วยออกซิเจนเรดิคอล (oxygen radical) เป็นปฏิกิริยาอันดับ 2 การขนถ่ายอิเล็กตรอนของไลโคปีนเกิดได้ทั้ง 2 แบบคือ

$$L\text{-}C + ROO^{\cdot} \Rightarrow L\text{-}C + ROOH$$

$$L\text{-}C + ROO^{\cdot} \Rightarrow L\text{-}ROO\text{-}C^{\cdot}$$

อนุมูลอิสระเปอร์ออกซิลสามารถทำหน้าที่เป็นโปรออกซิแดนซ์ (prooxidant) และทำให้เกิดออโตออกซิเดชัน (autooxidation) ได้ แผนภาพการเสื่อมสลายของไลโคปีนแสดงในภาพที่ 3A และ B ออกซิเจนมี หน้าที่หลัก 2 อย่าง คือ ทำหน้าที่แทนเมทิล (methyl) หรือหมู่เมทิลีน (methylene group) และเติมเข้าไปอยู่ในพันธะ C = C การเสื่อมสลายของไลโคปีนสามารถเกิดได้ที่ปลายสายโซ่ของ C40 ทั้ง 2 ปลาย โดยเกิดการตัดโมเลกุลที่พันธะคู่ในระหว่างเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

2.3 ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงไลโคปีน

จากโครงสร้างของไลโคปีน พบว่ามีพันธะคู่เป็นจำนวนมาก ส่งผลให้ไลโคปีนสามารถเปลี่ยนรูปและสลายตัวได้ง่าย จากกระบวนการไอโซเมอไรเซชัน (isomerization) และการะบวนการออกซิเดชัน (oxidation) โดยกระบวนการทั้งสองสามารถเกิดขึ้นได้พร้อม ๆ กัน

2.3.1 ปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชัน

ไลโคปีนที่อยู่ในรูปออล-ทรานส์ (all-tran) สามารถเกิดไอโซเมอจาก ทราน-ฟอร์ม (tran-form) เป็น ซิส-ฟอร์ม (cis-form) จากการให้ความร้อนในกระบวนการแปรรูป ส่งผลทำให้ cis-isomer ที่เกิดขึ้นมีพลังงานสูง, ว่องไวต่อปฏิกิริยา, จุดหลอมเหลวต่ำ, ความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงได้สูงสุดลดลง ทำให้ไลโคปีนมีสีอ่อนลง

ในขณะที่ ทรานฟอร์ม (tran-form) จะมีโครงสร้างตรงแบนราบ และมีเสถียรภาพที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจาก cis-isomer อยู่ในสภาพที่มีเสถียรภาพต่ำ จึงทำให้สามารถกลับจากสภาวะที่มีพลังงานสูงสู่สภาวะพื้นได้เมื่อทิ้งไว้ระยะหนึ่ง จึงทำให้ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาที่ย้อนกลับได้

2.3.2 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน

การเกิดออกซิเดชัน ในกระบวนการแปรรูป ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น สภาวะในการแปรรูป, ความชื้น, อุณหภูมิ, การสัมผัสแสง, ออกซิเจน และสภาวะความเป็นกรดด่างอย่างรุนแรง เป็นต้น ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ย้อนกลับไม่ได้ โดยเส้นทางการเกิดอาจต่อเนื่องจากไอโวเมอไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซชัน หรือ เกิดโดยตรงจากไลโคปีนในรูป tran-isomer โดยไลโคปีนจะแตกตัวออกเป็นโมเลกุลขนาดเล็ก เป็นสารประกอบอัลดีไฮด์ และคีโตน ซึ่งทำให้เกิดกลิ่นแปลกปลอม

2.4 ผลของกระบวนการแปรรูปต่อไลโคปีน

2.4.1 อิทธิพลของออกซิเจน

Monselise และ Berk (1954) ได้ทำการศึกษาปัจจัยสำคัญที่ทำให้ไลโคปีนเกิดการเสื่อมสลายในระหว่างกระบวนการผลิตมะเขือเทศเข้มข้น เนื่องจากการเกิดออกซิเดชัน พบว่าไลโคปีนเสื่อมสลายไปมากกว่า 30% เมื่อให้ความร้อนต่อเนื้อมะเขือเทศที่ 100°C 3 ชั่วโมง ในสภาวะที่มีออกซิเจน เมื่อเปรียบเทียบกับ มะเขือเทศเข้มข้นที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการผลิต

2.4.2 อิทธิพลของกระบวนการทำแห้ง

Shi และคณะ (1999) ได้ทำการศึกษา การรักษาไลโคปีนให้คงอยู่ในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศทำแห้ง โดยศึกษา การเกิด cis-isomer ของไลโคปีน ในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศที่ทำแห้งด้วยวิธีการต่างๆ กัน พบว่า การทำแห้งในสุญญากาศร่วมกับวิธีออสโมติก จะสูญเสียไลโคปีน 2.4% และเกิด cis-isomer 6.5% ขณะที่วิธีสุญญากาศ และวิธีลมร้อน โดยปราศจากวิธีออสโมติก จะสูญเสียไลโคปีน 3.2 และ 3.9% ตามลำดับและเกิด cis-isomer 10.1 และ 16.6% ตามลำดับ ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 แสดงถึงปริมาณไลโคปีนและปริมาณ cis-isomer ในมะเขือเทศทำแห้ง

ตัวอย่าง	Total lycopene (μg/g น.น. แห้ง)	การสูญเสียไลโคปีน (%)	All-trans isomer (%)	cis-isomer (%)
มะเขือเทศสด	755[a]	0	100	0
มะเขือเทศที่ผ่านวิธีออสโมติก	755[a]	0	100	0
มะเขือเทศทำแห้งที่ใช้วิธีออสโมติกร่วมกับสุญญากาศ	737[b]	2.4	93.5	6.5
มะเขือเทศทำแห้งวิธีสุญญากาศ	731[c]	3.2	89.9	10.1
มะเขือเทศทำแห้งวิธีลมร้อน	726[d]	3.9	84.4	16.6

[abcd] คือ ตัวอักษรที่แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.01$)

ที่มา : ดัดแปลงจาก Shi และคณะ (1999)

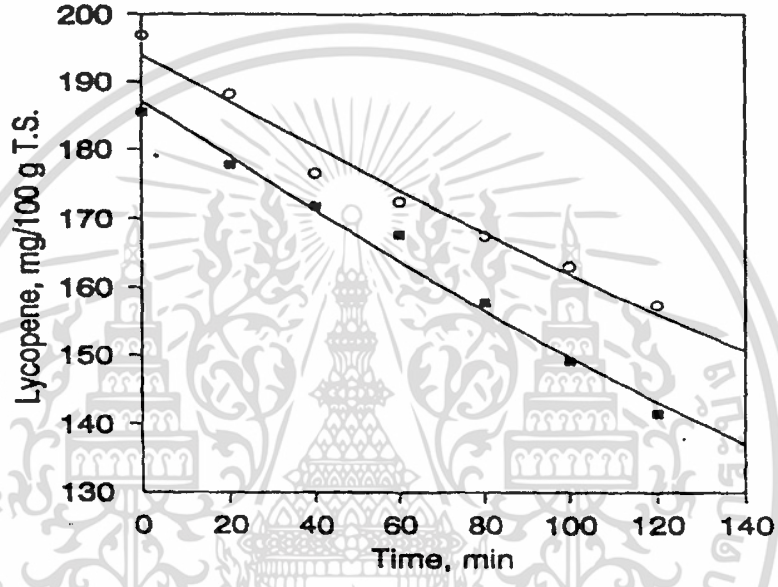
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 อิทธิพลของความเข้มแสง

การให้แสงสว่างร่วมกับการเพิ่มอุณหภูมิในการให้ความร้อน ส่งผลทำให้เกิดการสูญเสียไลโคปีนเพิ่มขึ้น แต่แสงสว่างจะมีอิทธิพลต่อการเสื่อมสลายของไลโคปีนน้อยกว่าอุณหภูมิ

2.4.4 อิทธิพลของอุณหภูมิ

Shi and Marc (1996) ได้ทำการศึกษาการสูญเสียของไลโคปีนใน tomato pulp โดยการให้ความร้อนที่ 100° ซ ที่เวลาต่าง ๆ พบว่า การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 ° C ในเวลาที่เพิ่มขึ้น ไลโคปีนจะลดลง ตามลำดับ ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 แสดงถึงการเสื่อมสลายของไลโคปีนใน tomato pulp ที่ 100° C
ที่มา : Shri and Marc (1996)

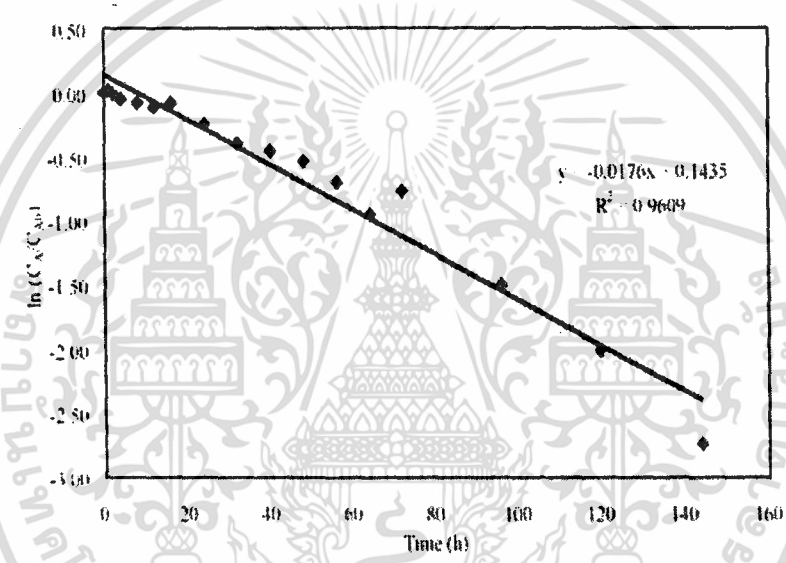
การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์มะเขือเทศที่ผลิตเพื่อการค้า พบว่า ปริมาณของ cis-isomer ไม่มากกว่า 10.1% ถึงแม้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้ทดสอบถูกแปรรูปภายใต้สภาวะที่ให้ความร้อนแตกต่างกันและปริมาณไลโคปีนไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณความร้อนที่ผลิตภัณฑ์เหล่านี้ได้รับ แต่ในกระบวนการที่ใช้ความร้อนสูง เช่น การให้ความร้อนกับผลิตภัณฑ์มะเขือเทศสับในน้ำมันมะกอกที่อุณหภูมิ 200° C 45 นาที ไลโคปีนจะเกิด cis-isomer เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการทำให้น้ำมะเขือเทศเข้มข้นโดยใช้ plate heat exchanger ที่อุณหภูมิ 200° C เวลา 2 – 3 วินาที เพื่อผลิต puree พบว่าระดับ cis-isomer เพิ่มขึ้นจาก 4.2% เป็น 19.1% (Nguyen and Schwartz, 1999)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Lee และ Chen (2002) ได้ทำการศึกษาผลของการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50, 100 และ 150° C และศึกษาผลของการให้แสงที่ระยะเวลาต่าง ๆ ต่อปริมาณ ไลโคปีน ซึ่งไลโคปีน ที่นำมา ศึกษาจะเป็น model system

จากการศึกษาผลของแสงโดยใช้ หลอด fluorescent ขนาด 20 Watt ฉายลงใน สารละลายไลโคปีน ที่ได้ทำการระเหยไว้แล้วจนมีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มบาง ในขวด vial โดยจะนำขวด vial นี้ มาบ่มภายใต้แสงที่อุณหภูมิ 25° C เป็นเวลานาน 6 วัน และตรวจสอบปริมาณไลโคปีนโดยวิเคราะห์ด้วย HPLC

พบว่าปริมาณไลโคปีนจะลดลง เมื่อระยะเวลาในการบ่มภายใต้แสงเพิ่มขึ้นและจากกราฟ log ที่ plot ระหว่างความเข้มข้นของไลโคปีน กับเวลา ทำให้ทราบว่าอัตราการเสื่อมสลายของไลโคปีน ต่อชั่วโมงเท่ากับ 0.0176 μg/g ดังภาพที่ 2.4

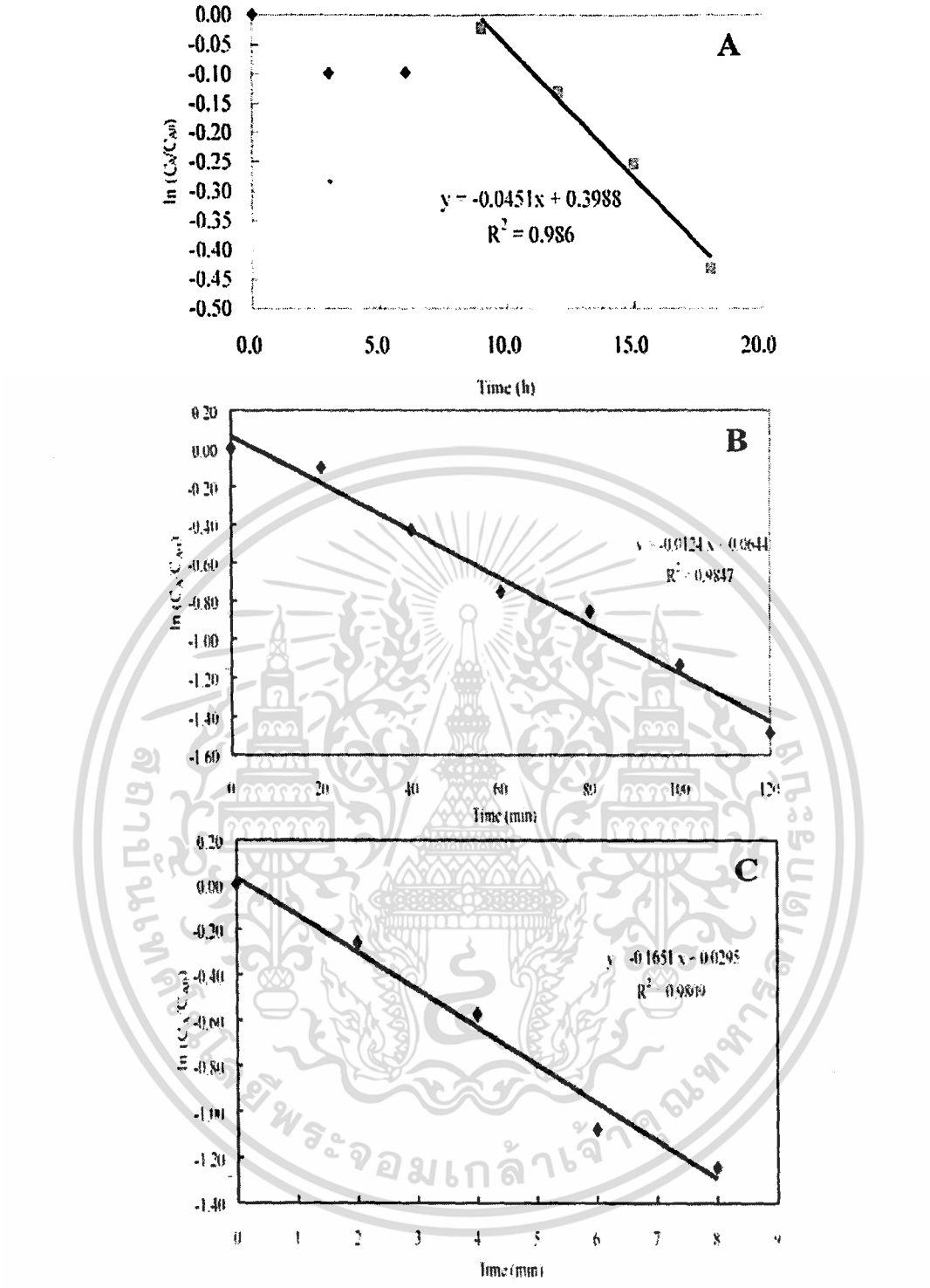


ภาพที่ 2.4 แสดงการเสื่อมสลายของปริมาณ ไลโคปีน ทั้งหมดระหว่างการบ่มภายใต้แสงที่ 25° C นาน 144 ชั่วโมง

ที่มา : Lee และ Chen (2002)

จากการศึกษาผลของการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50, 100 และ 150° C ต่อปริมาณ ไลโคปีน พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการให้ความร้อนสูงขึ้นอัตราการสลายของปริมาณ ไลโคปีน ก็จะเพิ่มขึ้น โดยเมื่อให้ความร้อนที่ 50, และ 150° C อัตราการเสื่อมสลายของไลโคปีนต่อนาที จะเป็น 0.0075, 0.0124 และ 0.1651 μg/g ตามลำดับ ดังภาพที่ 6(A) 6(B) และ 6(C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.5 แสดงการเสื่อมสลายของปริมาณไลโคปีนทั้งหมด ระหว่างได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 50° C (A), 100° C (B) และ 150° C (C)

ที่มา ; ดัดแปลงจาก Lee และ Chen (2002)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 *สารแอนติออกซิแดนท์*

ปฏิกิริยาการเติมออกซิเจน (oxidation) ในไขมันและน้ำมันส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร ทำให้สูญเสียรสชาติ ลดคุณค่าทางโภชนาการ บางครั้งเกิดเป็นสารพิษหรือสารก่อมะเร็งได้ วิธีป้องกันการเกิดปฏิกิริยาการเติมออกซิเจน เช่น การแช่เย็น รวมถึงวิธีการบรรจุ เช่น บรรจุภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน อย่างไรก็ตามวิธีเหล่านี้มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับวิธีการเติมสารแอนติออกซิแดนท์ (antioxidant) ลงในอาหารโดยตรง เพื่อป้องกันการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาการเติมออกซิเจน นอกจากนี้ แสง, อุณหภูมิ, ปริมาณความเข้มข้นของออกซิเจน, โลหะ และเอนไซม์บางชนิดยัง สามารถเร่งปฏิกิริยานี้ได้ด้วย สารแอนติออกซิแดนท์ส่วนใหญ่ที่นิยมใช้เป็นพวก phenolic aromatic ซึ่งบางครั้งเรียกว่า phenolic antioxidant มีทั้งในรูปแข็งและของเหลว โดยอาจเป็นสารที่พบได้ในธรรมชาติหรือสารแอนติออกซิแดนท์สังเคราะห์ที่นิยมใช้มากได้แก่ บิวทีเลตเตด ไฮดรอกซีอนิโซล (butylated hydroxyanisol, BHA) บิวทีเลทเตดไฮดรอกซีโทลูอีน (butylated hydroxytoluene, BHT), เทอทีอารีบิวทิลไฮโดรควิโนน (tertiary butylhydroquinone, TBHQ) และโพรพิลแกลเลต (propyl gallate, PG) หลายประเทศอนุญาตให้ใช้สารแอนติออกซิแดนท์เหล่านี้กับไขมันและน้ำมันในปริมาณความเข้มข้นต่าง ๆ กันเช่น สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาในสหรัฐอเมริกา (FDA) อนุญาติให้ใช้สารกันหืนเหล่านี้ชนิดเดียวหรือใช้ร่วมกันได้ในระดับความเข้มข้นไม่เกิน 0.02% (200 ppm) ต่อน้ำหนักของไขมันและน้ำมัน (by weight) สำหรับกระทรวงเกษตรของสหรัฐอเมริกา (USDA) อนุญาตให้ใช้แต่ละชนิดไม่เกิน 0.01% (100 ppm) *(สันติ, 2535.)*

2.6 สมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากพืชตระกูลส้ม

พืชตระกูลส้มเป็นพืชที่ประกอบด้วยสารที่มีคุณสมบัติเป็นแอนติออกซิแดนท์มากมาย โดยเฉพาะสารประกอบในกลุ่มของเฟลโวนอยด์ ดังนั้นจึงมีผู้สนใจศึกษาคุณสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจากเมล็ดพืชตระกูลส้มและความเป็นไปได้ที่จะนำมาประยุกต์ใช้อุตสาหกรรมอาหารดังนี้

ประพันธ์และวันนีย์(2545) ศึกษาปริมาณของสารประกอบฟีนอลทั้งหมดและศักยภาพในการต้านคุณสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจากเมล็ดพืชตระกูลส้มชนิดต่าง ๆ ที่ปลูกในประเทศไทยโดยใช้เอทานอลเป็นตัวสกัด พบว่าเมล็ดส้มเขียวหวานมีปริมาณสารประกอบฟีนอลสูงที่สุด รองมาคือ เมล็ดส้มฟรีมองต์ ส้มโชกุน ส้มสายน้ำผึ้ง ส้มโอขาวน้ำผึ้ง ส้มโอทองดีและมะนาว ตามลำดับ และสารสกัดจากเมล็ดส้มสายน้ำผึ้งมีความสามารถในการต้านคุณสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงที่สุด รองลงมาคือ เมล็ดส้มเขียวหวาน ส้มฟรีมองต์ ส้มโอทองดี มะนาว ส้มโชกุนและส้มโอขาวน้ำผึ้ง ตามลำดับ

Gorinstein และคณะ(2001) ศึกษาปริมาณของสารประกอบฟีนอลและสารประกอบอื่นๆ ที่มีสมบัติในการการต้านคุณสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในสารสกัดที่ได้จากเปลือกและผลของพืชตระกูลส้มชนิดต่างๆ รวมทั้งความสามารถในการต้านปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกซิเดชันของกสารประกอบเหล่านั้นพบว่าในส่วนของเปลือกจะมีปริมาณของสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงกว่าส่วนของผล นอกจากนี้สารสกัดจากเปลือกยังแสดงสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าสารสกัดจากผลของพืชตระกูลส้มทุกชนิดที่ใช้ในการทดลอง

Bocco และคณะ(1998) ศึกษาสมบัติการต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากเปลือกและเมล็ดส้มของพืชตระกูลส้มชนิดต่างๆ โดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ 2 ชนิดในการสกัด ได้แก่ เมทานอล และ เอทิลอะซิเตรท พบว่าสารสกัดจากเมล็ดส้มโดยทั่วไปจะมีสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าเปลือกส้ม นอกจากนี้สายพันธุ์ของพืชตระกูลส้มที่ต่างกันจะให้สารสกัดเมล็ดและเปลือกมีคุณสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันแตกต่างกันด้วย สำหรับชนิดของตัวทำลายอินทรีย์ที่ใช้นั้นจะมีผลต่อกลุ่มของสารประกอบที่ถูกสกัดออกมาแตกต่างกัน โดยที่สารสกัดที่ได้จากการใช้เมทานอลจะมีองค์ประกอบของเฟลโวล และ glycosylated flavavanones เป็นส่วนใหญ่ขณะที่สารสกัดที่ได้จากการใช้เอทิลอะซิเตรท จะมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นกรดฟินอลิคและเฟลโวนอล อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ได้ไม่สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันกับชนิดหรือองค์ประกอบของสารประกอบฟินอลิคในสารดังกล่าว

Jamilah และคณะ(1998) ศึกษาการใช้สารสกัดจากเปลือกมะกรูด(Citrus hystrix) ในน้ำมันปาล์มโอลีอีนที่ใช้ทอด พบว่าการใช้สารสกัดที่ระดับ 2000 ส่วนในล้านส่วน และสารบีเอชที 200 ส่วนในล้านส่วนเติมลงในน้ำมันปาล์มโอลีอีนที่ใช้ทอดข้าวเกรียบปลาที่อุณหภูมิ 180^{0} ซ ช่วงเวลา 5 ชม./วัน เป็นเวลาติดต่อกัน 4 วัน พบว่าสารสกัดจากเปลือกมะกรูดแสดงสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.7 สมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงแดง

กระเจี๊ยบแดง เป็นพืชสมุนไพรที่พบได้ทั่วไปในประเทศที่อยู่ในเขตร้อนปัจจุบันพบว่าสารสกัดที่ได้จากกระเจี๊ยบแดงแดงมีคุณสมบัติเป็นแอนติออกซิแดนท์ได้ดี ดังนั้นจึงมีนักวิทยาศาสตร์ให้ความสนใจศึกษาสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงมากมายทั้งที่ทำการทดสอบในหลอดทดลองและในสัตว์ทดลองซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

นวลศรี และอัญชนา(2545) ศึกษาดัชนีการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันและองค์ประกอบของสารต้านออกซิเดชันในสมุนไพรบางชนิด พบว่ากระเจี๊ยบแดงมีดัชนีการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันเท่ากับ 4.89 และมีองค์ประกอบของแอนติออกซิแดนท์ในกระเจี๊ยบแดง 100 กรัม ดังนี้ เบต้าแคโรทีน 1.91 มิลลิกรัม แซนโทฟิลส์ 1.06 มิลลิกรัม วิตามินซี 18.18 มิลลิกรัม แทนนิน 24.28 มิลลิกรัม และ สารประกอบฟีนอลิค 131.47 มิลลิกรัม จากการทดลองยังพบว่าดัชนีการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของพืชสมุนไพรอาจผันแปรได้เนื่องมาจากแหล่งที่ปลูกสายพันธุ์ ระยะเวลาเก็บเกี่ยว

Wang และคณะ(2002) ศึกษาลักษณะทางเคมีฟิสิกส์คัลของกระเจี๊ยบแดงพบว่าองค์ประกอบหลักของกระเจี๊ยบแดงประกอบด้วย น้ำตาลกลูโคส กรดซัคซินิค และ กรดออกซาลิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คนอกจากนี้ยังพบสารที่มีคุณสมบัติเป็นแอนติออกซิแดนท์ ธรรมชาติในกระเจี๊ยบแดง 100 กรัม คือ วิตามินซี 141.09 มิลลิกรัม เบต้าแคโรทีน 1.88 มิลลิกรัม และ ไลโคปีน 164.34 ไมโครกรัม แอนโทไซยานินซึ่งเป็นรงควัตถุหลักที่พบมากที่สุดในกระเจี๊ยบแดงประกอบด้วย สาร2 ชนิดคือ เดลฟินิดิน -3- แซมบูไบโอไซด์ และ ไซยานิดิน-3- แซมบูไบโอไซด์

Tee และคณะ (2002) ศึกษาสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่สกัดโดยใช้เมทานอลแล้วติดตามประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจากการเกิด diene-conjugated compound ของกรดลิโนลิอิค และ thiobarbituric acid reative substances ในระบบจำลองของกรดลิโนลิอิค โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันกับ บีเอชเอ และวิตามินอี ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสารสกัดกระเจี๊ยบแดงมีประสิทธิภาพ ในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่า บีเอชเอ และวิตามินอี โดยที่ระดับความเข้มข้น 200 ส่วน ในล้านส่วน(ppm) ของสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงแดงสามารถยับยั้งการเกิด diene-conjugated compound ได้มากกว่า85% แสดงว่าสารสกัดกระเจี๊ยบแดงแดงเป็นแหล่งของแอนติออกซิแดนท์ธรรมชาติได้ดี ซึ่งสามารถปกป้องร่างกายจากอนุมูลอิสระและจากปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ ออกซิเดชันได้ โดยสมบัติดังกล่าวอาจมีผลมาจาก วิตามินซี เบต้าแคโรทีน และสารประกอบ ฟีนอลิคโดยเฉพาะแอนโทไซยนินในกระเจี๊ยบแดงแดง

Wong และคณะ(2000) ศึกษาผลของสารฮิบิสคัส แอนโทไซยานิน (Hibiscus anthocyanin , Has)ต่อการทำลาย tert- butyl hydroperoxide (t- BHPเป็นสารที่เมตาบอไลส์เป็นอนุมูลอิสระได้)ซึ่งทำให้เกิด hepatic toxicity ทีในหนูทดลอง และการทำลายอนุมูลอิสระของ 1,1-diphenyl-2-picrylhydrozy (DPPH)ผลการทดลองพบว่าสารฮิบิสคัส แอนโทไซยานินสามารถทำลายอนุมูลอิสระDPPH และลดการเกิด hepatic toxicityที่เกิดจาก t-BHP ได้ภายในเวลา 5วันแสดงว่าแอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดงแดงมีสมบัติทำลายอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในหลอดทดลองและลดการเกิดโรคบางชนิดในสัตว์ทดลองได้ดี

Duh และYen (1997)ศึกษาสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดสมุนไพร3 ชนิด คือ ดอกของ Chrysanthemum morifolium Ramat กลีบดอกของกระเจี๊ยบแดงHibiscus sabdariffa Linn และเมล็ดของ Hordeum vulgare โดยใช้น้ำเป็นตัวสกัด จากการทดลองพบว่าสารสกัดจากสมุนไพรทั้ง 3 ชนิดมีสมบัติปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดลิโนลิอิคในหลอดทดลองของไลโปโซม (liposome) ได้ดีสารสกัดทั้ง3 ยังมีส่วนช่วยปกป้องเซลล์จากการเกิดออกซิเดชันที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิตด้วยโดยทำหน้าที่เป็นสาร reducing agent อนุมูลที่เกิดขึ้นและให้ไฮโดรเจนอะตอมกับอนุมูลอิสระ นอกจากนี้แล้วสารสกัดทั้ง3 ชนิด ยังไม่ก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ในเนื้อ *Samonella typhimurium* TA98 และ TA100

Tseng และคณะ (1997) ศึกษาผลของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงแดงต่อการป้องกันการเกิด oxidative stress ในหนูทดลองและศึกษาสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยแบ่งกระเจี๊ยบแดงที่สกัดด้วยเอทานอล 3 ส่วนคือ ส่วนที่ละลายในคลอโรฟอร์ม เอทิลอะซิเตท และส่วนที่เป็นกาก แล้วทดสอบสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยใช้วิธีการทำลายอนุมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิสระของ1,1-diphenyl-2-picrylhydrozy (DPPH)และสมบัติการยับยั้ง xanthin oxidase ผลของการตรวจสอบพบว่าส่วนที่ละลายในเอทิลอะซิเตทมีสมบัติทำลายอนุมูลอิสระของDPPH ได้ดี ส่วนที่ละลายในครอโรฟอร์มมีสมบัติยับยั้งผลของxanthin oxidaseได้ดี และผลของสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงแดง(ส่วนที่ละลายในครอร์โรฟอร์มและเอเทิลอะซิเตท)มีผลการป้องกันการเกิด oxidative stress ในหนูทดลองได้ นอกจากนี้สมบัติทางด้าน antioxidant bioactivities ของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงแสดงให้เห็นว่าสามารถทำลายtert- butyl hydroperoxide (t- BHP)ในระบบจำลองได้ดีโดยสารชนิดนี้มีผลก่อให้เกิด cytotoxicity และ genotoxicity ในหนูทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

มะเขือเทศพันธุ์ลูกท้อ (ผลสด) ชื่อทางวิทยาศาสตร์ : *Lycopersicon esculentum* Mill. ซื้อที่ตลาดหัวตะเข้ เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

3.2 อุปกรณ์การทดลอง

1. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. เครื่องบดผสม (blender)
3. Spectrophotometer รุ่น 22 บริษัท Labomed Inc. USA
4. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)
5. โถดูดความชื้น (desicator)

3.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. อะซิโตน (acetone)
2. butylated hydroxytoluene (BHT)
3. propyl gallate (PG)
4. วิตามินซี (Vitamin C)

3.4 สารสกัดที่ใช้ในการทดลอง

1. สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง
2. สารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวาน

3.5 วิธีการทดลอง

3.5.1 การเตรียมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงและเปลือกส้มเขียวหวาน

3.5.1.1 การเตรียมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง

นำกระเจี๊ยบแดงแห้งบดละเอียด 25 กรัม มาสกัดด้วย 95 % เอธานอล ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่ โดยนำเข้าเครื่องเขย่าเป็นเวลา 18 ชั่วโมง นำสารสกัดที่ได้ไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 จากนั้นระเหยตัวทำละลายออกโดยระบบสุญญากาศโดยใช้ เครื่อง rotary evaporator ที่อุณหภูมิ 40°ซ

3.5.1.2 การเตรียมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวาน

นำเมล็ดส้มเขียวหวานที่ผ่านการผึ่งแดดจนแห้ง (ความชื้นน้อยกว่า 5%) มาให้ละเอียดโดยใช้เครื่องบด (blender) จากนั้นนำไปสกัดไขมันออกโดยใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์ในเครื่อง Soxhlet ระเหยตัวทำละลายออกก่อนนำไปสกัดด้วยเอธานอล (95%) โดยวิธีรีฟลักซ์เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 80°ซ โดยใช้ปริมาตรของเอธานอล 100 มิลลิลิตรต่อเมล็ดส้มเขียวหวาน 10 กรัม ทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 โดยใช้กรวยบุชเนอร์ จากนั้นระเหยตัวทำละลายออกโดยใช้ เครื่อง rotary evaporator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 การเตรียมเนื้อมะเขือเทศบด

นำผลมะเขือเทศสดพันธุ์ลูกท้อ มาล้างให้สะอาด ผ่าครึ่ง คว้านเอาไส้ออก ผ่าเป็น 4 ชีกต่อ 1 ผล นำไปบดด้วยเครื่องบดผสมที่ความเร็วสูง เป็นเวลา 10 นาที

3.5.3 ผลของการเติมสารแอนติออกซิแดนท์บางชนิดต่อการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างให้ความร้อน

ชั่งตัวอย่างมะเขือเทศบด 200 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 300 มิลลิลิตร จำนวน 4 ใบ เติมสารแอนติออกซิแดนท์ (BHT, PG, วิตามินซี) ที่ระดับความเข้มข้น 0 100 200 300 ppm. ตามลำดับ คนให้เข้ากัน นำไปต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100°ซ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยใช้แท่งแก้วคนสม่ำเสมอ จากนั้นทำให้เย็นทันทีโดยแช่น้ำเย็น นำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณไลโคปีนตามวิธีในข้อ 3.5.5 และปริมาณความชื้นตามวิธี AOAC (1995)

3.5.4 ผลของการเติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงและเปลือกส้มเขียวหวานต่อการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างให้ความร้อน

ชั่งตัวอย่างมะเขือเทศบด 200 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 300 มิลลิลิตร จำนวน 4 ใบ เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงหรือเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับความเข้มข้น 0 200 400 600 ppm. ตามลำดับ คนให้เข้ากัน นำไปต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100°ซ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยใช้แท่งแก้วคนสม่ำเสมอ จากนั้นทำให้เย็นทันทีโดยแช่น้ำเย็น

วิธีวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีน และความชื้นในตัวอย่างเหมือนการทดลองข้อ 3.5.3 ทุกประการ

3.5.5 วิธีวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีน

การวิเคราะห์ไลโคปีนจะใช้วิธีดัดแปลงจากวิธีของ Beerh และ Siddappa (1959) โดยชั่งตัวอย่าง 0.5 กรัม ใส่กรวยแยกขนาด 250 มิลลิลิตร สกัดด้วยอะซิโตนปริมาตร 50 มิลลิลิตร สกัดด้วยอะซิโตนปริมาตร 50 มิลลิลิตร โดยเขย่าเป็นเวลา 10 นาที ทิ้งไว้ให้แยกชั้น ไขเอาส่วนใสของอะซิ-โตน ไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 473 นาโนเมตร วิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ นำไปคำนวณหาปริมาณไลโคปีนโดยใช้ค่า extinction coefficient เท่ากับ 18.6×10^4 ลิตร/โมล/เซนติเมตร และใช้น้ำหนักโมเลกุลของ all-trans ไลโคปีนเท่ากับ 536.85 ดาลตัน

96465

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิจารณ์

4.1 ผลของการเติมสารแอนติออกซิแดนท์บางชนิดต่อการสูญเสียไลโคปีนในตัวอย่างเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อน

จากการทดลองเติมสารแอนติออกซิแดนท์ 3 ชนิด คือ BHT, PG และวิตามินซี ในเนื้อมะเขือเทศบดที่ระดับความเข้มข้นต่างกันคือ 0 , 100 , 200 และ300 ppm. ให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ซึ่งอุณหภูมิของเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการต้มที่วัดได้ 95°ซ เมื่อทำให้เย็นแล้วนำไปวิเคราะห์ เมื่อทำให้เย็นแล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณไลโคปีนในตัวอย่างทั้งหมด ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.1 , 4.2 และ 4.3

ตารางที่ 4.1 ปริมาณไลโคปีนในตัวอย่างเนื้อมะเขือเทศบดที่เติมสาร BHT ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน เมื่อผ่านการให้ความร้อนโดยการต้ม 3 ชั่วโมง

เวลาในการต้ม (ชั่วโมง)	ปริมาณไลโคปีนในตัวอย่างมะเขือเทศบดที่เติม BHTที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน (มิลลิกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง)			
	0 ppm	100 ppm	200 ppm	300 ppm
0	276.8 ± 4.8	252.7 ± 9.5	252.2 ± 20.2	252.8 ± 7.4
3	176.0 ± 22.6	193.8 ± 9.6	203.1 ± 24.1	235.2 ± 1.8

ตารางที่ 4.2 ปริมาณไลโคปีนในตัวอย่างเนื้อมะเขือเทศบดที่เติมสาร PG ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน เมื่อผ่านการให้ความร้อนโดยการต้ม 3 ชั่วโมง

เวลาในการต้ม (ชั่วโมง)	ปริมาณไลโคปีนในตัวอย่างมะเขือเทศบดที่เติม PG ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน (มิลลิกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง)			
	0 ppm	100 ppm	200 ppm	300 ppm
0	252.7 ± 9.5	243.3 ± 4.2	234.4 ± 3.6	215.5 ± 8.9
3	215.3 ± 1.4	224.6 ± 1.8	214.3 ± 1.7	206.2 ± 5.4

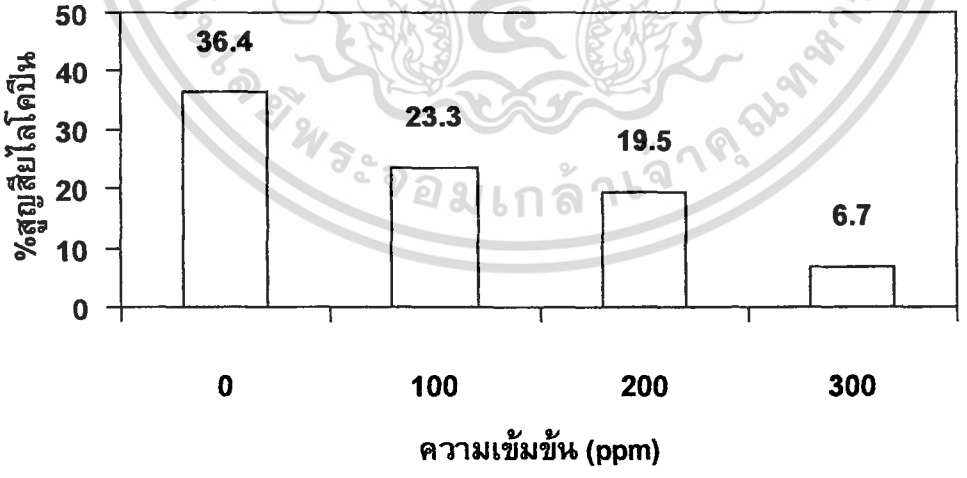
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ปริมาณไลโคปีนในตัวอย่างมะเขือเทศบดที่เติมวิตามินซี ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน เมื่อผ่านการให้ความร้อนโดยการต้ม 3 ชั่วโมง

เวลาในการต้ม (ชั่วโมง)	ปริมาณไลโคปีนในตัวอย่างมะเขือเทศบดที่เติมวิตามินซี ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน (มิลลิกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง)			
	0 ppm	100 ppm	200 ppm	300 ppm
0	305.6 ± 3.0	294.7 ± 5.4	295.0 ± 0.9	294.6 ± 0.6
3	159.8 ± 1.5	203.5 ± 1.7	236.9 ± 2.8	267.3 ± 2.6

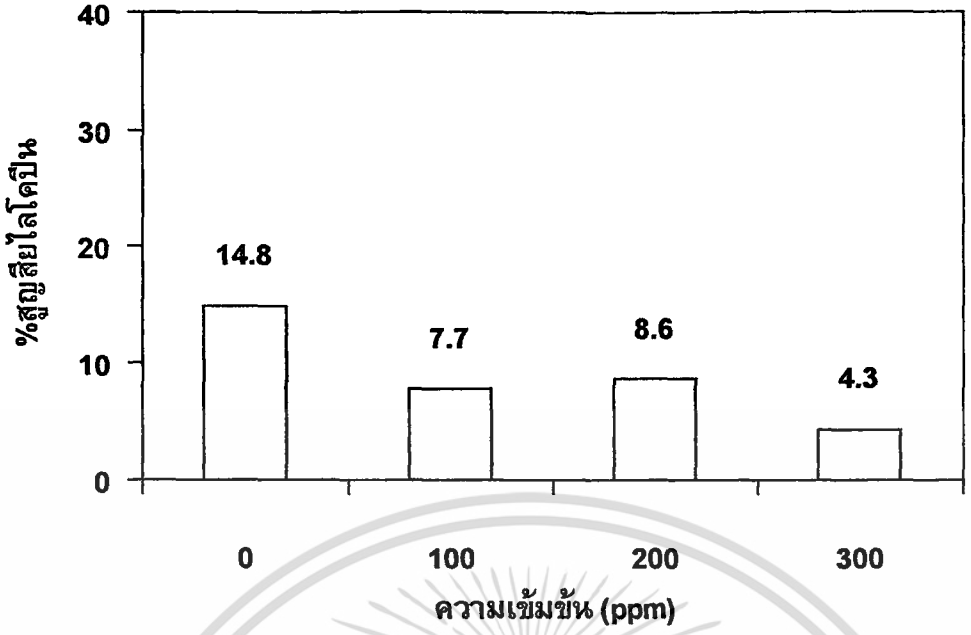
จากการทดลองในตารางที่ 4.1 , 4.2 และ 4.3 จะเห็นได้ว่าตัวอย่างมะเขือเทศบดที่ไม่ได้เติมสารแอนติออกซิแดนท์ใด ๆ (ตัวอย่างควบคุม) เมื่อผ่านการต้มเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จะมีปริมาณไลโคปีนลดลงจากเริ่มต้นอย่างเห็นได้ชัด และเมื่อมีการเติมสารแอนติออกซิแดนท์ทั้ง 3 ชนิด คือ BHT, PG และวิตามินซี ปริมาณไลโคปีนในตัวอย่างเนื้อมะเขือเทศบดหลังจากต้ม 3 ชั่วโมง จะลดลงจากเริ่มต้นน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม แสดงให้เห็นว่าสารแอนติออกซิแดนท์ทั้ง 3 ชนิด มีสมบัติในการป้องกันการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนได้

การเปรียบเทียบความสามารถในการป้องกันการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดของสารแอนติออกซิแดนท์ทั้ง 3 ชนิด มีความชัดเจนยิ่งขึ้น เมื่อคำนวณเปอร์เซ็นต์การสูญเสียไลโคปีนในตัวอย่างเนื้อมะเขือเทศบดที่ผ่านการต้ม 3 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับปริมาณไลโคปีนเริ่มต้นซึ่งผลของการเปรียบเทียบแสดงดังกราฟในรูปที่ 4.1, 4.2 และ 4.3

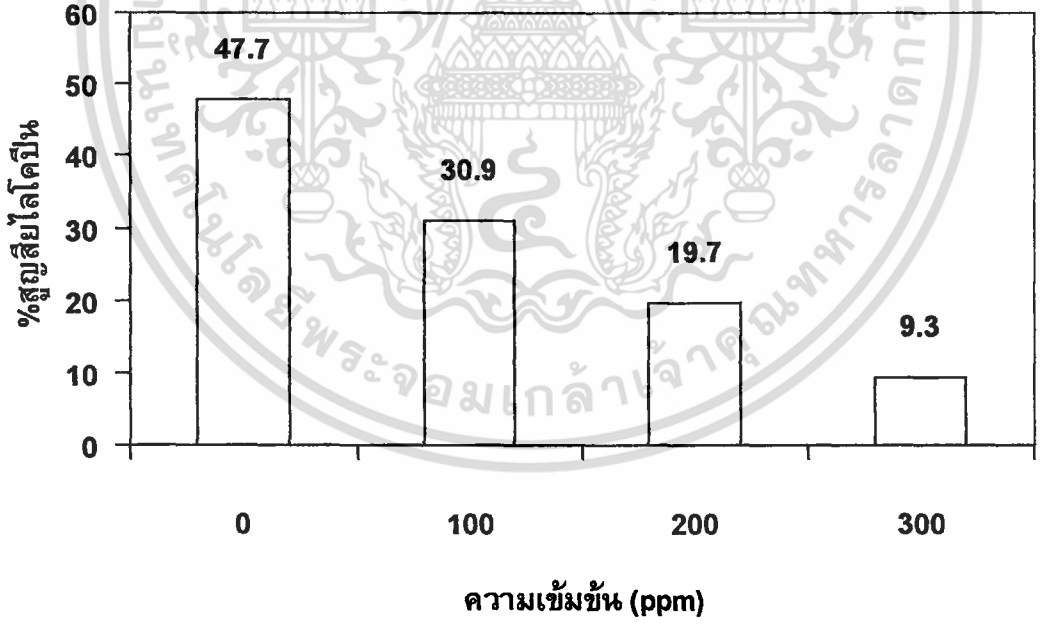


รูปที่ 4.1 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียไลโคปีนในตัวอย่างเนื้อมะเขือเทศบดที่เติม BHT ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน เมื่อผ่านการให้ความร้อนโดยการต้ม 3 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียไลโคปีนในตัวอย่างเนื้อมะเขือเทศบดที่เติม PG ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน เมื่อผ่านการให้ความร้อนโดยการต้ม 3 ชั่วโมง



รูปที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียไลโคปีนในตัวอย่างเนื้อมะเขือเทศบดที่เติมวิตามินซี ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน เมื่อผ่านการให้ความร้อนโดยการต้ม 3 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า ในตัวอย่างเนื้อมะเขือเทศบดที่ไม่มีการเติมสาร BHT จะมีปริมาณไลโคปีนลดลง 36.4 % หลังจากต้ม 3 ชั่วโมง และเมื่อมีการเติมสาร BHT ในตัวอย่างเนื้อมะเขือเทศบดในระดับความเข้มข้นที่ 100, 200 และ 300 ppm. พบว่า การสูญเสียไลโคปีนจะมีค่าเท่ากับ 23.3, 19.5 และ 6.7 % ตามลำดับ ผลการทดลองดังกล่าว แสดงให้เห็นว่า BHT เป็นสารแอนติออกซิแดนท์ที่มีประสิทธิภาพดีในการป้องกันการเกิดออกซิเดชันไลโคปีนในระหว่างการให้ความร้อน ทำให้การสูญเสียไลโคปีนมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม

เมื่อพิจารณากราฟรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าการสูญเสียไลโคปีนในตัวอย่างควบคุมเท่ากับ 14.8 % แต่เมื่อเติม PG ที่ระดับความเข้มข้นที่ 100, 200 และ 300 ppm.การสูญเสียไลโคปีนในตัวอย่างเนื้อมะเขือเทศบดหลังจากต้ม 3 ชั่วโมงมีค่าเท่ากับ 7.7, 8.6 และ 4.3 % ตามลำดับ ในทำนองเดียวกัน กราฟในรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นชัดเจนว่าวิตามินซีสามารถป้องกันการสูญเสียไลโคปีนในระหว่างการให้ความร้อนเนื้อมะเขือเทศบดได้ดี โดยตัวอย่างควบคุมที่ไม่มีการเติมวิตามินซี สามารถป้องกันการสูญเสียไลโคปีนเป็น 47.7 % และเมื่อเติมวิตามินซีที่ระดับความเข้มข้น 100, 200 และ 300 ppm. การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดคิดเป็น 30.9, 19.7 และ 9.3 % ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการป้องกันการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนของสารแอนติออกซิแดนท์ทั้ง 3 ชนิด จะเห็นได้ว่า BHT และ วิตามินซี มีประสิทธิภาพสูงเมื่อเทียบกับ PG

4.2 ผลของการเติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงและสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานต่อการสูญเสียไลโคปีนในตัวอย่างเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อน

จากการทดลองเติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงและสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานในเนื้อมะเขือเทศบดที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน คือ 0, 200, 400 และ 600 ppm. ให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ซึ่งอุณหภูมิของเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการต้มวัดได้ 95°ซ เมื่อทำให้เย็นแล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณไลโคปีนในตัวอย่างทั้งหมด ได้ผลการทดลองดังแดงในตารางที่ 4.4 และ 4.5

ตารางที่ 4.4 ปริมาณไลโคปีนในตัวอย่างมะเขือเทศบดที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน เมื่อผ่านการให้ความร้อนโดยการต้ม 3 ชั่วโมง

เวลาในการต้ม (ชั่วโมง)	ปริมาณไลโคปีนในตัวอย่างมะเขือเทศบดที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน (มิลลิกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง)			
	0 ppm	200 ppm	400 ppm	600 ppm
0	218.2 ± 6.4	195.1 ± 6.8	174.0 ± 1.5	200.2 ± 5.6
3	149.6 ± 1.2	152.8 ± 1.8	131.6 ± 2.6	145.8 ± 1.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร

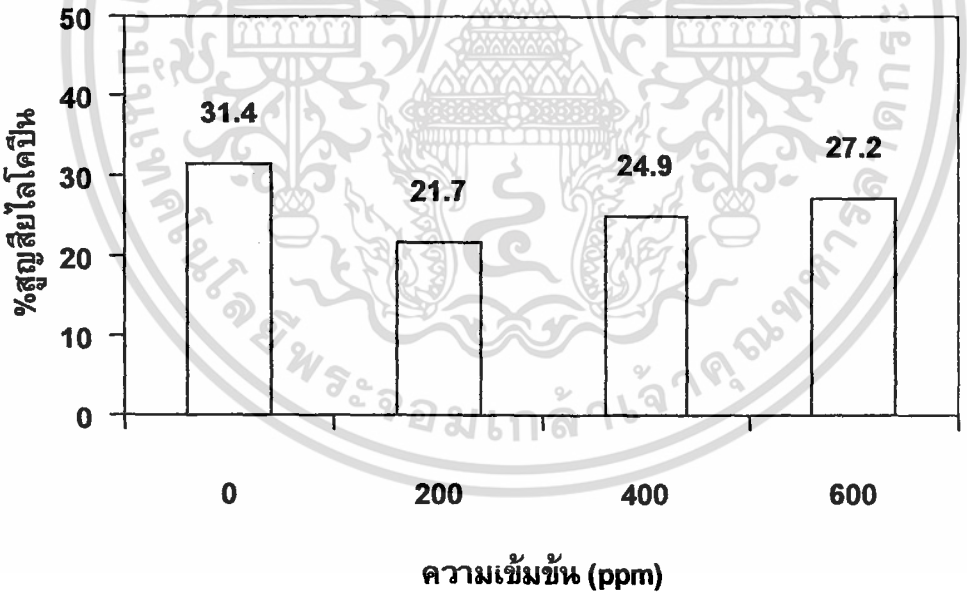
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง

ตารางที่ 4.5 ปริมาณไลโคปีนในตัวอย่างมะเขือเทศบดที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวาน ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน เมื่อผ่านการให้ความร้อนโดยการต้ม 3 ชั่วโมง

เวลาในการต้ม (ชั่วโมง)	ปริมาณไลโคปีนในตัวอย่างมะเขือเทศบดที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวาน ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน (มิลลิกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง)			
	0 ppm	200 ppm	400 ppm	600 ppm
0	223.9 ± 2.6	215.4 ± 1.3	215.3 ± 0.7	215.2 ± 1.5
3	169.1 ± 0.9	163.5 ± 2.4	173.5 ± 2.1	151.4 ± 2.8

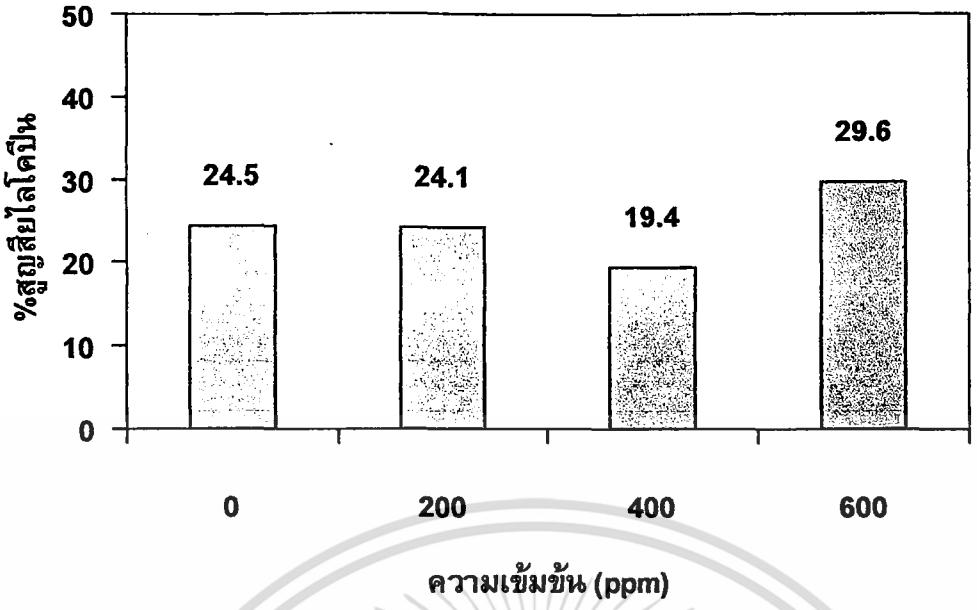
จากการทดลองในตารางที่ 4.4 และ 4.5 จะเห็นได้ว่า ตัวอย่างมะเขือเทศบดที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงแบะเปลือกส้มเขียวหวาน มีปริมาณไลโคปีนลดลงใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมที่ได้เติมสารสกัดใด ๆ

อย่างไรก็ตาม เพื่อให้การเปรียบเทียบความสามารถในป้องกันการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดของสารสกัดทั้ง 2 ชนิดมีความชัดเจนยิ่งขึ้น เมื่อคำนวณเปอร์เซ็นต์การสูญเสียไลโคปีนในตัวอย่างเนื้อมะเขือเทศบดที่ผ่านการต้ม 3 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับปริมาณไลโคปีนเริ่มต้นซึ่งผลการเปรียบเทียบแสดงกราฟในรูปที่ 4.4 และ 4.5



รูปที่ 4.4 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียไลโคปีนในตัวอย่างเนื้อมะเขือเทศบดที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน เมื่อผ่านการให้ความร้อนโดยการต้ม 3 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียไลโคปีนในตัวอย่างเนื้อมะเขือเทศบดที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวาน ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน เมื่อผ่านการให้ความร้อนโดยการต้ม 3 ชั่วโมง

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นว่าในตัวอย่างเนื้อมะเขือเทศบดที่ไม่มีการเติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง จะมีปริมาณไลโคปีนลดลง 31.4 % หลังจากต้ม 3 ชั่วโมง และเมื่อมีการเติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง ในตัวอย่างเนื้อมะเขือเทศบดในระดับความเข้มข้น 200, 400 และ 600 ppm. พบว่า การสูญเสียไลโคปีนจะมีค่าเท่ากับ 21.7, 24.9 และ 27.2 % ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงมีแนวโน้มในการป้องกันการสูญเสียไลโคปีนที่ระดับความเข้มข้นที่ต่ำเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม แต่ที่ระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้นสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงมีสมบัติช่วยเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในระหว่างการให้ความร้อนเนื้อมะเขือเทศบด ทำให้มีแนวโน้มในการสูญเสียไลโคปีนที่สูงขึ้น

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าตัวอย่างมะเขือเทศบดที่ไม่มีการเติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานจะมีปริมาณไลโคปีนลดลง 24.5 % แต่เมื่อเติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับความเข้มข้นที่ 200 400 และ 600 ppm. การสูญเสียไลโคปีนในตัวอย่างเนื้อมะเขือเทศบดหลังจากต้ม 3 ชั่วโมงมีค่าเท่ากับ 24.1, 19.4 และ 29.6 % ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานไม่สามารถป้องกันการสูญเสียไลโคปีนในตัวอย่างเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาผลของการเติมแอนติออกซิแดนท์สังเคราะห์ BHT PG และวิตามินซี ที่ระดับความเข้มข้น 100 – 300 ppm. และสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงและสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวาน ที่ระดับความเข้มข้นที่ 200 – 600 ppm. ต่อการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนโดยการต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 3 ชั่วโมง สรุปได้ว่า BHT, PG และ วิตามินซี มีผลในการป้องกันการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดได้ดี ในขณะที่สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงมีผลในการลดการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดได้เล็กน้อย อย่างไรก็ตามที่ระดับเข้มข้นมากขึ้นสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงจะแสดงสมบัติในการเป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (prooxidant) จึงทำให้เกิดการสูญเสียไลโคปีนในปริมาณที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับที่มีความเข้มข้นต่ำ สำหรับสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับความเข้มข้นที่ศึกษาไม่มีผลในการป้องกันการสูญเสียไลโคปีนในมะเขือเทศบด เมื่อผ่านการให้ความร้อนโดยการต้มเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียไลโคปีนในตัวอย่างควบคุมที่ไม่มีการเติมตัวอย่างสารใด ๆ มีค่าไม่คงที่ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในการให้ความร้อนโดยการต้มตัวอย่างมะเขือเทศบดแต่ละครั้งการทดลองไม่สามารถควบคุมสภาวะการต้มให้คงที่เหมือน ๆ กันทุกการทดลองได้ การปรับปรุงสภาวะการต้มให้สามารถควบคุมให้เหมือนกันทุกการทดลองจะทำให้ได้ผลการทดลองที่ดีกว่านี้

สำหรับสมบัติการเป็นโปรออกซิแดนท์ของสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงนั้น น่าจะมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป นอกจากนี้ผลของสารเจือปนอื่น ๆ เช่น กรด , น้ำตาล , เกลือ , ไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) ต่อการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนก็เป็นหัวข้อที่น่าสนใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2545. เคมีอาหาร. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์. 504.

นวลศรี รักอริยะธรรม และอัญชนา เจนวิถีธรรม. 2545. *แอนติออกซิแดนท์ สารต้านมะเร็งในผัก-สมุนไพรไทย*. เชียงใหม่ : นพบุรีการพิมพ์

ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม. 2545. การเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและศักยภาพการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเมล็ดพืชตระกูลส้มสายพันธุ์ต่าง ๆ ที่ปลูกในประเทศไทย. อาหาร. 32 : 300 – 307.

ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม. 2546. ผลของกรรมวิธีแปรรูปต่อการสูญเสียปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศ. อาหาร. 33 : 111 – 118.

สันติ ทิพยางค์. 2535. สารกันหืนสำหรับอาหาร. อาหาร. 22 : 1 – 7.

AOAC. *Offcial Method of analysis*. 1995. 16th ed. The association of analysis chemists, Arlington, Virginia.

Arab, L. and Steck, S. 2000. Lycopene and Cardiovascular Disease. *Am. J. Clin. Nurt.* 71 : 1691S - 1695S.

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.

Bocco, A., Cuvelier, M.E., Richard, H. and Berset, C. 1998. Antioxidant activity and phenolic composition of citrus peel and seed extract. *J. Agric.Food Chem.* 46(6): 2123-2129.

Bramley, P.M. 2000. Is Lycopene Beneficial to Human Health?. *Phytochem.* 54 : 233 – 236.

Burton, G.W. and Ingold, K.U. 1984. "β-carotene:an unusual type of lipid antioxidant." *Science*. 224 : 569-573.

Conn, P.F., Schalch, W. and Truscott, T.G. 1991. The Singlet Oxygen and Carotenoid Interaction. *J. Photochem. Photobiol. B. Biol.* 11 : 41 – 47.

Dewanto, V., Xianzhong W. U., Kafui K. A. and Rui, H. L., 2002. Thermal processing enhances the nutrition value of tomato by increasing total antioxidant activity. *J. Agric. Food. Chem.* 50 : 3010-3014.

Di Mascio, P., Kaiser, S. and Sie, H. 1989. Lycopene as the Most Efficient Biological Carotenoid Siglet Oxygen Quencher. *Arch. Biochem. Biophys.* 274 : 532 – 538.

Duh, P.D. and Yen, G.H. 1997. Antioxidant activity of three herbal water extract. *Food Chem.* 60 : 639 – 645.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Foote, C.S. and Denny, R.W. 1968. "Chemistry of singlet oxygen. VII. Quenching by β-carotene." *J. Am. Chem. Soc.* 90 : 6233-6235.

Franoeschi, 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.

Gould, W.V. 1992. *Tomato Production, Processing, and Technology*. Baltimore : CTI Publications.

Gorinstein, S., Martin-Belloso, O., Park, Y.S. Haruenkit, R., Lojek, A., Ciz, M., Caspi, A., Libman, I. and Tralchtenberg, S. 2001. Comparision of some biochemical characteristic of different citrus fruit. *Food Chem.* 74(2): 609-315

Gross, J. 1987. *Pigment in Fruits*. London : Academic Press.

Jamilah,B.,Che-Man, Y.B. and Ching, T.L. 1998. Antioxidant activity of *Citrus hystrix* peel extract in RBD palm olein during frying of fish crackers. *J . Food lipids* .5 :149-157.

Krinsky, N.I., Russett, M.D., Handeman, G.J. and Snodderly, D.M. 1990. "Structural and germetrical isomers of carotenoids in human plasma." *J. Nutr.* 120 : 1654-1662.

Lavelli, V. and Giovanelli, G. 2003. Evalution of heat and oxidative damage during storage of processed tomato product. *J. Sci. Food. Agric.* 83 : 966-971.

Levy, J., Bisin, E., Feldman, B., Giant, Y., Minster, A., Danilenko, M. and Sharoni, Y. 1995. Lycopene is a More Potent Inhibitor of Human Cancer Cell Proliferation than Either α-carotein or β-carotein. *Nurt. Cancer.* 24 : 257 – 266.

Mangel, A.R., Holden, J.M., Beecher, G.R., Forman, M. and Lanza, E. 1993. "Carotenoid content of fruits and vegetables : An evalution of analytical data." *J. AM., Dietel. Assn.* 93 : 284-296.

Monselise, J.J. and Berk, Z. 1954."Some observations on the oxidative destruction of lycopene during the manufacture of tomato pure. *Bull. Res. Counc. Israel. 4* 188-191.

Nguyen , M. and Schwartz , S. 1998. Lycopene Stability During Food processing. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 218 : 101-105.

Nguyen, M.L. and Schwartz, S.J. 1999. Lycopene : Chemical and Biological Properties. *Food Tech.* 53(2) : 38 - 45.

Schierle, J., Bretze, W., Buhler, I., Faccin, Hess, D., Steiner, K. and Schuep, W. 1996."Content and isomeric ratio of lycopene in food and human blood pladma."*Food Chem.* 59(3) : 459-465.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Shi, J., Le Mager, M. 2000. Lycopene in Tomatoes : Chemical and Physical Properties Affected by Food Processing. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 40 : 1 - 42.

Shi, J., Le Mager, M., Kakuda, Y. and Liptay, A. 1999. Lycopene degradation and isomerrization in tomato dehydration. *Food. Res.Intl.* 32 : 15-21.

Tee, P.L., Yusof, S. and Mohamed. 2002. Antioxidant properties of roselle (Hibiscus sabdariffa L.) in linolic acid model system. *Nutr. Food Sci.* 32(1): 17-20.

Tseng, T.H., Kao, E.S., Chu, C.Y., Chou, F.P., Lin Wu, H.W. and Wang, C.J. 1997. Protective effects of dried flower extracts of (Hibiscus Sabdariffa L.) against oxidative stress in rat primary hepatocytes. *Food and Chem Toxicol.* 35(12): 1159-1164.

USDA. 1998. "USDA-NCI carotenoid database for U.S. food."*Nutrient Data Lab., Agric. Res. Service.* U.S. Dept. of agriculture, Beitsville Human Nutrition Rasearch Center, Riverdate, Md.

Wang, C.J., Wang, J.M., Lin, W.L., Chu, C.Y., Chou, F.P. and Tseng, T.H. 2000. Protective effect of Hibiscus anthocyanins against ter-butyl hydroperoxide induced hepatic toxicity in rats. *Food and Chem Toxicol.* 38(6): 411-416.

Wayne, W.F. and Angela R. D. 2003. The effect of frozen storage condition on lycopene stability in watermelon tissue. *J. Agric. Food. Chem.* 51 : 3582-3585.

Wong, P.K., Yusof, S., Ghazali, H.M. and Che Man, Y.B. 2002. Physico-chemical characteristics of roselle(Hibiscus Sabdariffa L.). *Nutr. Food Sci.* 32(3): 68-73.

Woodall, A.A., Lee, S.W.M., Weesie, R.J., Jackson, M.J. and Britton, G. 1997. Oxidation of Carotenoids by Free Radicals : Relationship between Structure and Reativity. *Biochem. Biophys. Acta.* 1336 : 33 – 42.

Zumbrunn, A., Uebeihart, P. and Eugter, C.H. 1985. "HPLC of carotenes with y-end groups and (Z)-configuration at terminal conjugate double bonds,isolation of (5Z)-lycopene from tomatoes." *Helv. Chim. Acta.* 68 : 1540-1542.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.
ผลการวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีน

ก.1 การวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีน

ทำการสกัดไลโคปีนในตัวอย่างมะเขือเทศที่เติมสารแอนติออกซิแดนท์ สารสกัดจากเปลือกส้มและกระเจี๊ยบแดง นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่ 473 นาโนเมตร แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณไลโคปีน โดยมีวิธีการคำนวณดังต่อไปนี้

ทฤษฎีของ Beer's law

$$A = abc$$

โดย

A = ค่าดูดกลืนแสง

a = ค่า molecular extinction coefficient

b = ความกว้างของคิวเวต (ซม.)

c = ความเข้มข้น (โมล/ลิตร)

จากค่า molecular extinction coefficient (E) ของค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 473 นาโนเมตร มีค่าเท่ากับ 18.6×10^4 ลิตร/โมล.ซม. มีค่ามวลโมเลกุลเท่ากับ 536.85

แทนค่า

$$\text{ความเข้มข้นของไลโคปีน} = \frac{\text{ค่าดูดกลืนแสงที่ 473 นาโนเมตร} \times 1 \text{ โมลาร์} \times 1 \text{ ซม.}}{18.6 \times 10^4 \times 1 \text{ ลิตร} \times 1 \text{ ซม.}}$$

สมมติ ให้ปริมาณไลโคปีนทั้งหมด = a โมล/ลิตร

เนื่องจาก ในการทดลองใช้ตัวอย่าง 0.5 กรัมตัวอย่าง ในสารละลายอะซิโตน 50 มิลลิลิตร นั่นคือ

ในสารละลายอะซิโตน 1000 มิลลิลิตร มีไลโคปีนทั้งหมด a ลิตร

ถ้าในสารละลายอะซิโตน 50 มิลลิลิตร มีไลโคปีนทั้งหมด $\frac{a \text{ โมล} \times 50}{1000}$

= b โมล/0.5 กรัม

ที่ไลโคปีน 1 โมล มีน้ำหนักเป็น 536.85 กรัม

ถ้าไลโคปีน b โมล มีน้ำหนักเป็น $\frac{b \text{ โมล} \times 536.85 \text{ กรัม}}{1 \text{ โมล}}$ = c กรัม/0.5 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจาก ในการทดลองใช้ตัวอย่าง 0.5 กรัมตัวอย่าง แต่ในการหาความชื้นใช้ 1 กรัม
ตัวอย่าง ให้คิดเป็น 1 กรัม
ที่ตัวอย่างมะเขือเทศ 0.5 กรัม มีปริมาณไลโคปีนทั้งหมด c กรัม
ถ้าตัวอย่างมะเขือเทศ 1 กรัม มีปริมาณไลโคปีนทั้งหมด $\frac{1 \text{ กรัม} \times c \text{ กรัม}}{0.5 \text{ กรัม}}$
$= d$ กรัม

แต่ค่า d ที่ได้เป็นปริมาณไลโคปีนน้ำหนักเปียก เพื่อให้ได้ค่าที่แน่นอนจึงนิยมวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนของน้ำหนักแห้ง ดังนั้นจึงมีค่าความชื้นเข้ามาเกี่ยวข้อง กล่าวคือ ถ้าในตัวอย่างมีปริมาณความชื้น X เปอร์เซ็นต์ แสดงว่า ในตัวอย่าง 100 กรัม มีของแข็งอยู่ 100 – X = e เปอร์เซ็นต์

นั่นคือ ในมะเขือเทศ 100 กรัม มีไลโคปีน e กรัม
ในมะเขือเทศ 1 กรัม มีไลโคปีน $\frac{e \times 1}{100} = f$ กรัม
ในมะเขือเทศ 1 กรัมตัวอย่าง มีไลโคปีน $\frac{d}{F} =$ *** กรัม / กรัมน้ำหนักแห้ง

ดังนั้น ในตัวอย่างมะเขือเทศ 1 กรัมตัวอย่าง มีไลโคปีน *** กรัม / กรัมน้ำหนักแห้ง

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างมะเขือเทศที่เติมสาร BHT ที่ความเข้มข้น 0 ppm โดยใช้ความร้อนโดยการต้ม 3 ชั่วโมง วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 473 นาโนเมตร ได้ 0.237 และมีความชื้นคิดเป็น 94.96 เปอร์เซ็นต์ มี dilution factor เท่ากับ 2

$$\text{ปริมาณไลโคปีนทั้งหมด} = \frac{0.237 \times 1 \text{ โมลาร์} \times 1 \text{ ซม.}}{18.6 \times 10^{4} \text{ ลิตร / โมล.ซม.}}$$
$$= 1.274 \times 10^{-6} \text{ โมล/ลิตร}$$

เนื่องจาก มีค่า dilution factor เท่ากับ 2 ดังนั้นปริมาณไลโคปีนทั้งหมดเท่ากับ 2.548×10^{-6} โมล/ลิตร

เนื่องจาก ในการทดลองใช้ตัวอย่าง 0.5 กรัมตัวอย่าง ในสารละลายอะซิโตน 50 มิลลิลิตร นั่นคือ
ในสารละลายอะซิโตน 1000 มิลลิลิตร มีไลโคปีนทั้งหมด 2.548×10^{-6} โมล
ถ้าในสารละลายอะซิโตน 50 มิลลิลิตร มีไลโคปีนทั้งหมด $\frac{2.548 \times 10^{-6} \text{ โมล} \times 50}{1000}$
$= 1.274 \times 10^{-7}$ โมล/0.5 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ไลโคปีน 1 โมล มีน้ำหนักเป็น 536.85 กรัม

ถ้าไลโคปีน 1.274×10^{-7} โมล มีน้ำหนักเป็น $\frac{1.274 \times 10^{-7} \text{ โมล} \times 536.85 \text{ กรัม}}{1 \text{ โมล}}$

$= 6.839 \times 10^{-5}$ กรัม/0.5 กรัม

เนื่องจาก ในการทดลองใช้ตัวอย่าง 0.5 กรัมตัวอย่าง แต่ในการหาความชื้นใช้ 1 กรัม

ตัวอย่าง ให้คิดเป็น 1 กรัม

ที่ตัวอย่างมะเขือเทศ 0.5 กรัม มีปริมาณไลโคปีนทั้งหมด 6.839×10^{-5} กรัม

ถ้าตัวอย่างมะเขือเทศ 1 กรัม มีปริมาณไลโคปีนทั้งหมด $\frac{1 \text{ กรัม} \times 6.839 \times 10^{-5} \text{ กรัม}}{0.5 \text{ กรัม}}$

$= 1.37 \times 10^{-4}$ กรัม

แต่ค่า 1.37×10^{-4} กรัม ที่ได้เป็นปริมาณไลโคปีนน้ำหนักเปียก เพื่อให้ได้ค่าที่แน่นอนจึงนิยมวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนของน้ำหนักแห้ง ดังนั้นจึงมีค่าความชื้นเข้ามาเกี่ยวข้อง กล่าวคือ ถ้าในตัวอย่างมีปริมาณความชื้น 95.06 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่า ในตัวอย่าง 100 กรัม มีของแข็งอยู่ 100 – 94.96 = 5.04 เปอร์เซ็นต์

นั่นคือ ในมะเขือเทศ 100 กรัม มีไลโคปีน 5.04 กรัม

ในมะเขือเทศ 1 กรัม มีไลโคปีน $\frac{5.04 \times 1}{100} = 0.0504$ กรัม

ในมะเขือเทศ 1 กรัมตัวอย่าง มีไลโคปีน $\frac{1.37 \times 10^{-4}}{0.0504}$

$= 0.0027157$ กรัม / กรัมน้ำหนักแห้ง

$= 271.57$ มิลลิกรัม / 100 กรัมน้ำหนักแห้ง

ดังนั้นในตัวอย่างมะเขือเทศ 1 กรัมตัวอย่าง มีไลโคปีน 271.57 มิลลิกรัม / 100 กรัมน้ำหนักแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ค่าดูดกลืนแสงและปริมาณไลโคปีนตัวอย่างมะเขือเทศบดที่เติม BHT ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน เมื่อผ่านการให้ความร้อนโดยการต้ม 3 ชั่วโมง

ระดับความเข้มข้นของ BHT	ครั้งที่	0 ชั่วโมง		3ชั่วโมง	
		ค่าดูดกลืนแสง	ปริมาณไลโคปีน (กรัม /100 กรัมน้ำหนักแห้ง)	ค่าดูดกลืนแสง	ปริมาณไลโคปีน (กรัม /100 กรัมน้ำหนักแห้ง)
0 ppm.	1	0.237	271.57	0.257	150.10
	2	0.237	277.72	0.252	186.17
	3	0.236	281.14	0.254	191.65
	เฉลี่ย	0.237	276.81	0.254	175.97
100 ppm.	1	0.225	263.30	0.336	182.99
	2	0.230	245.03	0.294	201.48
	3	0.225	249.68	0.297	196.95
	เฉลี่ย	0.227	252.67	0.309	193.81
200 ppm.	1	0.224	258.71	0.312	175.28
	2	0.225	268.27	0.311	215.14
	3	0.224	229.51	0.315	218.79
	เฉลี่ย	0.224	252.16	0.313	203.07
300 ppm.	1	0.234	259.90	0.355	237.04
	2	0.235	253.49	0.359	235.09
	3	0.234	245.09	0.357	233.41
	เฉลี่ย	0.234	252.83	0.357	235.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ค่าดูดกลืนแสงและปริมาณไลโคปีนตัวอย่างมะเขือเทศบดที่เติม PG ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน เมื่อผ่านการให้ความร้อนโดยการต้ม 3 ชั่วโมง

ระดับความเข้มข้น PG	ครั้งที่	0 ชั่วโมง		3ชั่วโมง	
		ค่าดูดกลืนแสง	ปริมาณไลโคปีน (กรัม /100 กรัมน้ำหนักแห้ง)	ค่าดูดกลืนแสง	ปริมาณไลโคปีน (กรัม /100 กรัมน้ำหนักแห้ง)
0 ppm.	1	0.225	263.30	0.435	214.33
	2	0.230	245.03	0.436	216.92
	3	0.225	249.68	0.434	214.77
	เฉลี่ย	0.227	252.67	0.436	215.34
100 ppm.	1	0.209	239.48	0.336	226.61
	2	0.207	242.57	0.332	223.62
	3	0.208	247.78	0.333	223.51
	เฉลี่ย	0.208	243.28	0.334	224.58
200 ppm.	1	0.217	232.44	0.278	212.41
	2	0.218	238.61	0.270	215.43
	3	0.218	232.22	0.273	215.12
	เฉลี่ย	0.218	234.42	0.274	214.32
300 ppm.	1	0.203	225.47	0.314	203.60
	2	0.197	212.50	0.313	212.32
	3	0.199	208.43	0.316	202.56
	เฉลี่ย	0.200	215.47	0.314	206.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ค่าดูดกลืนแสงและปริมาณไลโคปีนตัวอย่างมะเขือเทศบดที่เติมวิตามินซี ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน เมื่อผ่านการให้ความร้อนโดยการต้ม 3 ชั่วโมง

ระดับความเข้มข้นวิตามินซี	ครั้งที่	0 ชั่วโมง		3ชั่วโมง	
		ค่าดูดกลืนแสง	ปริมาณไลโคปีน (กรัม /100 กรัมน้ำหนักแห้ง)	ค่าดูดกลืนแสง	ปริมาณไลโคปีน (กรัม /100 กรัมน้ำหนักแห้ง)
0 ppm.	1	0.494	303.70	0.577	161.30
	2	0.489	309.09	0.570	158.23
	3	0.489	304.07	0.575	159.78
	เฉลี่ย	0.491	305.62	0.574	159.77
100 ppm.	1	0.381	229.89	0.469	203.73
	2	0.380	289.08	0.469	205.08
	3	0.379	295.18	0.477	201.69
	เฉลี่ย	0.380	294.72	0.472	203.50
200 ppm.	1	0.374	295.09	0.761	239.62
	2	0.376	293.98	0.765	234.12
	3	0.374	295.81	0.762	236.95
	เฉลี่ย	0.375	294.96	0.763	236.90
300 ppm.	1	0.348	294.05	0.838	264.35
	2	0.350	294.58	0.840	269.32
	3	0.348	295.28	0.846	268.22
	เฉลี่ย	0.349	294.64	0.841	267.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ค่าดูดกลืนแสงและปริมาณไลโคปีนตัวอย่างมะเขือเทศบดที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน เมื่อผ่านการให้ความร้อนโดยการต้ม 3 ชั่วโมง

ระดับความเข้มข้นสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง	ครั้งที่	0 ชั่วโมง		3ชั่วโมง	
		ค่าดูดกลืนแสง	ปริมาณไลโคปีน (กรัม /100 กรัมน้ำหนักแห้ง)	ค่าดูดกลืนแสง	ปริมาณไลโคปีน (กรัม /100 กรัมน้ำหนักแห้ง)
0 ppm.	1	0.410	224.34	0.433	148.71
	2	0.399	218.67	0.440	150.90
	3	0.405	211.66	0.438	149.04
	เฉลี่ย	0.405	218.22	0.437	149.55
200 ppm.	1	0.429	189.96	0.484	150.81
	2	0.429	192.41	0.481	153.89
	3	0.428	202.85	0.478	153.82
	เฉลี่ย	0.429	195.07	0.481	152.84
400 ppm.	1	0.281	175.41	0.388	131.95
	2	0.287	173.07	0.384	127.64
	3	0.288	172.70	0.386	132.22
	เฉลี่ย	0.285	173.73	0.386	130.60
600 ppm.	1	0.392	193.73	0.424	145.47
	2	0.394	202.94	0.424	147.70
	3	0.390	203.88	0.425	144.13
	เฉลี่ย	0.392	200.18	0.424	145.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 ค่าดูดกลืนแสงและปริมาณไลโคปีนตัวอย่างมะเขือเทศบดที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวาน ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน เมื่อผ่านการให้ความร้อนโดยการต้ม 3 ชั่วโมง

ระดับความเข้มข้นสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวาน	ครั้งที่	0 ชั่วโมง		3ชั่วโมง	
		ค่าดูดกลืนแสง	ปริมาณไลโคปีน (กรัม /100 กรัมน้ำหนักแห้ง)	ค่าดูดกลืนแสง	ปริมาณไลโคปีน (กรัม /100 กรัมน้ำหนักแห้ง)
0 ppm.	1	0.398	226.42	0.530	168.12
	2	0.399	224.16	0.535	169.89
	3	0.400	221.19	0.533	169.09
	เฉลี่ย	0.399	223.93	0.533	169.04
200 ppm.	1	0.418	214.14	0.506	160.75
	2	0.418	216.79	0.507	164.78
	3	0.419	215.20	0.506	164.93
	เฉลี่ย	0.418	215.38	0.506	163.48
400 ppm.	1	0.334	215.06	0.501	172.13
	2	0.330	216.07	0.502	175.94
	3	0.331	214.64	0.501	172.44
	เฉลี่ย	0.332	215.26	0.501	173.51
600 ppm.	1	0.389	216.58	0.430	153.53
	2	0.390	215.21	0.430	152.36
	3	0.390	213.67	0.431	148.20
	เฉลี่ย	0.390	215.15	0.430	151.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ผลของความชื้นและการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

ข.1 การหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

- ชั่ง aluminium can พร้อมฝา ที่สะอาดและผ่านการอบแห้งมาก่อน
- ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ปิดฝาแล้วนำไปชั่งด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- นำเข้าอบในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็น 18 ชั่วโมง
- เมื่อครบเวลาปิดฝา aluminium can นำไปทำให้เย็นใน desicator ก่อนนำไปชั่งน้ำหนักจนได้น้ำหนักคงที่
- คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นจากสูตรดังนี้

$$\text{ปริมาณความชื้นร้อยละ} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 เปอร์เซ็นต์ความชื้นมะเขือเทศบดที่เติม BHT ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน เมื่อผ่านการให้ความร้อนโดยการต้ม 3 ชั่วโมง

ระดับความเข้มข้น BHT	ครั้งที่	0 ชั่วโมง	3ชั่วโมง
		เปอร์เซ็นต์ความชื้น	เปอร์เซ็นต์ความชื้น
0 ppm.	1	94.96	90.12
	2	95.07	92.19
	3	95.15	92.35
	เฉลี่ย	95.06	91.55
100 ppm.	1	95.07	89.40
	2	94.58	91.58
	3	94.80	91.29
	เฉลี่ย	94.82	90.76
200 ppm.	1	95.00	89.72
	2	95.16	91.66
	3	94.37	91.69
	เฉลี่ย	94.84	91.02
300 ppm.	1	94.80	91.35
	2	94.65	91.18
	3	94.49	91.17
	เฉลี่ย	94.65	91.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 เปอร์เซ็นต์ความชื้นมะเขือเทศบดที่เติม PG ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน เมื่อผ่านการให้ความร้อนโดยการต้ม 3 ชั่วโมง

ระดับความเข้มข้น PG	ครั้งที่	0 ชั่วโมง	3ชั่วโมง
		เปอร์เซ็นต์ความชื้น	เปอร์เซ็นต์ความชื้น
0 ppm.	1	95.07	88.28
	2	94.58	88.40
	3	94.80	88.33
	เฉลี่ย	94.82	88.34
100 ppm.	1	94.96	91.44
	2	95.07	91.43
	3	95.15	91.40
	เฉลี่ย	95.06	91.42
200 ppm.	1	94.61	92.44
	2	94.73	92.77
	3	94.58	92.67
	เฉลี่ย	94.64	92.63
300 ppm.	1	94.80	91.10
	2	94.65	91.49
	3	94.49	90.99
	เฉลี่ย	94.65	91.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 เปอร์เซ็นต์ความชื้นมะเขือเทศบดที่เติมวิตามินซี ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน เมื่อผ่านการให้ความร้อนโดยการต้ม 3 ชั่วโมง

ระดับความเข้มข้นวิตามินซี	ครั้งที่	0 ชั่วโมง	3ชั่วโมง
		เปอร์เซ็นต์ความชื้น	เปอร์เซ็นต์ความชื้น
0 ppm.	1	95.31	89.68
	2	95.43	89.60
	3	95.36	89.61
	เฉลี่ย	95.37	89.63
100 ppm.	1	96.33	93.36
	2	96.21	93.40
	3	96.29	93.17
	เฉลี่ย	96.28	93.31
200 ppm.	1	96.34	90.83
	2	96.31	90.57
	3	96.35	90.72
	เฉลี่ย	96.33	90.71
300 ppm.	1	96.58	90.85
	2	96.57	91.00
	3	96.60	90.90
	เฉลี่ย	96.58	90.91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 เปอร์เซ็นต์ความชื้นมะเขือเทศบดที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดง ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน เมื่อผ่านการให้ความร้อนโดยการต้ม 3 ชั่วโมง

ระดับความเข้มข้นสารสกัดกระเจี๊ยบแดง	ครั้งที่	0 ชั่วโมง	3ชั่วโมง
		เปอร์เซ็นต์ความชื้น	เปอร์เซ็นต์ความชื้น
0 ppm.	1	94.73	91.60
	2	94.73	91.58
	3	94.48	91.52
	เฉลี่ย	94.65	91.57
200 ppm.	1	93.48	91.74
	2	93.56	90.98
	3	93.91	91.03
	เฉลี่ย	93.65	90.92
400 ppm.	1	95.38	91.51
	2	95.21	91.32
	3	95.19	91.57
	เฉลี่ย	95.26	91.47
600 ppm.	1	94.16	91.59
	2	94.40	91.71
	3	94.48	91.49
	เฉลี่ย	94.34	91.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 เปอร์เซ็นต์ความชื้นมะเขือเทศบดที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวาน ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน เมื่อผ่านการให้ความร้อนโดยการต้ม 3 ชั่วโมง

ระดับความเข้มข้นสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวาน	ครั้งที่	0 ชั่วโมง	3ชั่วโมง
		เปอร์เซ็นต์ความชื้น	เปอร์เซ็นต์ความชื้น
0 ppm.	1	94.93	90.90
	2	94.86	90.91
	3	94.78	90.90
	เฉลี่ย	94.86	90.90
200 ppm.	1	94.37	90.91
	2	94.43	91.12
	3	94.38	91.15
	เฉลี่ย	94.39	91.06
400 ppm.	1	95.52	91.60
	2	95.59	91.76
	3	95.55	91.61
	เฉลี่ย	95.55	91.66
600 ppm.	1	94.82	91.92
	2	94.77	91.85
	3	94.73	91.61
	เฉลี่ย	94.77	91.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายปฐมพงศ์ เอื้ออารี เกิดเมื่อวันที่ 2 ตุลาคม พ.ศ. 2524 ที่โรงพยาบาลหัวเฉียว ปัจจุบันอยู่ที่ อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี สำเร็จการศึกษามัธยมต้นและมัธยมปลายจากโรงเรียนสระบุรีวิทยาคม จังหวัดสระบุรี ปีการศึกษา 2542 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต (อุตสาหกรรมเกษตร) ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

นายพิสัณห์ จารุฑีฆัมพร เกิดเมื่อวันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2525 ที่โรงพยาบาลกำแพงเพชร ปัจจุบันอยู่ที่ อำเภอเมือง จังหวัดสุรินทร์ สำเร็จการศึกษามัธยมต้นและมัธยมปลายจากโรงเรียนสุรวิทยาคาร จังหวัดสุรินทร์ ปีการศึกษา 2542 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต (อุตสาหกรรมเกษตร) ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

นายสาธิษฐ กลีบแก้ว เกิดเมื่อวันที่ 7 สิงหาคม พ.ศ. 2524 ที่โรงพยาบาลบ้านโป่ง ปัจจุบันอยู่ที่ อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี สำเร็จการศึกษามัธยมต้นจากโรงเรียนสารสิทธิ์พิทยาลัย อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรีและมัธยมปลายจากโรงเรียนนวมินทราชินูทิศ สวนกุหลาบวิทยาลัยสมุทรปราการ จังหวัดสมุทรปราการ ปีการศึกษา 2542 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต (อุตสาหกรรมเกษตร) ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้