ผลของวัตถุเจือปนอาหารต่อการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อผลมะเขือเทศสดในระหว่างการให้ความร้อน

EFFECT OF FOOD ADDITIVES ON THE LOSS OF LYCOPENE IN TOMATO PULP DURING HEAT TREATMENT

วรพรรณ ศรีเจริญชัยกุล
VORAPHAN SRICHAROENCHAIKUL

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2543

ISBN 974-15-2470-6

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ผลของวัตถุเจือปนอาหารต่อการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อน

EFFECT OF FOOD ADDITIVES ON THE LOSS OF LYCOPENE IN TOMATO PULP DURING HEAT TREATMENT

วรพรรณ ศรีเจริญชัยกุล

VORAPHAN SRICHAROENCHAIKUL

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 63311
วัน,เดือน,ปี 25 ส.ค. 2549

b.....
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2470-6

EFFECT OF FOOD ADDITIVES ON THE LOSS OF LYCOPENE IN TOMATO PULP DURING HEAT TREATMENT

VORAPHAN SRICHAROENCHAIKUL

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
2006

ISBN 974-15-2470-6

COPYRIGHT 2006

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของวัตถุเจือปนอาหารต่อการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือ-เทศบดในระหว่างการให้ความร้อน
นักศึกษา	นางสาววรพรรณ ศรีเจริญชัยกุล
รหัสประจำตัว	45067022
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร. ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม

บทคัดย่อ

สภาวะในการให้ความร้อนเนื้อมะเขือเทศบดโดยวิธีต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสซึ่งใช้ในการทดลองนี้ อุณหภูมิของเนื้อมะเขือเทศบดจะเพิ่มจาก 28 องศาเซลเซียสเป็น 90 องศาเซลเซียสภายในระยะเวลา 25 นาที ด้วยอัตราเร็วเฉลี่ย 2.48 องศาเซลเซียสต่อนาที จากนั้นอุณหภูมิจะคงที่ที่ 90 ถึง 92 อาศาเซลเซียสตลอดระยะเวลา 3 ชั่วโมงของการให้ความร้อน โดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนดังกล่าวไม่แตกต่างกันทั้งในกรณีที่เติมและไม่เติมน้ำตาลซูโครส (10% โดยน้ำหนัก) หรือแป้งข้าวโพด (2% โดยน้ำหนัก) นอกจากนี้ค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดภายใต้สภาวะการให้ความร้อนดังกล่าวมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.82 ชั่วโมง โดยมีค่าครึ่งชีวิตเท่ากับ 0.0029 ต่อนาที

การศึกษาผลของวัตถุเจือปนอาหารต่อการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสและวัดปริมาณไลโคปีนทุกชั่วโมงจนครบเวลา 3 ชั่วโมง โดยศึกษากับวัตถุเจือปนอาหาร 11 ชนิดที่ความเข้มข้นต่างกัน ได้แก่ เกลือโซเดียมคลอไรด์ (0, 1, 2, 3%) น้ำตาลซูโครส (0, 5, 10, 15%) กรดอะซิติก (0, 5, 10, 15%) แซนแทนกัม (0, 0.01, 0.02, 0.03%) แป้งข้าวโพด (0, 1, 2, 3%) แอลฟา-โทโคฟีรอล (0, 0.01, 0.03, 0.05%) บีเอชที (0, 0.01, 0.02, 0.03%) กรดแอสคอร์บิก (0, 0.01, 0.03, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3%) โพลพิลแกลเลต (0, 0.01, 0.02, 0.03%) สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง (0, 0.1, 0.2, 0.3%) และสารสกัดจากเปลือกมะม่วง (0, 0.1, 0.2, 0.3%) พบว่า วัตถุเจือปนอาหารที่มีผลในการเร่งอัตราการสูญเสียไลโคปีน ได้แก่ เกลือโซเดียมคลอไรด์ น้ำตาลซูโครส แซนแทนกัม แป้งข้าวโพด กรดแอสคอร์บิก โพลพิลแกลเลต สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง และสารสกัดจากเปลือกมะม่วง ซึ่งอัตราการสูญเสียไลโคปีนจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของวัตถุเจือปนอาหารที่เติมลงไป โดยน้ำตาลซูโครส เกลือโซเดียมคลอไรด์ และแป้งข้าวโพดเป็นกลุ่มที่มีผลต่อการสูญเสียไลโคปีนในระหว่างการให้ความร้อนเนื้อมะเขือเทศบดมากที่สุด สำหรับวัตถุเจือปนอาหารที่มีผลในการช่วยลดอัตราการสูญเสีย

ไลโคปีน ได้แก่ แอลฟา-โทโคฟีรอล และบีเอชที ในกรณีของกรดอะซิติกมีผลในการช่วยลดอัตรา การสูญเสียไลโคปีนในชั่วโมงแรกของการให้ความร้อน แต่ในชั่วโมงที่ 2 และ 3 จะมีผลในการเร่ง ให้เกิดการสูญเสียไลโคปีนเพิ่มมากขึ้น

Thesis Title	Effect of food additives on the loss of lycopene in tomato pulp during heat treatment.
Student	Miss Voraphan Sricharoenchaikul
Student ID.	45067022
Degree	Master of Science
Programme	Food Science
Year	2006
Thesis Advisor	Assist. Prof. Dr. Praphan Pinsirodom

ABSTRACT

In this experiment, tomato pulp was subjected to heat treatment in boiling water bath at 100°c. The temperature of the tomato pulp increased from 28 °c to 90 °c within 25 min with the average rate of 2.48°c/min. Afterward, the tomato pulp temperature was stable at 90-92°c throughout the three-hour period of heat treatment. The change of tomato pulp temperature during the above condition of heat treatment were observed to be no difference for the samples with or without the addition of sucrose (10% by wt) or corn starch (2% by wt). Loss of lycopene content in tomato pulp was kinetically evaluated under the same heating condution. The rate constant of lycopene degradation was 0.0029 per min with a half life of 3.82 hrs.

Losses of lycopene contents in tomato pulp as affected by various food additives; including sodium chloride (0, 1, 2, 3%), sucrose (0, 5, 10, 15%), acetic acid (0, 5, 10, 15%), xanthan gum (0, 0.01, 0.02, 0.03), corn starch (0, 1, 2, 3%), alpha tocopherol (0, 0.01, 0.03, 0.05%), BHT (0, 0.01, 0.02, 0.03), ascorbic acid (0, 0.01, 0.03, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3%), propyl gallate (0, 0.01, 0.02, 0.03%), roselle extract (0, 0.1, 0.2, 0.3%), and mango peel extract (0, 0.1, 0.2, 0.3%) were investigated every hour during the three-hour period of heating. Sodium chloride, sucrose, xanthan gum, corn starch, ascorbic acid, propyl gallate, roselle extract, and mango peel extract were found to accelerate the losses of lycopene in tomato pulp and the degree of lycopene degradation was greater as the added concentration of these food additives was higher. Among this group of additives, sucrose, sodium chloride, showed the greatest effect on the loss of lycopene content in the tomato pulp. In contrast, alpha- tocopherol and BHT slowed down the rate of lycopene degradation. In case of acetic acid, the reduced rate of lycopene degradation was

observed only in the first hour of heat treatment; while the increased rate of lycopene degradation was found afterward.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เนื่องจากได้รับความกรุณาจาก ผศ. ดร. ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม ที่ได้ให้เกียรติเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา และได้ให้คำแนะนำแนวทาง รวมทั้งข้อคิดเห็นต่าง ๆ แก่ข้าพเจ้าตลอดมา ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ. เยาวลักษณ์ สุรพันธพิศิษฐ์ และ ผศ. ดร. ยุพร พืชกมุทร ที่ช่วยเหลือแก้ไข และให้คำแนะนำงานวิจัยบางส่วนจนสำเร็จได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้แก่ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาของการศึกษา จนกระทั่งข้าพเจ้าประสบความสำเร็จ

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ และพี่น้องนักศึกษาปริญญาโททุกคน นักวิจัย และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการต่าง ๆ ที่ไม่ได้กล่าวไว้ในที่นี้ ที่ให้การสนับสนุนตลอดจนให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ เสมอมา

สุดท้ายนี้ขอรำลึกถึงคุณบิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุน และให้กำลังใจมาโดยตลอด คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

วรพรรณ ศรีเจริญชัยกุล

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... III

กิตติกรรมประกาศ..... V

สารบัญ..... VI

สารบัญตาราง..... IX

สารบัญภาพ..... XI

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 ขอบเขตของการวิจัย..... 2

1.3 วัตถุประสงค์..... 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง..... 3

2.1 มะเขือเทศ..... 3

2.2 ไลโคปีน..... 3

2.3 วัตถุเจือปนอาหาร (food additive) ในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศแปรรูป..... 17

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย..... 22

3.1 วัตถุดิบ..... 22

3.2 อุปกรณ์..... 22

3.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง..... 23

3.4 สถานที่ทำการทดลอง..... 23

3.5 วิธีดำเนินการทดลอง..... 23

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์..... 27

4.1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อน..... 27

4.2 การศึกษาจลนพลศาสตร์เบื้องต้นของการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อน..... 28

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.3 ผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบด ในระหว่างการให้ความร้อน..... 29

4.4 ผลของน้ำตาลซูโครสต่อการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบด ในระหว่างการให้ความร้อน..... 31

4.5 ผลของกรดอะซิติกต่อการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบด ในระหว่างการให้ความร้อน..... 34

4.6 ผลของแซนแทนกัมต่อการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบด ในระหว่างการให้ความร้อน..... 36

4.7 ผลของแป้งข้าวโพดต่อการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบด ในระหว่างการให้ความร้อน..... 38

4.8 ผลของแอลฟา-โทโคฟีรอลต่อการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบด ในระหว่างการให้ความร้อน..... 41

4.9 ผลของบีเอชทีต่อการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่าง การให้ความร้อน..... 43

4.10 ผลของกรดแอสคอร์บิกต่อการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบด ในระหว่างการให้ความร้อน..... 45

4.11 ผลของโพลพิลแกลเลตต่อการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบด ในระหว่างการให้ความร้อน..... 49

4.12 ผลของสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงต่อการสูญเสียไลโคปีนใน เนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อน..... 51

4.13 ผลของสารสกัดจากเปลือกมะม่วงต่อการสูญเสียไลโคปีนใน เนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อน..... 54

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... 58

5.1 สรุปผลการทดลอง..... 58

5.2 ข้อเสนอแนะ..... 59

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บรรณานุกรม..... 60

ภาคผนวก..... 65

ประวัติผู้เขียน..... 74

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 อาหารที่เป็นแหล่งของไลโคปีนทั้งในรูปวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ที่ได้จาก การแปรรูป และปริมาณของไลโคปีนต่อหน่วยบริโภค..... 7

2.2 แคโรทีนอยด์ชนิดหลักที่พบในมะเขือเทศ..... 8

2.3 สมบัติทางกายภาพของไลโคปีน..... 9

2.4 ค่าคงที่ของการยับยั้ง singlet oxygen (10^9x Kq ($m^{-1}s^{-1}$)) ของแคโรทีนอยด์ชนิดต่าง ๆ... 10

3.1 ชนิดและปริมาณของวัตถุเจือปนอาหารที่เติมลงในเนื้อมะเขือเทศบด..... 26

ค1 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนและเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ..... 68

ค2 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนและเติมน้ำตาลซูโครสที่ความเข้มข้นต่าง ๆ..... 68

ค3 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อน และเติมกรดอะซิติกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ..... 69

ค4 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนและเติมแซนแทนกัมที่ความเข้มข้นต่าง ๆ..... 69

ค5 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนและเติมแป้งข้าวโพดที่ความเข้มข้นต่าง ๆ..... 70

ค6 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนและเติมแอลฟา-โทโคฟีรอลที่ความเข้มข้นต่าง ๆ..... 70

ค7 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อน และเติมบีเอชทีที่ความเข้มข้นต่าง ๆ..... 71

ค8 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนและเติมกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้น 0 - 0.05 เปอร์เซ็นต์..... 71

ค9 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนและเติมกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้น0 - 0.3 เปอร์เซ็นต์..... 72

ค10 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนและเติมโพลพิลแกลเลตที่ความเข้มข้นต่าง ๆ..... 72

ค11 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนและเติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ความเข้มข้นต่าง ๆ..... 73

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ค12 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนและเติมสารสกัดจากเปลือกมะม่วงที่ความเข้มข้นต่าง ๆ 73

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 โครงสร้างทางเคมีของแคโรทีนอยด์บางชนิดที่พบมากในมะเขือเทศ..... 5

2.2 โครงสร้างทางเคมีของไลโคปีนที่อยู่ในรูปแบบซีส..... 6

2.3 เส้นทางการเกิดปฏิกิริยาของไลโคปีนในระหว่างการแปรรูปและเก็บรักษามะเขือเทศผง..... 14

4.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเนื้อมะเขือเทศบดที่เติมและไม่เติมน้ำตาลในระหว่างการให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง..... 27

4.2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเนื้อมะเขือเทศบดที่เติมและไม่เติมแป้งข้าวโพดในระหว่างการให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง..... 28

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(CA/CA_0)$ กับเวลาสำหรับใช้หาค่าคงที่ของการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศเมื่อให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส..... 29

4.4 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดที่เติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลาต่างกัน..... 30

4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีน (k) กับความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ในเนื้อมะเขือเทศบดที่ให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส..... 31

4.6 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดที่เติมน้ำตาลซูโครสที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลาต่างกัน..... 32

4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีน (k) กับความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสในเนื้อมะเขือเทศบดที่ให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส..... 33

4.8 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดที่เติมกรดอะซิติกที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลาต่างกัน..... 34

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีน (k) กับความเข้มข้นของกรดอะซิติกในเนื้อมะเขือเทศบดที่ให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 36

4.10 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดที่เติมแซนแทนกัมที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลาต่างกัน 37

4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีน (k) กับความเข้มข้นของแซนแทนกัมในเนื้อมะเขือเทศบดที่ให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 38

4.12 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดที่เติมแป้งข้าวโพดที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลาต่างกัน 40

4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีน (k) กับความเข้มข้นของแป้งข้าวโพดในเนื้อมะเขือเทศบดที่ให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 41

4.14 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดที่เติมแอลฟาโทโคฟีรอลที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลาต่างกัน 42

4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีน (k) กับความเข้มข้นของแอลฟา-โทโคฟีรอลในเนื้อมะเขือเทศบดที่ให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 43

4.16 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดที่เติมบีเอชทีที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ เมื่อให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลาต่างกัน 44

4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีน (k) กับความเข้มข้นของบีเอชทีในเนื้อมะเขือเทศบดที่ให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 45

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4.18 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดที่เติมกรดแอสคอร์บิกที่ระดับความเข้มข้น 0 – 0.05 เปอร์เซ็นต์เมื่อให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลาต่างกัน..... 46

4.19 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดที่เติมกรดแอสคอร์บิกที่ระดับความเข้มข้น 0 – 0.3 เปอร์เซ็นต์เมื่อให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลาต่างกัน..... 47

4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีน (k) กับความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกในเนื้อมะเขือเทศบดที่ให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส..... 48

4.21 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดที่เติมโพลพิลแกลเลตที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลาต่างกัน..... 50

4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีน (k) กับความเข้มข้นของโพลพิลแกลเลตในเนื้อมะเขือเทศบดที่ให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส..... 51

4.23 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลาต่างกัน..... 53

4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีน (k) กับความเข้มข้นของสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงในเนื้อมะเขือเทศบดที่ให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส..... 54

4.25 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดที่เติมสารสกัดจากเปลือกมะม่วงที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลาต่างกัน..... 55

4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีน (k) กับความเข้มข้นของสารสกัดจากเปลือกมะม่วงในเนื้อมะเขือเทศบดที่ให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส..... 56

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ไลโคปีน (lycopene) เป็นรงควัตถุในกลุ่มแคโรทีนอยด์ มีผลึกสีแดงเข้ม พบมากในมะเขือเทศและผลิตภัณฑ์มะเขือเทศ โดยจะพบเพิ่มขึ้นในระหว่างการสุกของมะเขือเทศ นอกจากนี้ยังพบในผลไม้ชนิดอื่น ๆ เช่น แอปปริคอท ส้ม องุ่น ฝรั่ง มะละกอ และแตงโม เป็นต้น โครงสร้างโดยทั่วไปของไลโคปีนเป็นไฮโดรคาร์บอนสายตรง มีสูตรโมเลกุล $C_{40}H_{56}$ ละลายได้ในไขมันมีธาตุคาร์บอนเชื่อมต่อกันด้วยพันธะคู่แบบ conjugated double bond ถึง 11 พันธะ ซึ่งจะเรียงต่อกันเป็นเส้นยาวจึงทำให้ไลโคปีนมีโครงสร้างที่ยาวกว่าแคโรทีนอยด์ชนิดอื่น (พอใจ, 2543)

ไลโคปีนไม่มีความสามารถในการเปลี่ยนเป็นวิตามินเอภายในร่างกายได้เหมือนกับแคโรทีนอยด์ (carotenoids) บางชนิด เช่น เบต้า-แคโรทีน (β-carotene) แต่ไลโคปีนก็มีความสามารถที่จะต่อต้านการเกิดอนุมูลอิสระได้โดยตรง อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นภายในร่างกายที่มีความสำคัญเนื่องจากมีผลเสียต่อร่างกายคืออนุพันธ์ของออกซิเจนที่ไวต่อปฏิกิริยา (reactive oxygen species , ROS) ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเมตาบอลิซึมภายในเซล และเป็นสาเหตุให้เซลเกิดความเสียหายขึ้นอย่างถาวร เป็นที่ทราบกันดีว่าสารต้านอนุมูลอิสระมีหน้าที่ลดการทำลายดีเอนเอ (DNA) โปรตีน ลิปิด และองค์ประกอบอื่น ๆ ของเซลที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไลโคปีนเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีความสามารถในการจับกับอนุมูลอิสระจำพวก singlet oxygen ได้สูงกว่าเบต้า-แคโรทีน 2 เท่า และสูงกว่าวิตามินอีถึง 10 เท่า (Levy *et al.*, 1995) นอกจากนี้ไลโคปีนยังมีส่วนเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของเซลและเพิ่มประสิทธิภาพการสื่อสารผ่านช่องว่าง (gap-junctional communication) ระหว่างเซล ปรับสมดุลของฮอร์โมนและระบบภูมิคุ้มกันภายในร่างกาย มีการศึกษาที่รายงานว่าอาหารที่อุดมไปด้วยไลโคปีนสามารถป้องกันการเกิดมะเร็งลำไส้ กระเพาะอาหาร ทางเดินอาหาร ปากมดลูก ต่อมลูกหมาก เต้านม และมะเร็งผิวหนัง นอกจากนี้ไลโคปีนอาจมีบทบาทในการป้องกันโรคที่เกิดขึ้นกับหลอดเลือดที่ไปเลี้ยงหัวใจผิดปกติอีกด้วย (Diaz *et al.*, 1997)

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์มะเขือเทศได้แพร่หลายเป็นที่นิยมของคนไทย และมีการพัฒนาขึ้นมาผลิตในระดับอุตสาหกรรม ซึ่งมีงานวิจัยพบว่าสภาวะที่ใช้ในระหว่างกระบวนการแปรรูป เช่น แสง ความร้อน และออกซิเจน มีผลทำให้ไลโคปีนในมะเขือเทศเกิดการเสื่อมสลาย (Shi and Le Maguer, 2000) นอกจากนี้วัตถุเจือปนอาการได้ก้าวเข้ามามีบทบาทสำคัญต่อคุณภาพและมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ โดยที่วัตถุเจือปนอาหารบางชนิดที่เติมลงไปผลิตภัณฑ์มะเขือเทศแปรรูปอาจส่งผลต่อปริมาณไลโคปีนเช่นกัน ซึ่งในปัจจุบันยังมีข้อมูลวิจัยทางด้านนี้น้อยมาก ดังนั้นการศึกษาถึงผลของ

วัตถุเจือปนอาหารต่อการสูญเสียไลโคปีนในระหว่างกระบวนการแปรรูปเนื้อมะเขือเทศบดโดยการใช้ความร้อนจึงเป็นหัวข้อที่น่าสนใจ เพื่อทำให้ทราบว่าวัตถุเจือปนอาหารแต่ละชนิดที่นิยมใช้กันในอุตสาหกรรมแปรรูปมะเขือเทศจะส่งผลอย่างไรต่อปริมาณไลโคปีนทั้งหมดที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์

1.2 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาจลนพลศาสตร์เบื้องต้นของการให้ความร้อนโดยการต้มต่อการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบด รวมถึงศึกษาผลของวัตถุเจือปนอาหารต่อการสูญเสียไลโคปีนในระหว่างกระบวนการให้ความร้อนเนื้อมะเขือเทศบด โดยใช้วัตถุเจือปนอาหารทั้งหมด 11 ชนิดในปริมาณความเข้มข้นต่าง ๆ ซึ่งวัตถุเจือปนอาหารที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ เกลือโซเดียมคลอไรด์ น้ำตาลซูโครส กรดอะซิติก แซนแทนกัม แป้งข้าวโพด แอลฟา-โทโคฟีรอล บีเอชที กรดแอสคอร์บิก โพรพิลแกลเลต สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง และสารสกัดจากเปลือกมะม่วง

1.3 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาจลนพลศาสตร์เบื้องต้นของการให้ความร้อนต่อการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบด

2. ศึกษาผลของวัตถุเจือปนอาหารต่อการสูญเสียไลโคปีนในระหว่างกระบวนการ ให้ความร้อนเนื้อมะเขือเทศบด

บทที่ 2
ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 มะเขือเทศ

มะเขือเทศมีชื่อเรียกทางวิทยาศาสตร์ คือ *Lycopersicon esculentum Mill.* เป็นพืชผลที่นิยมปลูกกันแพร่หลาย และนิยมนำส่วนของผลมาบริโภค สามารถประกอบอาหารได้หลายชนิด และนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้อีกหลายอย่าง มะเขือเทศให้คุณค่าทางโภชนาการสูงโดยเป็นแหล่งของโปรตีน ใยอาหาร วิตามินเอ วิตามินซี แคโรทีนอยด์ (carotenoids) และแร่ธาตุที่จำเป็นของมนุษย์และสัตว์ จากการศึกษาเปรียบเทียบด้านคุณค่าทางโภชนาการของผลไม้และพืชผักที่บริโภคในประเทศสหรัฐอเมริกาพบว่า มะเขือเทศมีปริมาณวิตามินเออยู่ในลำดับที่ 18 และวิตามินซีอยู่ในลำดับที่ 13 นอกจากนี้มะเขือเทศยังเป็นแหล่งที่อุดมไปด้วยไลโคปีน ซึ่งมะเขือเทศโดยทั่วไปจะมีปริมาณไลโคปีน 3.10 – 7.74 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด (พอใจ, 2543)

มะเขือเทศที่ปลูกในประเทศไทยแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ (สมภพ, 2530)

มะเขือเทศที่ใช้ในการบริโภคสด (fresh market tomato) แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ มะเขือเทศที่บริโภคเป็นผลไม้ (fruit tomato) กับมะเขือเทศที่ใช้ปรุงอาหาร (cooking tomato) ซึ่งมะเขือเทศทั้งสองชนิดนี้มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันตามคุณภาพ คือมะเขือเทศที่บริโภคเป็นผลไม้จะใช้บริโภคสดเหมือนผลไม้และผักดิบ การบริโภคเป็นผลไม้จะบริโภคทั้งผลเช่นเดียวกับแอปเปิ้ลหรือเฉือนเป็นชิ้น ๆ ใช้เป็นอาหารว่าง เมื่อบริโภคเป็นผักดิบจะเฉือนให้บางสำหรับทำแซนวิส และเป็นชิ้นสำหรับทำสลัด ลักษณะผลจะมีขนาดกลางถึงใหญ่ รสชาติอร่อย สีแดงสดใส ในทางตรงกันข้ามมะเขือเทศที่ใช้ปรุงอาหารจะบริโภคโดยการปิ้ง เคี่ยวเป็นแกง อบไอน้ำ หรือทำเป็นซอสเพื่อปรุงอาหารต่าง ๆ ลักษณะของขนาด รูปร่าง และสีของผลไม่จำกัดแน่นอน และมีรสเปรี้ยว

มะเขือเทศที่ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเกษตร ซึ่งในประเทศพัฒนาความต้องการมะเขือเทศเพื่อการอุตสาหกรรม (processing tomato) มีสูงขึ้นอย่างมาก ทั้งนี้เพราะมะเขือเทศสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้มากมาย เช่น มะเขือเทศบรรจุกระป๋อง (canned tomato) น้ำมะเขือเทศ (tomato juice) ซอสมะเขือเทศ (tomato sauce หรือ ketchup) น้ำมะเขือเทศเข้มข้น (tomato paste) มะเขือเทศผง (tomato powder) ทอฟฟี่มะเขือเทศ (tomato candy) มะเขือเทศดอง (tomato pickle) และอื่น ๆ มะเขือเทศที่ใช้สำหรับอุตสาหกรรมต้องมีคุณสมบัติพิเศษที่แตกต่างไปจากมะเขือเทศที่ใช้บริโภคสด คือ มีปริมาณของแข็ง (solid content) สูงกว่า 4.5 องศาบริกซ์ (Brix) ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ต่ำประมาณ 4.4 ผลแข็ง ปอกเปลือกง่าย สีผลแดงจัด

2.2 ไลโคปีน

2.2.1 นิยาม

ไลโคปีนเป็นรงควัตถุในกลุ่มแคโรทีนอยด์ มีผลึกสีแดงเข้ม พบมากในมะเขือเทศและผลิตภัณฑ์มะเขือเทศ โดยจะพบเพิ่มขึ้นในระหว่างการสุกของมะเขือเทศ แต่พบในผลไม้ชนิดอื่น ๆ เพียงเล็กน้อย (พอใจ, 2543)

2.2.2 โครงสร้างของไลโคปีน

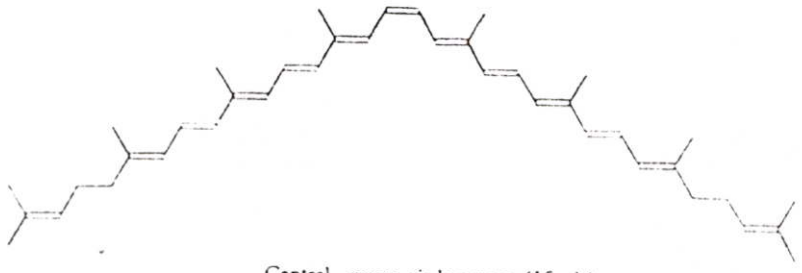
ไลโคปีนเป็นแคโรทีนอยด์ชนิดไม่อิ่มตัวซึ่งมีสูตรโมเลกุล คือ $C_{40}H_{56}$ ประกอบด้วยคาร์บอน 89.49 เปอร์เซ็นต์ และไฮโดรเจน 10.51 เปอร์เซ็นต์ โครงสร้างของไลโคปีนมีลักษณะเป็นเส้นตรง มีพันธะคู่ทั้งหมด 13 พันธะซึ่ง 11 พันธะจะเชื่อมต่อกันแบบ conjugated double bond จึงทำให้ไลโคปีนมีโครงสร้างที่ยาวกว่าแคโรทีนอยด์ชนิดอื่น และเนื่องจากโครงสร้างของไลโคปีนที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงและแบนราบจึงไม่สามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ โครงสร้างทางเคมีของแคโรทีนอยด์บางชนิดที่พบมากในมะเขือเทศแสดงในภาพที่ 2.1 ไลโคปีนมีพันธะคู่เป็นจำนวนมากจึงสามารถเกิดโครงสร้างเรขาคณิต (geometrical configuration) ที่เป็นไอโซเมอร์ (isomer) กันได้ถึง 2^{11} หรือ 2,048 โครงสร้าง (Stahl and Sies, 1996) ไลโคปีนที่พบในธรรมชาติจะอยู่ในรูปออล-ทรานซ์ (all-trans) และสามารถเกิดไอโซเมอร์จากรูปแบบทรานซ์ไปอยู่ในรูปแบบโมโนซีส (mono-cis form) หรือโพลีซีส (poly-cis form) ได้ภายใต้สภาวะที่มีความร้อน แสง หรือปฏิกิริยาเคมี โครงสร้างทางเคมีของไลโคปีนที่อยู่ในรูปแบบซีสแสดงในภาพที่ 2.2

2.2.3 แหล่งของไลโคปีน

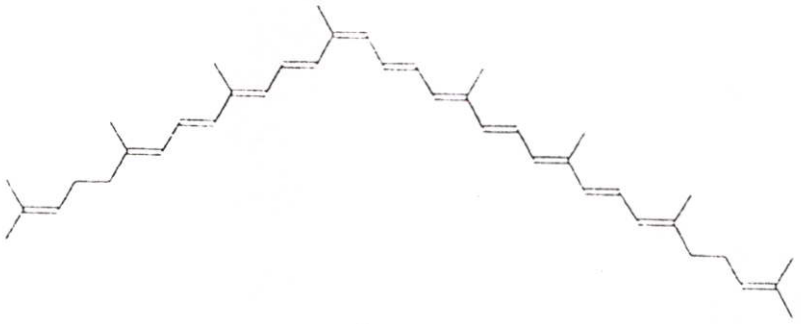
แหล่งของไลโคปีนที่สำคัญพบอยู่ในมะเขือเทศ ซึ่งมะเขือเทศโดยทั่วไปมีปริมาณไลโคปีน 3.10-7.44 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด แต่ในมะเขือเทศพันธุ์ *Lycopersicon esculentum* พบไลโคปีนถึง 40 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ซึ่งคิดเป็น 95-100% ของแคโรทีนอยด์ทั้งหมดที่มีอยู่ (Nguyen and Schwarts, 1999) นอกจากนี้ยังพบในแอปปริคอท ส้ม องุ่น ฝรั่ง มะละกอ และแตงโม ตารางที่ 2.1 แสดงถึงอาหารที่เป็นแหล่งของไลโคปีนทั้งในรูปวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูป และปริมาณของไลโคปีนต่อหน่วยบริโภค

ภาพที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของแคโรทีนอยด์บางชนิดที่พบมากในมะเขือเทศ

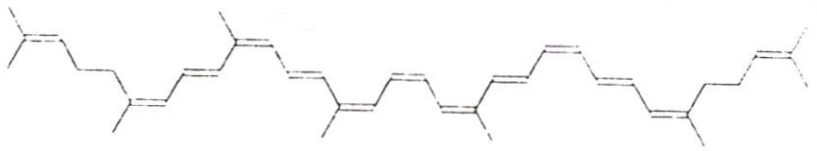
ที่มา: Shi and Le Maguer (2000)



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



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



5- *cis*-lycopene

6- *cis*-lycopene

ภาพที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของไลโคปีนที่อยู่ในรูปแบบซีส

ที่มา: Shi and Le Maguer (2000)

ตารางที่ 2.1 อาหารที่เป็นแหล่งของไลโคปีนทั้งในรูปวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูป และปริมาณของไลโคปีนต่อหน่วยบริโภค

อาหาร	ลักษณะ	ปริมาณไลโคปีน (มิลลิกรัม/100กรัม น้ำหนักเปียก)	ปริมาณต่อหน่วยบริโภค	
			มิลลิกรัม	หน่วยบริโภค
แอปปริคอท	สด	0.005	0.007	140 กรัม
แอปปริคอท	กระป๋อง (เฉพาะเนื้อ)	0.065	0.091	140 กรัม
แอปปริคอท	แห้ง	0.860	0.340	40 กรัม
พริก	ผ่านความร้อน	1.080-2.620	1.400-3.410	130 กรัม
องุ่นม่วง	สด	3.360	4.700	140 กรัม
ฝรั่งม่วง	สด	5.400	7.560	140 กรัม
น้ำฝรั่งม่วง	ผ่านความร้อน	3.340	8.350	240 มิลลิลิตร
มะละกอ	สด สีแดง	2.000-5.300	2.800-7.420	140 กรัม
ซอสพิซซ่า	กระป๋อง	12.710	15.890	125 กรัม
ซอสพิซซ่า	จากพิซซ่า	32.890	9.867	~30 กรัม
มะเขือเทศ	สด สีแดง	3.100-7.740	4.030-10.060	130 กรัม
มะเขือเทศ	ทั้งผล ปอกเปลือก ผ่านความร้อน	11.210	14.010	125 กรัม
น้ำมะเขือเทศ	ผ่านความร้อน	7.830	19.580	240 มิลลิลิตร
ซุปมะเขือเทศ	กระป๋อง เข้มข้น	3.990	9.770	245 กรัม
เนื้อมะเขือเทศ	กระป๋อง	30.070	9.020	30 กรัม
แตงโม	สด สีแดง	4.100	11.480	280 กรัม
น้ำผัก	ผ่านความร้อน	7.280	17.470	240 มิลลิลิตร

ที่มา: ดัดแปลงจาก Nguyen and Schwartz (1999)

2.2.4 คุณสมบัติของไลโคปีน

ปัจจุบันมีการค้นพบแคโรทีนอยด์ในผักและผลไม้มากมายหลายชนิด และสามารถจำแนกประเภทของแคโรทีนอยด์ที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์จำพวกผักที่คนบริโภคได้มากกว่า 600 ชนิด การแบ่งกลุ่มของแคโรทีนอยด์ตามคุณสมบัติทางเคมีสามารถแบ่งแคโรทีนอยด์ได้เป็นสองกลุ่มหลัก แคโรทีนอยด์กลุ่มแรกเป็นแคโรทีนอยด์ชนิดไม่อิ่มตัวอย่างมาก (unsaturated hydrocarbon carotenoid) เช่น ไลโคปีน แอลฟา-แคโรทีน (α-carotene) เบต้า-แคโรทีน (β-carotene) แกมมา-แคโรทีน (γ-carotene) และแอปซิลอน-แคโรทีน (ξ-carotene) แคโรทีนอยด์ในกลุ่มนี้ไม่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ โดยทั่วไปมีสีส้มและแดง แคโรทีนอยด์กลุ่มที่สองเป็นแคโรทีนอยด์ในกลุ่มแซนโทฟิลล์ (xanthophylls) เช่น เบต้า-คริปโตแซนทิน (β-cryptoxanthin) ลูทิน (luthin) และซี-แซนทิน (zeaxanthin) ซึ่งเป็นอนุพันธุ์ของออกซิเจนและประกอบด้วยกลุ่มที่ถูกแทนที่ด้วยออกซิเจนหนึ่งกลุ่มหรือมากกว่าบนตำแหน่งวงแหวนที่อยู่บริเวณปลายสายโซ่หลัก แคโรทีนอยด์ทั้งสองกลุ่มนี้มีลักษณะเฉพาะทางโครงสร้างได้แก่ โครงสร้างโพลีไอโซพรีนอยด์ (polyisoprenoid) และอนุกรมของ conjugated double bonds ที่อยู่ตรงส่วนกลาง ในมะเขือเทศพบแคโรทีนอยด์มากกว่า 21 ชนิด โดยมีไลโคปีนเป็นองค์ประกอบหลัก และพบแอลฟา-แคโรทีน เบต้า-แคโรทีน แกมมา-แคโรทีน แอปซิลอน-แคโรทีน ไฟโทอีน (phytoene) ไฟโทฟลูอีน (phytofluene) นิวโรสปอรีน (neurosporene) และลูทินในปริมาณที่น้อยกว่า (Gould, 1992) แคโรทีนอยด์ชนิดหลักที่พบในมะเขือเทศแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แคโรทีนอยด์ชนิดหลักที่พบในมะเขือเทศ

ชนิดของแคโรทีนอยด์	ปริมาณ (%)	Conjugated double bonds	ความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงได้สูงสุดในสารละลายเฮกเซน (นาโนเมตร)
ไลโคปีน	80-90	11	472(457, 485, 519)
แอลฟา-แคโรทีน	0.03	9	444(319, 348, 366)
เบต้า-แคโรทีน	3-5	9	450(427, 450, 477)
แกมมา-แคโรทีน	1-1.3	7	450(432, 461, 490)
แอปซิลอน-แคโรทีน	1-2	7	400(378, 400, 425)
ไฟโทอีน	5.6-10	3	290(275, 286, 297)
ไฟโทฟลูอีน	2.5-3.0	5	350(331, 348, 366)
นิวโรสปอรีน	7-9	9	450(415, 438, 468)
ลูทิน	0.011-1.1	10	442(424, 446, 473)

ที่มา: ดัดแปลงจาก Gross (1987)

2.2.4.1 สมบัติทางกายภาพของไลโคปีน

สมบัติทางกายภาพของไลโคปีนแสดงในตารางที่ 2.3 ไลโคปีนในมะเขือเทศสดมีลักษณะเป็นผลึกรูปเข็มสีแดงจึงทำให้มะเขือเทศมีสีแดงสว่าง ไลโคปีนสามารถละลายในคลอโรฟอร์ม เบนซีน และตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดอื่น ๆ ได้ดีกว่าน้ำ ความสามารถในการละลายของไลโคปีนในน้ำมันพืชมีค่าประมาณ 0.2 กรัมต่อลิตรที่อุณหภูมิห้อง ในระบบที่ประกอบด้วยน้ำไลโคปีนมีแนวโน้มที่จะรวมตัวกันและตกตะกอนเป็นผลึก พฤติกรรมนี้ทำให้คาดคะเนว่าไลโคปีนจะมี bioavailability ต่ำลงเมื่ออยู่ในร่างกายมนุษย์

ตารางที่ 2.3 สมบัติทางกายภาพของไลโคปีน

สมบัติ	รายละเอียด
สูตรโมเลกุล	$C_{40}H_{56}$
น้ำหนักโมเลกุล	536.85 ดาลตัน
จุดหลอมเหลว	172 – 175°ซ
รูปร่างผลึก	ในสารละลายผสมระหว่างเอทานอลและคาร์บอนไดซัลไฟด์ มีรูปร่างเหมือนเข็ม มีสีแดง
ลักษณะผง	สีน้ำตาลแดงเข้ม
ความสามารถในการละลาย	ละลายในคลอโรฟอร์ม เฮกเซน เบนซีน คาร์บอนไดซัลไฟด์ อะซิโตน ปิโตรเลียมอีเทอร์ ไม่ละลายในน้ำ เอธานอล เมธานอล
ความว่องไวในการเกิดปฏิกริยา	มีความไวต่อแสง ออกซิเจน ความร้อน กรด

ที่มา : Shi and Le Maguer (2000)

2.2.4.2 สมบัติทางชีวเคมีของไลโคปีน

เนื่องจากลักษณะเฉพาะของไลโคปีนที่มีโครงสร้างแบบโซ่เปิด ร่วมกับการมีพันธะคู่เป็นจำนวนมาก และสมบัติที่ไม่ละลายในน้ำ ทำให้ไลโคปีนมีสมบัติทางชีวเคมีที่โดดเด่นซึ่งรวมถึงการทำหน้าที่เป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไลโคปีนสามารถยับยั้งอนุมูลอิสระจำพวก singlet oxygen ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแคโรทีนอยด์ในธรรมชาติชนิดอื่น (Di Mascio *et al.*, 1989; Conn *et al.*, 1991) ตารางที่ 2.4 แสดงค่าคงที่ในการยับยั้ง singlet oxygen (Kq) ของแคโรทีนอยด์ชนิดต่างๆ การเปรียบเทียบโครงสร้างของไลปีน แอลฟา-แคโรทีน และเบต้า-แคโรทีน แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างที่มีวงแหวนเบต้า-ไอโอโนน (β-ionone) แบบเปิดจะช่วยเพิ่มความสามารถในการยับยั้ง singlet oxygen ได้ ความสามารถในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของไลโคปีนและแคโรทีนอยด์ชนิดอื่นจะเน้นถึงคุณสมบัติในการยับยั้งอนุมูลอิสระ

จำพวก singlet oxygen และความสามารถในการจับกับอนุมูลเปอร์ออกซิล (Foote and Denny, 1968; Burton and Ingold, 1984) ความสามารถในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของแคโรทีนอยด์ชนิดต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับจำนวน conjugated double bond และการแทนที่ของอะตอมหรือโมเลกุลในกลุ่มแคโรทีนอยด์ที่มีโครงสร้างแบบปลายโซ่ปิด (Foote and Denny, 1968; Stahl *et al.*, 1993)

ตารางที่ 2.4 ค่าคงที่ของการยับยั้ง singlet oxygen (10^9 x Kq ($m^{-1}s^{-1}$)) ของแคโรทีนอยด์ชนิดต่าง ๆ

แคโรทีนอยด์	ค่าคงที่ของการยับยั้ง singlet oxygen (10^9 x Kq ($m^{-1}s^{-1}$))
ไลโคปีน	31
แกมมา-แคโรทีน	25
แอลฟา-แคโรทีน	19
เบต้า-แคโรทีน	14
ลูทิน	8
แอสทาแซนทิน	24
ไบซิน	14
แคนทาแซนทิน	21
ซีแซนทิน	10

ที่มา: Gross (1987)

จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าไลโคปีนมีโครงสร้างเรขาคณิตที่เป็นไอโซเมอร์กันได้หลายรูปแบบ ซึ่งรวมถึงแบบ ออล-ทรานซ์ โมโน-ซีส และโพลี-ซีส ไอโซเมอร์แบบออล-ทรานซ์เป็นไอโซเมอร์ที่พบมากที่สุดในมะเขือเทศสดและเป็นรูปแบบที่มีเสถียรภาพมากที่สุดอีกด้วย อย่างไรก็ตามไลโคปีนสามารถเกิดปฏิกิริยาไอโซเมอร์ไรเซชันจากรูปแบบทรานซ์ไปอยู่ในรูปแบบซีสได้ในระหว่างกระบวนการแปรรูปและเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มะเขือเทศ ในผลิตภัณฑ์ที่ทำจากมะเขือเทศหลายชนิดพบว่าประกอบด้วยไอโซเมอร์ในรูปแบบออล-ทรานซ์ 35-96 เปอร์เซ็นต์ของไลโคปีนทั้งหมด (Schierle *et al.*, 1996) ในการวิเคราะห์ด้วย NMR spectroscopy พบไอโซเมอร์ของไลโคปีนในรูปแบบ 5-ซีส 9-ซีส และ 15-ซีสอยู่ในผลิตภัณฑ์ที่ทำจากมะเขือเทศและเนื้อเยื่อมนุษย์หลายชนิด (Zumbrunn *et al.*, 1985) โดยในผลิตภัณฑ์ที่ทำจากมะเขือเทศพบว่ามีอัตราส่วนของไอโซเมอร์แบบ 5-ซีสอยู่ 4-27 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน้อยกว่าไอโซเมอร์ชนิดอื่น ๆ (Schierle *et al.*, 1996) ส่วนในซีรัมและเนื้อเยื่อมนุษย์พบไอโซเมอร์ของไลโคปีนที่อยู่ในรูปแบบซีสมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ (Krinsky *et al.*, 1990) โดยทั่วไปไอโซเมอร์แบบซีสจะมีความมีขั้วมากกว่าแบบออล-ทรานซ์และตกผลึกได้ยากกว่าเนื่องจากรูปแบบโครงสร้างที่มีความโค้งงอ นอกจากนี้ไอโซเมอร์

แบบซีสยังมีความสามารถในการละลายในน้ำมันและสารละลายไฮโดรคาร์บอนได้ดีกว่าไอโซเมอร์แบบออล-ทรานซ์ ดังนั้นอิทธิพลของไอโซเมอร์แบบซีสที่มีต่อกิจกรรมทางชีวภาพจึงแตกต่างไปจากไอโซเมอร์แบบออล-ทรานซ์เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางด้านรูปร่างของโครงสร้างนั่นเอง

ไลโคปีนเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถยับยั้ง singlet oxygen ($^1O_2$) และจับกับอนุมูลเปอร์ออกซิล (ROO$^\bullet$) ได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งโดยวิธีทางกายภาพและทางเคมี ข้อได้เปรียบของการยับยั้งอนุมูลอิสระจำพวก $^1O_2$ ด้วยวิธีทางกายภาพคือ ไลโคปีนสามารถแสดงบทบาทเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้โดยไม่มีการสูญเสียโครงสร้างเดิม การยับยั้ง $^1O_2$ โดยส่วนใหญ่จะนำไปสู่การถ่ายเทพลังงานในรูปความร้อน ขณะที่ปฏิกิริยาระหว่างไลโคปีนกับอนุมูลเปอร์ออกซิลจะนำไปสู่การขนถ่ายอิเลกตรอนหรือปฏิกิริยาระหว่างอนุมูลที่มากขึ้นไปกว่านั้น

กลไกในการจับกับ $^1O_2$ โดยวิธีทางกายภาพจากการศึกษาของ Foote และ Denny (1968) พบว่า พื้นฐานการป้องกันของไลโคปีนต่อปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นกับ $^1O_2$ คือ ไลโคปีนสามารถจับกับ $^1O_2$ โดยกระบวนการถ่ายเทพลังงาน (สมการ 2.1) ไลโคปีนที่อยู่ในรูป triplet ที่เกิดขึ้นสามารถปลดปล่อยพลังงานออกสู่สิ่งแวดล้อมได้โดยทันทีแล้วกลับสู่โครงสร้างเดิม (สมการ 2.2) คุณลักษณะพิเศษเหล่านี้ทำให้ไลโคปีนมีประสิทธิภาพในการต่อต้านอนุมูลของ $^1O_2$ (Frank and Cogdell, 1993; Krinsky, 1979; Krinsky, 1989; Palozza and Krinsky 1992a) ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าไลโคปีนเป็นแคโรทีนอยด์ที่มีประสิทธิภาพในการจับกับ $^1O_2$ ได้สูงสุด (Di Masscio *et al.*, 1989; 1992; Conn *et al.*, 1991; Stahl *et al.*, 1997) การเปรียบเทียบอัตราค่าคงที่ในการยับยั้ง $^1O_2$ (Kq) ของไลโคปีนพบว่ามีค่าสูงกว่าแอลฟา-โทโคฟีรอลถึง 100 เท่า (Di Masscio *et al.*, 1989)

$$^1O_2{}^* + {}^1\text{Lycopene} \longrightarrow {}^3O_2 + {}^3\text{Lycopene}^* \qquad (2.1)$$

$$^3\text{Lycopene}^* \longrightarrow \text{Lycopene} + \text{ความร้อน} \qquad (2.2)$$

กลไกของปฏิกิริยาระหว่างไลโคปีนกับอนุมูลเปอร์ออกซิลเกิดได้ 2 แบบ คือ 1) ปฏิกิริยาการเติม (addition reaction) และ 2) การดึงไฮโดรเจน (hydrogen abstraction)

ปฏิกิริยาการเติมทำให้ได้ไลโคปีนในรูปที่จับอยู่กับอนุมูลเปอร์ออกซิล ซึ่งจะทำปฏิกิริยาต่อเพื่อให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นอนุมูล (สมการ 2.3) รูปแบบผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นนี้สามารถนำไปสู่ผลในการเป็นโปรออกซิแดนซ์ (pro-oxidant) ได้ (สมการ 2.4,2.5) (Liebler, 1993; Liebler and McClare, 1996)

$$\text{Lycopene} + \text{ROO}^\bullet \longrightarrow \text{ROO-Lycopene}^\bullet \qquad (2.3)$$

$$\text{ROO-Lycopene}^\bullet + {}^3O_2 \longrightarrow \text{ROO-Lycopene-OO}^\bullet \qquad (2.4)$$

$$\text{ROO-Lycopene}^\bullet \longrightarrow \text{Lycopene-epoxide} + \text{RO}^\bullet \qquad (2.5)$$

การดึงไฮโดรเจนทำให้ได้อนุมูลของไลโคปีนที่เป็นกลาง (Lycopene$^\bullet$) (สมการ 2.6) ซึ่งสามารถจับกับอนุมูลตัวต่อไปเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความเสถียร (สมการ 2.7) (Liebler and McClare, 1996)

$$Lycopene(H) + ROO^{\bullet} \rightleftharpoons Lycopene^{\bullet} + ROOH \quad (2.6)$$

$$Lycopene^{\bullet} + R(O)^{\bullet} \longrightarrow Lycopene\text{-}O(R) \quad (2.7)$$

ที่ความเข้มข้นของออกซิเจนสูงอนุมูลของไลโคปีน ($Lycopene^{\bullet}$) สามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดเป็น Lycopene-peroxyl radical ($Lycopene\text{-}OO^{\bullet}$) (สมการ 2.8) ซึ่งจะนำไปสู่กระบวนการออกซิเดชันที่เกิดขึ้นเองได้อย่างต่อเนื่อง (Britton, 1995)

$$Lycopene^{\bullet} + {}^{3}O_2 \longrightarrow Lycopene\text{-}OO^{\bullet} \quad (2.8)$$

2.2.5 การเปลี่ยนแปลงของไลโคปีนในระหว่างกระบวนการแปรรูป

มะเขือเทศมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ถูกนำมาบริโภคในรูปของผลิตภัณฑ์แปรรูปต่าง ๆ เช่น มะเขือเทศเข้มข้น ซอสมะเขือเทศ น้ำมะเขือเทศ และพิวรีมะเขือเทศ (tomato puree) ซึ่งในระหว่างกระบวนการแปรรูป มะเขือเทศจะต้องผ่านขั้นตอนต่าง ๆ มากมาย เช่น การล้าง การหั่น การบด และกรรมวิธีแปรรูปโดยการใช้ความร้อนหรือความเย็น ซึ่งกระบวนการต่าง ๆ เหล่านี้ล้วนมีส่วนเกี่ยวข้องกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างเช่น มะเขือเทศสีแดงสดที่มีปริมาณไลโคปีนสูงอาจเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีสีแดงคล้ำ และอีกตัวอย่างที่พบได้บ่อยคือ ปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศเข้มข้นโดยทั่วไปมักต่ำกว่าที่คาดไว้เนื่องจากเกิดการสูญเสียในระหว่างกระบวนการผลิต (Tavares and Rodriguez-Amaya,1994) จากการที่ไลโคปีนมีพันธะคู่เป็นจำนวนมากทำให้ทำนายได้ว่าในระหว่างกระบวนการแปรรูปและเก็บรักษา ไลโคปีนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ 2 ลักษณะ คือ ปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชันจากไอโซเมอร์ที่อยู่ในรูปออล-ทรานซ์ไปอยู่ในรูปโมโน-ซิสหรือโพลี-ซีสและปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยปฏิกิริยาทั้งสองชนิดนี้สามารถเกิดขึ้นได้พร้อม ๆ กัน (Boskovic, 1979)

2.2.5.1 ปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชัน

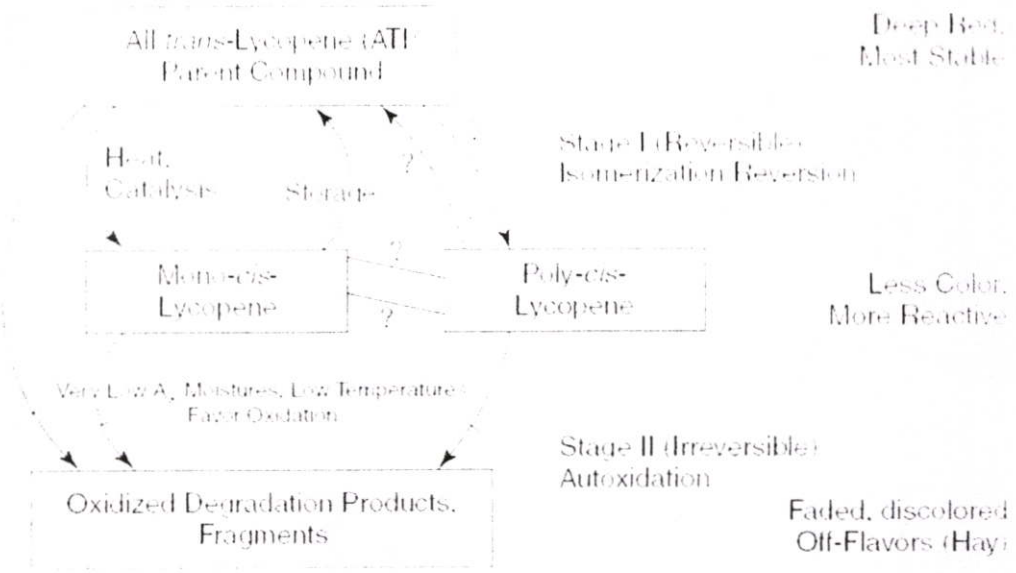
ในระหว่างกระบวนการแปรรูปอาหารโดยการใช้ความร้อน การเกิดปฏิกิริยาไอโซเมอร์ไรเซชันแบบทรานซ์-ซีสของแคโรทีนอยด์สามารถเกิดขึ้นได้โดยมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาและอุณหภูมิ ขณะที่ระหว่างการเก็บรักษาจะไม่มีการเกิดปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชันแบบทรานซ์-ซีสเพิ่มขึ้น แต่จะมีเพียงแค่ปฏิกิริยาการเปลี่ยนกลับแบบซีส-ทรานซ์และปฏิกิริยาออกซิเดชันที่สามารถเกิดได้เองในขั้นแรก ตามด้วยการสูญเสียไอโซเมอร์แบบซีส และจากนั้นจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไอโซเมอร์แบบออล-ทรานซ์เพียงอย่างเดียวซึ่งสามารถเกิดขึ้นเองได้โดยอัตโนมัติ (Lovric *et al.*, 1970) การเกิดไอโซเมอร์ไรเซชันกลับแบบซีส-ทรานซ์สามารถอธิบายได้ว่าเป็นการเปลี่ยนกลับจากสภาวะที่ไม่เสถียรซึ่งมีระดับชั้นพลังงานสูงสู่สภาวะพื้นเพื่อให้มีความเสถียรเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเกิดพันธะในรูปซีสทำให้เกิดการบิดและหดของโมเลกุล จึงเป็นสาเหตุให้มีพลังงานสูงและว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา (Boskovic, 1979)

ไลโคปีนที่อยู่ในรูปออล-ทรานซ์ไอโซเมอร์เป็นไอโซเมอร์ที่พบมากที่สุดในผักและผลไม้ (ประมาณ 94-96 เปอร์เซ็นต์ของไลโคปีนทั้งหมดที่พบในมะเขือเทศสีแดง) และเป็นรูปแบบ

ที่มีเสถียรภาพมากที่สุด ในธรรมชาติไอโซเมอร์ของไลโคปีนในรูปออล-ทรานซ์ซึ่งจะมีจำนวน 7 พันธะจากพันธะทั้งหมดที่สามารถเกิดปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชันจากรูปแบบทรานซ์ไปอยู่ในรูปแบบโมโน-ซีสหรือโพลี-ซีสได้โดยการให้ความร้อน แสง หรือการเกิดปฏิกิริยาเคมี ไลโคปีนในรูปซีสไอโซ-เมอร์มีคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพแตกต่างจากไลโคปีนในรูปทรานซ์ ซึ่งรวมถึงการมีความเข้มสีลดลง มีจุดหลอมเหลวต่ำลง ความมีขั้วเพิ่มมากขึ้น มีแนวโน้มในการตกผลึกได้น้อยลง และมีความสามารถในการละลายในน้ำมันและสารละลายไฮโดรคาร์บอนได้มากขึ้น (Nguyen and Schwartz, 1999) อย่างไรก็ตามเนื่องจากไลโคปีนในรูปแบบซีสอยู่ในสภาวะที่มีเสถียรภาพต่ำ จึงทำให้กลับจากสภาวะที่มีพลังงานสูงลงสู่สภาวะพื้นได้เมื่อทิ้งไว้ระยะหนึ่ง จึงทำให้ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาที่ย้อนกลับได้ (Boskovic, 1979)

2.2.5.2 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน

การสลายตัวของไลโคปีนอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศแปรรูปเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนและขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการทั้งปัจจัยทางกายภาพและปัจจัยทางเคมี ได้แก่ สภาวะในกระบวนการแปรรูป ความชื้น การสัมผัสกับแสง ออกซิเจน สภาวะที่มีไอออนของโลหะ (Cu^{2+} , Fe^{3+} เป็นต้น) สภาวะความเป็นกรดด่างอย่างรุนแรง การมีสารที่ช่วยส่งเสริมหรือยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน และองค์ประกอบที่เป็นไขมันเป็นต้น ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ย้อนกลับไม่ได้ โดยเส้นทางการเกิดอาจต่อเนื่องจากไอโซเมอไรเซชัน หรือเกิดได้โดยตรงจากไลโคปีนที่อยู่ในรูปแบบทรานซ์ ทั้งนี้ออกซิเจนสามารถเข้าสู่กระบวนการนี้ได้สองทาง คือ การแทนที่ของออกซิเจนที่หมู่เมทิลของไลโคปีน หรือการเติมออกซิเจนที่บริเวณพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลของไลโคปีน การเสื่อมสลายของไลโคปีนจากปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาที่ไม่สามารถย้อนกลับได้และจะนำไปสู่การแตกตัวออกเป็นส่วนของโมเลกุลขนาดเล็กเกิดเป็นอะซิโตน เมธิล-เฮปทิโนน (methylheptenone) เลฟวูลินิค อัลดีไฮด์ (leavulinic aldehyde) และบางครั้งอาจเกิดกลีออกแซล (glyoxal) ซึ่งทำให้เกิดการจางลงของสีที่มองเห็น และมีกลิ่นคล้ายฟางหรือหญ้าค่อย ๆ ปรากฏขึ้น เส้นทางการเกิดปฏิกิริยาของไลโคปีนในระหว่างการแปรรูปและเก็บรักษามะเขือเทศผงซึ่งนำเสนอโดย Boskovic (1979) แสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 เส้นทางการเกิดปฏิกิริยาของไลโคปีนในระหว่างการแปรรูปและเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มะเขือเทศผง

ที่มา: Boskovic (1979)

2.2.6 ผลของกระบวนการแปรรูปต่อการเสื่อมสลายของไลโคปีน

การลดลงของสีที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากมะเขือเทศหลายชนิดเป็นผลอันเนื่องมาจากการสัมผัสกับอากาศร่วมกับการให้ความร้อนในระหว่างกระบวนการแปรรูปซึ่งทำให้ไลโคปีนในรูปออล-ทรานซ์เกิดการไอโซเมอร์ไรเซชันและออกซิเดชัน การให้ความร้อนควบคู่กับการสัมผัสกับแสงและอากาศซึ่งทำให้เนื้อเยื่อมะเขือเทศเกิดการแตกสลายสามารถส่งผลให้ไลโคปีนถูกทำลาย การเปลี่ยนแปลงโดยหลักเกี่ยวข้องกับการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงเพื่อให้สามารถยืดระยะเวลาในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มะเขือเทศแปรรูป ดังนั้นการศึกษาผลของสภาวะในกระบวนการแปรรูปต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านคุณภาพและปริมาณของไลโคปีนจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อหาปัจจัยในการวางแผนและควบคุมที่เหมาะสมในการที่จะช่วยลดการสูญเสียไลโคปีนในระหว่างกระบวนการแปรรูปมะเขือเทศ

ปฏิกิริยาการเสื่อมสลายของไลโคปีนเป็นผลมาจากหลายปัจจัย เช่น ตัวกลางในการเกิดปฏิกิริยา อุณหภูมิ ลักษณะทางกายภาพ และสภาพแวดล้อม ปัจจัยที่สำคัญที่สุดระหว่างกระบวนการแปรรูป คือ ความร้อน แสง และออกซิเจน

2.2.6.1 ผลของอุณหภูมิต่อการเสื่อมสลายของไลโคปีน

Miki และ Akatsu (1970) ศึกษาถึงผลของการให้ความร้อนต่ออัตราการสูญเสียไลโคปีนในน้ำมะเขือเทศพบว่า การให้ความร้อนน้ำมะเขือเทศเป็นเวลา 7 นาที ที่อุณหภูมิ 90 และ 100 อาศาเซลเซียส มีผลทำให้ปริมาณไลโคปีนลดลง 1.1 และ 1.7 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โดยเมื่อให้ความ

ร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้นปริมาณการสูญเสียไลโคปีนก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และที่อุณหภูมิ 130 อาศาเซลเซียสเกิดการสูญเสียไลโคปีนถึง 17.1 เปอร์เซ็นต์

Shi และคณะ (2002) ศึกษาถึงการออกซิเดชันและไอโซเมอไรเซชันของไลโคปีนภายใต้สภาวะการให้ความร้อนในกระบวนการแปรรูปอาหาร โดยการให้ความร้อนตัวอย่างไลโคปีนสกัดที่ละลายอยู่ในน้ำมันดอกคาโนลาและให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 25, 100, และ 180 อาศาเซลเซียส พบว่าการเพิ่มความร้อนที่อุณหภูมิตั้งแต่ 100 ถึง 180 อาศาเซลเซียสและการเพิ่มระยะเวลาในการให้ความร้อนมีผลทำให้การเสื่อมสลายของไลโคปีนทั้งในรูปทรานซ์และซีสไอโซเมอร์เพิ่มสูงขึ้น

Lee และ Chen (2002) ศึกษาถึงความเสถียรของไลโคปีนในระหว่างการให้ความร้อนสารละลายออล-ทรานซ์ไลโคปีนในเฮกเซนที่อุณหภูมิ 50, 100, และ 150 อาศาเซลเซียส พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการให้ความร้อนสูงขึ้นมีผลทำให้อัตราการเสื่อมสลายของปริมาณ ไลโคปีนเพิ่มขึ้นไปด้วย โดยอัตราการเสื่อมสลายของไลโคปีนต่อนาทีเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50, 100, และ 150 อาศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 0.0075, 0.0124, และ 0.1651 ตามลำดับ

ประพันธ์ (2546) ศึกษาผลของกรรมวิธีแปรรูปโดยใช้ความร้อนต่อการสูญเสียปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศพบว่า การพาสเจอร์ไรส์เนื้อมะเขือเทศบดที่อุณหภูมิ 72 อาศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาทีมีการสูญเสียไลโคปีนคิดเป็น 36.1 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การต้มเนื้อมะเขือเทศบดที่ 100 อาศาเซลเซียสเป็นเวลา 1, 2, และ 3 ชั่วโมง มีการสูญเสียไลโคปีนคิดเป็น 63.9, 68.9, และ 72.8 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ นอกจากนี้การให้ความร้อนเนื้อมะเขือเทศบดในหม้อนึ่งฆ่าเชื้อแบบใช้ความดันที่อุณหภูมิ 121 อาศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที มีการสูญเสียไลโคปีนคิดเป็น 49.3 เปอร์เซ็นต์

2.2.6.2 ผลของออกซิเจนต่อการเสื่อมสลายของไลโคปีน

Monselise และ Berk (1954) ได้รายงานถึงการเกิดออกซิเดชันของไลโคปีนในระหว่างกระบวนการผลิตมะเขือเทศเข้มข้น (tomato puree) เป็นครั้งแรก โดยกล่าวว่าปัจจัยสนับสนุนสำคัญที่ทำให้ไลโคปีนเกิดการเสื่อมสลายในระหว่างกระบวนการผลิตมะเขือเทศเข้มข้น คือ ออกซิเจน โดยพบว่าไลโคปีนมากกว่า 30 เปอร์เซ็นต์เสื่อมสลายไปเมื่อให้ความร้อนเนื้อมะเขือเทศที่อุณหภูมิ 100 อาศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมงในสภาวะที่มีออกซิเจน ในขณะที่การให้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิเดียวกันในสภาวะบรรยากาศของคาร์บอนไดออกไซด์จะเกิดการสูญเสียไลโคปีนเพียง 5%

Ax และคณะ (2003) ศึกษาถึงความเสถียรของไลโคปีนในอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำโดยละลายไลโคปีนในส่วนที่เป็นน้ำมันของอิมัลชัน และนำไปพ่นด้วยอากาศหรือก๊าซไนโตรเจนอย่างต่อเนื่องพบว่า ภายในระยะเวลา 30 ชั่วโมงในสภาวะที่ปราศจากออกซิเจนจะมีการสูญเสียไล-

โคปีน 25 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ในสภาวะที่มีออกซิเจนอิ่มตัวจะมีการสูญเสียไลโคปีนถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าสภาวะที่ปราศจากออกซิเจนประมาณสามเท่า

Sharmar และ Maguer (1996) ศึกษาถึงการเสื่อมสลายของไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดที่เก็บรักษาในสภาวะที่แตกต่างกันพบว่า การเก็บรักษาเนื้อมะเขือเทศบดในที่มืดพร้อมกับการใช้ระบบสูญญากาศทำให้เกิดการสูญเสียไลโคปีนน้อยที่สุด ขณะที่การเก็บรักษาเนื้อมะเขือเทศบดในที่สว่างและมีอากาศทำให้เกิดการสูญเสียไลโคปีนมากที่สุด

นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าการสูญเสียไลโคปีนในปริมาณมากเกิดขึ้นได้เมื่อใช้ระยะเวลานานในการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง อุณหภูมิที่สูงและปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่เป็นจำนวนมากในน้ำมะเขือเทศในระหว่างขั้นตอนการบีบและคั้นน้ำออกสามารถทำลายไลโคปีนปริมาณมากได้อย่างรวดเร็ว ในระหว่างขั้นตอนการระเหย (โดยการใช้ระบบสูญญากาศ) มีการสูญเสียไลโคปีนเพียงเล็กน้อย เนื่องจากการกำจัดอากาศออกที่เกิดขึ้นทันทีที่น้ำมะเขือเทศเข้าสู่ระบบการระเหยสามารถป้องกันการสูญเสียไลโคปีนจากการเกิดออกซิเดชันได้ ผลการทดลองเสนอแนะว่าระยะเวลาในการให้ความร้อนเป็นปัจจัยสำคัญที่ควบคุมการเสื่อมสลายของไลโคปีน ซึ่งจะเห็นได้ชัดว่าการกำจัดอากาศออก และการใช้อุณหภูมิสูง-ระยะเวลาสั้น (high temperature-short time) ในขั้นตอนการให้ความร้อนน้ำมะเขือเทศมีประโยชน์ต่อการรักษาคุณภาพของน้ำมะเขือเทศ

2.2.6.3 ผลของความเข้มแสงต่อการเสื่อมสลายของไลโคปีน

Cole และ Kapur (1957b) ศึกษาถึงผลของความเข้มแสงและอุณหภูมิต่อการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในสภาวะที่มีอากาศเป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าการเพิ่มความเข้มแสงและอุณหภูมิมีผลทำให้การสูญเสียไลโคปีนเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามแสงสว่างจะมีอิทธิพลต่อการเสื่อมสลายของไลโคปีนน้อยกว่าอุณหภูมิ

Lee และ Chen (2002) ศึกษาถึงความเสถียรของไลโคปีนในระหว่างการบ่มสารละลายออล-ทรานซ์ไลโคปีนในเฮกเซนภายใต้ความเข้มแสงในช่วง 2000-3000 lux. ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 144 ชั่วโมง พบว่าหลังจากเวลา 144 ชั่วโมงมีการสูญเสียออล-ทรานส์ (all-trans) ไลโคปีน 13.1 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าคงที่ของอัตราการเสื่อมสลายของไลโคปีนต่อชั่วโมงเท่ากับ 0.0176

2.2.6.4 ผลของกรรมวิธีการแปรรูปต่อการเสื่อมสลายของไลโคปีน

Shi และคณะ (1999) ศึกษาถึงการเสื่อมสลายของไลโคปีนในมะเขือเทศที่ใช้กรรมวิธีการทำแห้งที่แตกต่างกัน โดยใช้กรรมวิธีในการทำแห้งดังนี้ การทำแห้งด้วยระบบสูญญากาศ การทำแห้งด้วยตู้อบแบบธรรมดา และการทำแห้งด้วยวิธีออสโมติกร่วมกับการใช้ระบบสูญญากาศ การทดลองนี้พบว่า การทำแห้งด้วยวิธีออสโมติกร่วมกับการใช้ระบบสูญญากาศทำให้เกิดการสูญเสียไลโคปีนน้อยที่สุด รองลงมาได้แก่การทำแห้งด้วยระบบสูญญากาศ ส่วนการทำแห้งด้วยตู้อบแบบ

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ธรรมดาทำให้เกิดการสูญเสียไลโคปีนมากที่สุด ผลการทดลองนี้อธิบายว่าน้ำเชื่อมที่เคลือบผิวมะเขือเทศในการทำแห้งด้วยวิธีออสโมติกร่วมกับการใช้ระบบสูญญากาศสามารถป้องกันออกซิเจนแทรกผ่านไปยังมะเขือเทศ ดังนั้นจึงช่วยลดการเกิดออกซิเดชันของไลโคปีนได้

Zanoni และคณะ (1999) ศึกษาถึงการสูญเสียไลโคปีนในระหว่างการทำแห้ง โดยทำแห้งมะเขือเทศผ่าซีกในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 และ 110 อาศาเซลเซียส ด้วยความเร็วลม 1.5 เมตร/วินาที พบว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิ 80 อาศาเซลเซียส ไม่ทำให้เกิดการสูญเสียไลโคปีน ขณะที่การทำแห้งที่อุณหภูมิ 110 อาศาเซลเซียส มีการสูญเสียไลโคปีน 12 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับการทดลองของ Sharmar และ Maguer (1996) พบว่าการทำแห้งเนื้อมะเขือเทศบดด้วยวิธีการแช่แข็ง (freeze-drying) และการใช้ตู้อบ (อุณหภูมิ 25-75 อาศาเซลเซียส) ไม่มีการสูญเสียไลโคปีนเกิดขึ้น

Shi และคณะ (2002) ศึกษาถึงการออกซิเดชันและไอโซเมอไรเซชันของไลโคปีนภายใต้สภาวะการฉายรังสีในกระบวนการแปรรูปอาหาร โดยฉายรังสีไลโคปีนสกัดที่ละลายอยู่ในน้ำมันดอกดาโนลาที่ 2,010 (กลางแจ้ง), 900, 650, 140 (ในร่ม) ไมโครโมล/ตารางเมตร เป็นเวลา 1-6 วัน พบว่าการสูญเสียไลโคปีนเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มของแสงในการฉายรังสีเพิ่มขึ้น

Gould (1992) รายงานว่าการสกัดน้ำมะเขือเทศที่ใช้ตะแกรงขนาดละเอียดทำให้ไลโคปีนเกิดออกซิเดชันได้มากกว่าการใช้ตะแกรงหยาบ เนื่องจากมีการสัมผัสกับพื้นผิวของโลหะและอากาศมากขึ้น ซึ่งการใช้ตะแกรงหยาบจะช่วยรักษาสีของผลิตภัณฑ์มะเขือเทศให้ดีขึ้นได้

2.3 วัตถุเจือปนอาหาร (food additive) ในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศแปรรูป

มะเขือเทศได้นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมตั้งแต่ปี ค.ศ. 1847 โดย Harrison Woudhuii Crosby ได้ทดลองทำมะเขือเทศบรรจุกระป๋องและต่อมาจึงเกิดผลิตภัณฑ์จากมะเขือเทศอีกหลายชนิด เช่น เนื้อมะเขือเทศบด (tomato pulp) น้ำมะเขือเทศเข้มข้น (tomato paste) ซอสมะเขือเทศ (tomato sauce or ketchup) น้ำมะเขือเทศ (tomato juice) มะเขือเทศทั้งผลบรรจุกระป๋อง (tomato in airtight container) ซุปมะเขือเทศ (tomato soup) มะเขือเทศดอง (tomato pickle) แยมมะเขือเทศ (tomato jam) และอื่น ๆ มะเขือเทศเป็นอาหารประจำวันของชาวยุโรปและอเมริกา ปัจจุบันผลิตภัณฑ์เหล่านี้ได้แพร่หลายเป็นที่นิยมของคนไทย และมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ดังกล่าวขึ้นมาผลิตในระดับอุตสาหกรรม (สมภพ, 2530) ซึ่งในระหว่างกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปจากมะเขือเทศโดยทั่วไปประกอบไปด้วยขั้นตอนที่ต้องใช้ความร้อนและแรงกล ซึ่งเป็นสาเหตุให้ไลโคปีนเสื่อมสลาย และส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้วัตถุเจือปนอาหารก็ได้ก้าวเข้ามามีบทบาทสำคัญ เนื่องจากผลิตภัณฑ์อาหารที่ผลิตในระดับอุตสาหกรรมนั้นผลิตภัณฑ์ทุกรุ่นจะต้องมีคุณภาพสม่ำเสมอและได้มาตรฐานเหมือนกัน ซึ่งวัตถุเจือปนอาหารบางชนิดที่เติมลงไปผลิตภัณฑ์มะเขือเทศแปรรูปอาจส่งผลต่อปริมาณไลโคปีนได้เช่นกัน ตัวอย่างได้แก่

63311

ปริมาณน้ำตาล กรด และกรดอะมิโนมีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์มะเขือเทศแปรรูปโดยทำให้เกิดการสร้างรงควัตถุสีน้ำตาล (Gould, 1992) ดังนั้นจึงน่าที่จะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมกันต่อไป

ส่วนผสมและวัตถุเจือปนอาหารที่มีการใช้ในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศแปรรูปมีดังต่อไปนี้

2.3.1 กรด

ผลิตภัณฑ์หลายชนิดที่ทำจากมะเขือเทศมีการใช้กรดเป็นส่วนประกอบ กรดชนิดที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ กรดอะซิติก (acetic acid) โดยจะใช้ในรูปของน้ำส้มสายชู ซึ่งวัตถุประสงค์หลักก็เพื่อช่วยในด้านกลิ่นรส และนอกจากนี้กรดยังมีคุณสมบัติเป็นวัตถุกันเสียอีกด้วยจึงช่วยให้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้มีอายุการเก็บนานขึ้น

2.3.2 เกลือ

ในผลิตภัณฑ์จำพวกซอสมะเขือเทศนิยมเติมเกลือในปริมาณ 2 – 3 เปอร์เซ็นต์เพื่อปรุงแต่งกลิ่นรส ซึ่งการเติมเกลือในอาหารที่ประกอบด้วยกรดชนิดต่าง ๆ อยู่ด้วยจะทำให้ความรู้สึกในรสเปรี้ยวของอาหารเปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้การเติมเกลือที่ระดับความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ยังสามารถช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการหมักโดยเชื้อจุลินทรีย์ขึ้นได้

Latapi และ Berrett (2006) ได้ศึกษาถึงผลของปัจจัยก่อนการทำแห้งมะเขือเทศต่อปริมาณไลโคปีนทั้งหมดพบว่า การแช่มะเขือเทศด้วยสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ 10 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) เป็นเวลา 5 นาทีก่อนการทำแห้งมีผลทำให้เกิดการสูญเสียไลโคปีนมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการแช่มะเขือเทศด้วยสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 8 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) และสารละลายผสมระหว่างเกลือโซเดียมคลอไรด์ 10 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) กับโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 8 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร)

Guerra และคณะ (2001) ได้ศึกษาถึงผลของเกลือ กรดอะซิติก และอุณหภูมิในการพาสเจอร์ไรส์ต่อความคงตัวของแคโรทีนอยด์ในแครอทดองบรรจุกระป๋อง โดยเติมเกลือที่ระดับความเข้มข้น 0, 3.5, และ 7 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับการเติมกรดอะซิติกที่ระดับความเข้มข้น 1.33, 2.67, และ4 เปอร์เซ็นต์ และทำการพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 64, 74, และ 83 อาศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่าความเข้มข้นของกรดอะซิติกที่ใช้ในการทดลองนี้ไม่มีผลต่อความคงตัวของแอลฟา–แคโรทีนแต่มีผลทำให้ความคงตัวของเบต้า-แคโรทีนเพิ่มมากขึ้น ส่วนการเติมเกลือมีผลทำให้ความคงตัวของแคโรทีนอยด์ทั้งสองชนิดนี้ลดลง และสภาวะที่ทำให้ความคงตัวของแอลฟา–แคโรทีน และเบตา-แคโรทีนสูงสุดคือเมื่อไม่มีการเติมเกลือและใช้อุณหภูมิในการพาสเจอร์ไรซ์ประมาณ 70 อาศาเซลเซียส

2.3.3 น้ำตาลทราย

น้ำตาลทรายมีส่วนประกอบทั้งหมดเป็นซูโครส (sucrose) ซึ่งใช้เป็นสารให้ความหวานในอาหาร

Shi และคณะ (1999) ศึกษาถึงการเสื่อมสลายและการเกิดไอโซเมอไรเซชันของไลโค-ปีน ในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศที่ทำแห้งด้วยวิธีการต่างกันพบว่า มะเขือเทศที่ทำแห้งด้วยวิธีออสโมติก ร่วมกับวิธีสุญญากาศมีปริมาณไลโคปีนสูงกว่ามะเขือเทศที่ทำแห้งด้วยวิธีสุญญากาศแลวิธีการใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียว ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าน้ำเชื่อมที่เคลือบมะเขือเทศจากวิธีออสโมติก สามารถป้องกันออกซิเจนแทรกซึมเข้าสู่เนื้อเยื่อมะเขือเทศและลดการเกิดออกซิเดชันของไลโคปีน ในเนื้อเยื่อมะเขือเทศได้

เยาวภา (2545) ศึกษาถึงผลของขั้นตอนการผลิตมะเขือเทศแช่อิ่มที่มีต่อปริมาณไลโคปีน พบว่า ปริมาณไลโคปีนลดลงมากที่สุดหลังจากผ่านขั้นตอนการแช่น้ำเชื่อม 30 องศาบริกซ์ โดยที่หลังจากแช่น้ำเชื่อม 30 องศาบริกซ์ เป็นเวลา 1 วันทำให้มีการสูญเสียไลโคปีนสูงถึง 62.66 เปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศสดคว้านเมล็ดเริ่มต้น และหลังจากเปลี่ยนน้ำเชื่อมโดยเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเชื่อมวันละ 10 องศาบริกซ์จนครบ 60 องศาบริกซ์ พบว่ามีการสูญเสียไลโคปีนเพิ่มขึ้นเป็น 80.46 เปอร์เซ็นต์

2.3.4 วัตถุปรุงแต่งกลิ่นรส

วัตถุปรุงแต่งกลิ่นรสที่ใช้ในผลิตภัณฑ์แปรรูปจากมะเขือเทศส่วนใหญ่เป็นเครื่องเทศ ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของสด สารสกัดจากธรรมชาติ หรือน้ำมันหอมระเหย เครื่องเทศที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศแปรรูป ได้แก่ หัวหอม กระเทียม พริกไทย ออริกาโน (oregano) และไธม (thyme) เป็นต้น

2.3.5 วัตถุเจือปนอาหารที่ช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัส

ผลิตภัณฑ์แปรรูปจากมะเขือเทศ เช่น ซอส ซุป และแยมต้องการลักษณะของเนื้อสัมผัสที่ข้นและหนืด ซึ่งวัตถุเจือปนอาหารที่ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะดังกล่าว ได้แก่ แป้งชนิดต่าง ๆ เช่น แป้งข้าวโพด แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง แป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง และสตาร์ชดัดแปร เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการใช้กัม (gum) ชนิดต่าง ๆ ทั้งชนิดที่เป็นกัมจากธรรมชาติและกัมที่ได้จากการสังเคราะห์

2.3.6 สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน

สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เติมลงไปในอาหารเป็นสิ่งที่ช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขององค์ประกอบในอาหาร ซึ่งจะช่วยชะลอปฏิกิริยานี้ให้เกิดช้าลง ทำให้อายุการเก็บของอาหารดีขึ้น ในระหว่างกระบวนการแปรรูปมะเขือเทศมักมีขั้นตอนที่ต้องใช้ความร้อนและแรงกลจึงทำให้มะเขือเทศสัมผัสกับอุณหภูมิสูงและออกซิเจนโดยตรง อันเป็นสาเหตุทำให้ไลโคปีนเสื่อมสลายจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ดังนั้นการใช้สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในปริมาณและขั้นตอนการแปรรูปที่เหมาะสมอาจช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการเสื่อมสลายของไลโคปีนได้

สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ใช้กันโดยทั่วไปในอาหารสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

2.3.6.1 สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ได้จากการสังเคราะห์

สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ได้จากการสังเคราะห์ที่นิยมใช้กันทั่วไป ได้แก่ บีเอช-เอ (BHA , butylated hydroxyl anisol) บีเอชที (BHT , butylated hydroxyl toluene) และโพรพิล-แกลเลต (propylgallate) เหตุผลที่มีการนิยมใช้สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันประเภทนี้กันมาก เนื่องจากสารเหล่านี้จะมีวงแหวนอะโรมาติก (aromatic ring) ที่มีหมู่แอลคิล (alkyl group) อยู่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้ามีหมู่เทอเชียรีบิวทิล (tertiarybuthyl) อยู่จะทำให้สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันนั้นมีประสิทธิภาพดีขึ้น

2.3.6.2 สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ได้จากธรรมชาติ

ปัจจุบันเป็นที่ทราบกันว่าสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ได้จากการสังเคราะห์สามารถก่อให้เกิดสารพิษได้ (ศิวาพร, 2546) และในกระบวนการผลิตสารเหล่านี้ยังต้องใช้ต้นทุนสูง ด้วยเหตุผลดังกล่าวนักวิทยาศาสตร์จึงหันมาให้ความสนใจกับสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ได้จากธรรมชาติมากขึ้น สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ได้จากธรรมชาติที่นิยมใช้กันมาก ได้แก่ โทโคฟีรอล กรดแอสคอร์บิก รวมไปถึงสารสกัดต่าง ๆ ที่ได้จากพืชซึ่งมีองค์ประกอบของสารฟีนอลิก (phenolic compounds) ที่มีสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ตัวอย่างของสารสกัดจากพืชที่มีการนำมาใช้เป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในผลิตภัณฑ์อาหารโดยเฉพาะผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ได้แก่ สารสกัดจากโรสแมรี (rosemary extract) (Nissen *et al.*, 2000) และสารสกัดจากเปลือกและเมล็ดส้ม (สุริญญา, 2546)

Ribeiro และคณะ (2003) ศึกษาถึงผลของแอลฟา-โทโคฟีรอลต่อความคงตัวของไลโคปีนในตัวอย่างอาหาร 3 ชนิด ได้แก่ นมขาดมันเนย น้ำส้ม และน้ำ โดยนำตัวอย่างอาหารทั้งสามชนิดเติมไลโคปีนในปริมาณที่เท่ากันและเติมแอลฟา-โทโคฟีรอลในปริมาณ 0, 1, และ 10 มิลลิกรัม/ลิตร จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนทุกสัปดาห์จนกระทั่งครบสามสัปดาห์พบว่าแอลฟา-โทโคฟีรอลช่วยให้ไลโคปีนมีความคงตัวเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมากในตัวอย่างอาหารทั้ง 3 ชนิด แต่ไม่พบความแตกต่างระหว่างความคงตัวของไลโคปีนเมื่อใช้แอลฟา-โทโคฟีรอลปริมาณ 1 และ 10 มิลลิกรัม/ลิตร

Biacs และ Daood (2000) ศึกษาถึงความคงตัวของแคโรทีนอยด์ชนิดต่าง ๆ จากมะเขือเทศต่อการเกิดออกซิเดชันของกรดลิโนเลอิกโดยมีเอนไซม์ไลปอกซิจิเนส (lipoxigenase , LOX) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในสภาวะที่มีกรดแอสคอร์บิกอยู่ ซึ่งพบว่าในช่วงแรกของการเกิดปฏิกิริยากรดแอสคอร์บิกทำหน้าที่ในการยับยั้งอนุมูลอิสระที่เกิดจากกรดลิโนเลอิกได้น้อยเมื่อเปรียบเทียบกับไลโคปีน แต่เมื่อเวลาผ่านไปกรดแอสคอร์บิกสามารถจับกับไลโคปีนในรูปที่ถูกออกซิไดซ์แล้วให้กลับไปอยู่ในรูปแบบเดิมที่สมบูรณ์ โดยที่ปฏิกริยานี้จะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์เมื่อเพิ่มปริมาณกรดแอสคอร์บิกเป็น 1.8 มิลลิโมลาร์ ซึ่งจะไม่ทำให้การสูญเสียไลโคปีนเกิดขึ้น ส่วนแอลฟา-โทโคฟีรอลอะซิเตดสามารถยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไลโคปีนได้เช่นกัน แต่ความเข้มข้นที่ใช้

เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกในการที่จะยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไล-โคปีนได้เท่ากันจะต้องใช้แอลฟา-โทโคฟีรอลอะซิเตดในปริมาณที่มีความเข้มข้นสูงกว่าถึง 10 เท่า การทดลองนี้ยังได้เสนอแนะว่าสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มีคุณสมบัติละลายในไขมันเหมาะสมที่จะนำมาใช้ป้องกันการเกิดออกซิเดชันในตัวกลางที่เป็นน้ำ

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 มะเขือเทศสด

มะเขือเทศสดพันธุ์ลูกท้อ *Lycopersicon Esculentum Mill Var. Tor*) เลือกผลสุกที่มีสีแดงทั้งผล ซื้อจากทอปส์ซุปเปอร์มาร์เก็ต เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

3.1.2 วัตถุเจือปนอาหารที่ใช้เติมในเนื้อมะเขือเทศบด

3.1.2.1 เกลือโซเดียมคลอไรด์

3.1.2.2 น้ำตาลซูโครส

3.1.2.3 น้ำส้มสายชูกลั่น 5 เปอร์เซ็นต์

3.1.2.4 แป้งข้าวโพด

3.1.2.5 แอลฟาโทโคฟีรอล (DL-alphatocopherol) Merck, Germany

3.1.2.6 กรดแอสคอร์บิก (L(+)ascorbic acid) Metha,Thailand

3.1.2.7 บีเอชที (BHT , butylated hydroxyl toluene) BDH, England

3.1.2.8 โพรพิลแกลเลต (propyl gallate) Fluka, Switzerland

3.1.2.9 แซนแทนกัม (xanthan gum) Sigma, USA

3.1.2.10 สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง

เตรียมจากกระเจี๊ยบแดงแห้งซึ่งซื้อจากทอปส์ซุปเปอร์มาร์เก็ต เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

3.1.2.11 สารสกัดจากเปลือกมะม่วง

เตรียมจากมะม่วงสุกพันธุ์น้ำดอกไม้ เลือกผลที่มีสีเหลืองนวลทั้งผล ซื้อจากตลาดหัว-ตะเข้ เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

3.2 อุปกรณ์

3.2.1 อุปกรณ์ในการเตรียมเนื้อมะเขือเทศบด

3.2.1.1 เครื่องบดผสม (blender) Phillips, USA

3.2.1.2 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง Mettler AE 3000, Switzerland

3.2.1.3 เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง Mettler PE 3000, Switzerland

3.2.1.4 เตาแก๊ส

3.2.1.5 เทอร์โมมิเตอร์ (อุณหภูมิ 0-100°ซ)

3.2.1.6 เครื่องแก้ว

3.2.2 อุปกรณ์ในการเตรียมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงและเปลือกมะม่วง

3.2.2.1 เครื่องระเหยระบบสูญญากาศ	Buchi, Switzerland
3.2.2.2 เครื่องเขย่า	Gerhardt, Germany
3.2.1.3 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง	Mettler AE 3000, Switzerland
3.2.2.4 Hot plate	Velp scientifica, Italy
3.2.2.5 ปั๊มสูญญากาศ	Sibata, Japan
3.2.2.6 เครื่องบดผสม	Phillips, USA
3.2.2.7 ชุดรีฟลักซ์	
3.2.2.8 เครื่องแก้ว	

3.2.3 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์

3.2.3.1 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง	Mettler AE 3000, Switzerland
3.2.3.2 เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์	Shimadzu, Japan
3.2.3.3 ตู้อบแบบ forced air	Memmert, Germany
3.2.3.4 Thermocouple Recorder	Chino, Japan
3.2.3.5 โถดูดความชื้น	
3.2.3.6 เครื่องแก้ว	

3.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1 อะซิโตน (acetone)	Merck, Germany
3.3.2 เอธานอล (Ethanol)	Lab scan, Thailand
3.3.3 ปิโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum ether)	BDH, England

3.4 สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร-ลาดกระบัง

3.5 วิธีดำเนินการทดลอง

3.5.1 การเตรียมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงและเปลือกมะม่วงสุก

3.5.1.1 การเตรียมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง

นำกระเจี๊ยบแดงแห้งบดละเอียด 25 กรัม มาสกัดด้วยเอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์ปริมาตร

250 มิลลิลิตรในขวดรูปชมพู่ โดยนำเข้าเครื่องเขย่า (150 รอบ/นาที) ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 18 ชั่วโมง นำสารสกัดที่ได้ไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 จากนั้นระเหยตัวทำละลายออกด้วยระบบสุญญากาศโดยใช้เครื่อง rotary evaporator ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และเก็บตัวอย่างที่สกัดได้ไว้ในขวดสีชาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

3.5.1.2 การเตรียมสารสกัดจากเปลือกมะม่วง

นำเปลือกมะม่วงสุก 20 กรัม เติมเอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 80 มิลลิลิตร และบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดผสมที่ความเร็วสูงสุด นำตัวอย่างที่บดละเอียดแล้วใส่ในขวดก้นกลมขนาด 500 มิลลิลิตร สกัดโดยวิธีการรีฟลักซ์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ให้เย็น กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 โดยใช้กรวยบุชเนอร์ จากนั้นระเหยตัวทำละลายออกด้วยระบบสุญญากาศโดยใช้เครื่อง rotary evaporator ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และเก็บสารสกัดที่ได้ไว้ในขวดสีชาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

3.5.2 การเตรียมเนื้อมะเขือเทศบด

นำผลมะเขือเทศสดพันธุ์ลูกท้อมาล้างให้สะอาด ผ่าครึ่ง คว้านเอาไส้ออก และนำไปบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดผสมที่ความเร็วสูงสุด เป็นเวลา 5 นาที

3.5.3 ศึกษาจลนพลศาสตร์เบื้องต้นของการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนด้วยสภาวะที่ใช้ในการทดลอง

3.5.3.1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนด้วยสภาวะที่ใช้ในการทดลอง

ชั่งตัวอย่างเนื้อมะเขือเทศบด 200 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตร นำไปต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และใช้แท่งแก้วคนอย่างสม่ำเสมอ (ทุก ๆ 10 นาที) บันทึกอุณหภูมิของตัวอย่างตั้งแต่เริ่มให้ความร้อนทุก ๆ 5 นาทีจนกระทั่งอุณหภูมิคงที่ เมื่ออุณหภูมิของตัวอย่างเริ่มคงที่ให้บันทึกอุณหภูมิของตัวอย่างทุก ๆ 10 นาที ตลอดการทดลองจนครบเวลา 3 ชั่วโมงโดยใช้ Thermocouple recorder ในการวัดอุณหภูมิ นำอุณหภูมิที่บันทึกได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิบนแกน y และระยะเวลาในการให้ความร้อนบนแกน x

3.5.3.2 ศึกษาค่าคงที่ของการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนด้วยสภาวะที่ใช้ในการทดลอง

ชั่งตัวอย่างเนื้อมะเขือเทศบด 200 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตร นำไปต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และใช้แท่งแก้วคนอย่างสม่ำเสมอ (ทุก ๆ 10 นาที) จากนั้นแบ่งตัวอย่างมาวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนตามวิธีในข้อ 3.5.5.1 และปริมาณความชื้นตามวิธี AOAC (1990) ทุกครึ่งชั่วโมงจนครบ 4 ชั่วโมง นำปริมาณไลโคปีนโดยน้ำหนักแห้งที่วิเคราะห์ได้มาหาค่าคงที่ของการสูญเสียไลโคปีนทั้งหมด (k (นาที$^{-1}$)) โดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(CA/CA_0)$ บนแกน y กับเวลา (t) บนแกน x ดังสมการ (3.1) (Lee and Chen, 2002)

$$\ln(CA/CA_0) = -kt \quad (3.1)$$

เมื่อ CA = ปริมาณไลโคปีนทั้งหมด (มิลลิกรัม/100กรัมโดยน้ำหนักแห้ง) ในเนื้อมะเขือเทศบดหลังจากให้ความร้อนที่เวลา t

CA_0 = ปริมาณไลโคปีนเริ่มต้นทั้งหมด (มิลลิกรัม/100กรัมโดยน้ำหนักแห้ง) ในเนื้อมะเขือเทศบด

t = ระยะเวลาในการให้ความร้อน (นาที)

3.5.3.3 ศึกษาค่าครึ่งชีวิตของไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนด้วยสภาวะที่ใช้ในการทดลอง

นำปริมาณไลโคปีนที่วิเคราะห์ได้จากหัวข้อ 3.5.3.2 มาคำนวณค่าครึ่งชีวิตของไลโคปีน ($t_{1/2}$) ดังสมการ (3.2)

$$N_A = N_O / 2^n \text{ และ } T = nt_{1/2} \quad (3.2)$$

เมื่อ N_A = ปริมาณไลโคปีนที่เหลือ (มิลลิกรัม/100กรัมโดยน้ำหนักแห้)

N_O = ปริมาณไลโคปีนเริ่มต้น (มิลลิกรัม/100กรัมโดยน้ำหนักแห้ง)

n = จำนวนครั้งในการสลายตัวของครึ่งชีวิต

T = ระยะเวลาที่ไลโคปีนสลายตัว

3.5.4 ศึกษาผลของการเติมวัตถุเจือปนอาหารแต่ละชนิดต่อการสูญเสียไลโคปีนในระหว่างการให้ความร้อนเนื้อมะเขือเทศบด

ชั่งตัวอย่างเนื้อมะเขือเทศบด 200 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตร จำนวน 4 ใบ เติมวัตถุเจือปนอาหารแต่ละชนิดที่ต้องการศึกษาดังตารางที่ 3.1 คนให้เข้ากันดี นำไปต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และใช้แท่งแก้วคนอย่างสม่ำเสมอ (ทุก ๆ 10 นาที) โดยควบคุมสภาวะการให้ความร้อนเหมือนกับการทดลองในข้อ 3.5.3 ทุกประการ จากนั้นเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนตามวิธีในข้อ 3.5.5.1 (ตัวอย่างที่เติมน้ำตาลใช้วิธีวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนตามวิธีในข้อ 3.5.5.2) และปริมาณความชื้นตามวิธี AOAC (1990) ทุก 1 ชั่วโมงจนครบ 3 ชั่วโมง

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของปริมาณไลโคปีนโดยใช้แผนการทดสอบแบบ Complete Randomized Block Design (RCBD) ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS version 7.0 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

ตารางที่ 3.1 ชนิดและปริมาณของวัตถุเจือปนอาหารที่เติมลงในเนื้อมะเขือเทศบด

ชนิดของวัตถุเจือปนอาหาร	ปริมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
เกลือโซเดียมคลอไรด์	0 , 1 , 3 , และ 5
น้ำตาลซูโครส	0 , 5 , 10 , และ 15
น้ำส้มสายชูกลั่น 5 เปอร์เซ็นต์	0 , 5 , 10 , และ 15
กรดแอสคอร์บิก	0 , 0.01 , 0.03 , 0.05 , 0.1 , 0.2 , และ 0.3
แอลฟาโทโคฟีรอล	0 , 0.01 , 0.03 , และ 0.05
บีเอชที	0 , 0.01 , 0.02 , และ 0.03
โพรพิลแกลเลต	0 , 0.01 , 0.02 , และ 0.03
สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง	0 , 0.1 , 0.2 , และ 0.3
สารสกัดจากเปลือกมะม่วง	0 , 0.1 , 0.2 , และ 0.3
แป้งข้าวโพด	0 , 1 , 2 , และ 3
แซนแทนกัม	0 , 0.01 , 0.03 , และ 0.05

3.5.5 วิธีวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีน

3.5.5.1 วิธีวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนโดยดัดแปลงจากวิธีของ Beerh และ Siddappa (1959)

ชั่งตัวอย่างเนื้อมะเขือเทศบด 0.5000 กรัม ใส่กรวยแยกขนาด 250 มิลลิลิตร สกัดด้วยอะซิโตนปริมาตร 50 มิลลิลิตร โดยเขย่าเป็นเวลา 10 นาที ทิ้งไว้ให้แยกชั้น ไขเอาส่วนใสของอะซิโตนไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 473 นาโนเมตร วิเคราะห์ตัวอย่างละ 2 ซ้ำ นำไปคำนวณหาปริมาณไลโคปีนโดยใช้ค่า extinction coefficient (ε) เท่ากับ 18.6×10^4 โมล/ลิตร/เซนติเมตร และใช้น้ำหนักโมเลกุลของออล-ทรานซ์ไลโคปีนเท่ากับ 536.85 ดาลตัน

3.5.5.2 วิธีวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนโดยดัดแปลงจากวิธีที่รายงานในลักขณาและนิตยา (2540)

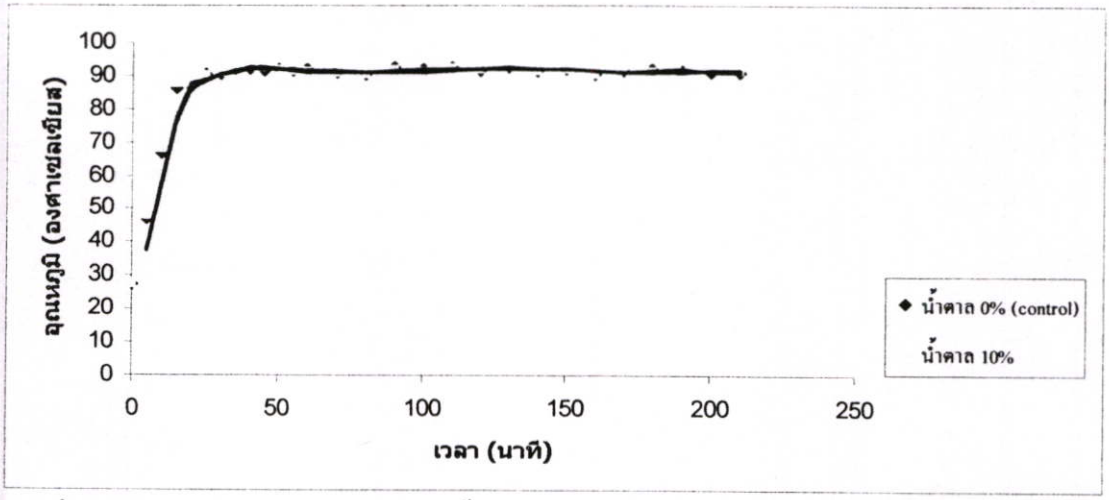
นำตัวอย่างเนื้อมะเขือเทศบด 0.5000 กรัม ใส่กรวยแยกขนาด 250 มิลลิลิตร เติมปิโตรเลียมอีเทอร์ปริมาตร 25 มิลลิลิตร และน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร เขย่าเป็นเวลา 10 นาที ทิ้งไว้ให้แยกชั้น ไขเอาส่วนใสของปิโตรเลียมอีเทอร์ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 473 นาโนเมตร วิเคราะห์ตัวอย่างละ 2 ซ้ำ นำไปคำนวณหาปริมาณไลโคปีนโดยใช้ค่า extinction coefficient (ε) เท่ากับ 18.6×10^4 โมล/ลิตร/เซนติเมตร และใช้น้ำหนักโมเลกุลของ ออล-ทรานซ์ไล-โคปีนเท่ากับ 536.85 ดาลตัน

บทที่ 4

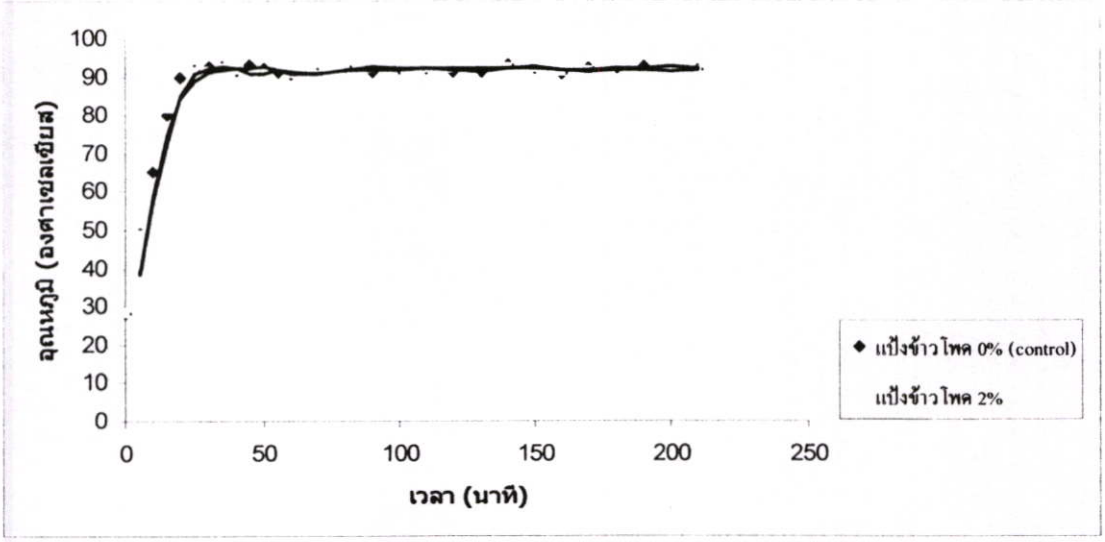
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อน

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อน โดยการนำเนื้อมะเขือเทศบดมาให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และจดบันทึกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทุก ๆ 10 นาที พบว่าอุณหภูมิของเนื้อมะเขือเทศบดเพิ่มขึ้นจาก 28 องศาเซลเซียสเป็น 90 องศาเซลเซียสภายในระยะเวลา 25 นาที และคงที่ที่อุณหภูมิ 90 ถึง 92 อาศาเซลเซียสตลอดระยะเวลา 3 ชั่วโมงของการให้ความร้อน นอกจากนี้ในการทดลองยังได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเนื้อมะเขือเทศบดที่เติมและไม่เติมวัตถุเจือปนอาหาร ซึ่งวัตถุเจือปนอาหารที่นำมาใช้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ได้แก่ น้ำตาล 10 เปอร์เซ็นต์ และแป้งข้าวโพด 2 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองนี้พบว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเนื้อมะเขือเทศบดที่เติมและไม่เติมวัตถุเจือปนอาหารมีค่าใกล้เคียงกัน (ภาพที่ 4.1, 4.2) จึงทำให้สามารถสรุปได้ว่าการเติมวัตถุเจือปนอาหารไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเนื้อมะเขือเทศบดในสภาวะที่ทำการทดลอง



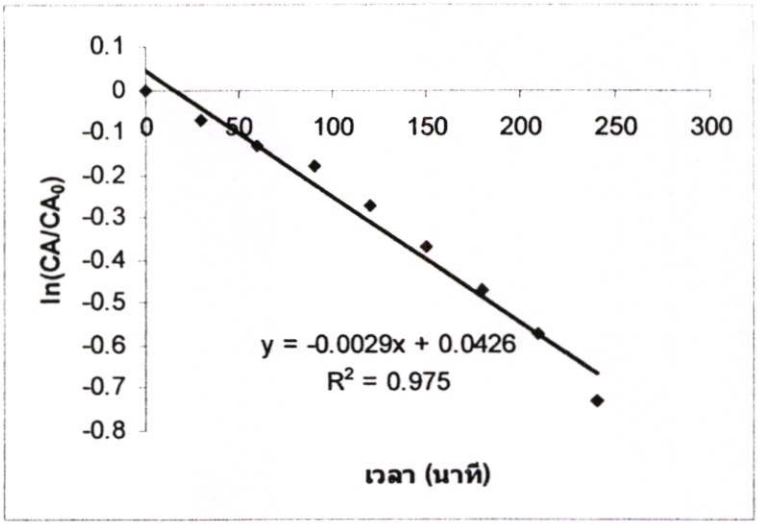
ภาพที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเนื้อมะเขือเทศบดที่เติมและไม่เติมน้ำตาลในระหว่างการให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเนื้อมะเขือเทศบดที่เติมและไม่เติมแป้งข้าวโพดในระหว่างการให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

4.2 การศึกษาจลนพลศาสตร์เบื้องต้นของการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อน

การศึกษาจลนพลศาสตร์เบื้องต้นของการสูญเสียไลโคปีนในระหว่างการให้ความร้อนเนื้อมะเขือเทศบดในสภาวะที่ทำการทดลอง โดยนำเนื้อมะเขือเทศบดที่ไม่มีการเติมวัตถุเจือปนอาหารมาให้ความร้อนในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนทั้งหมดทุก ๆ ครึ่งชั่วโมง จนครบ 4 ชั่วโมงพบว่า ค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีนมีค่าเท่ากับ 0.0029 ต่อนาที (ภาพที่ 4.3) ทั้งนี้ค่าที่ได้ใกล้เคียงกับผลการทดลองของ Sharma และ Maguer (1996) ซึ่งได้รายงานค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส โดยมีค่าเท่ากับ 0.0023 ต่อนาที และจากการทดลองนี้สามารถคำนวณค่าครึ่งชีวิตของไลโคปีนในสภาวะที่ทำการทดลองได้เท่ากับ 3.82 ชั่วโมง ซึ่งหมายถึง ณ สภาวะที่ทำการทดลองเมื่อเวลาผ่านไป 3.82 ชั่วโมงปริมาณไลโคปีนจะลดลงไปครึ่งหนึ่งของปริมาณเริ่มต้น และยังสามารถนำมาคำนวณหาปริมาณไลโคปีนที่เหลืออยู่ ณ เวลาต่าง ๆ ในสภาวะที่ทำการทดลองได้อีกด้วย

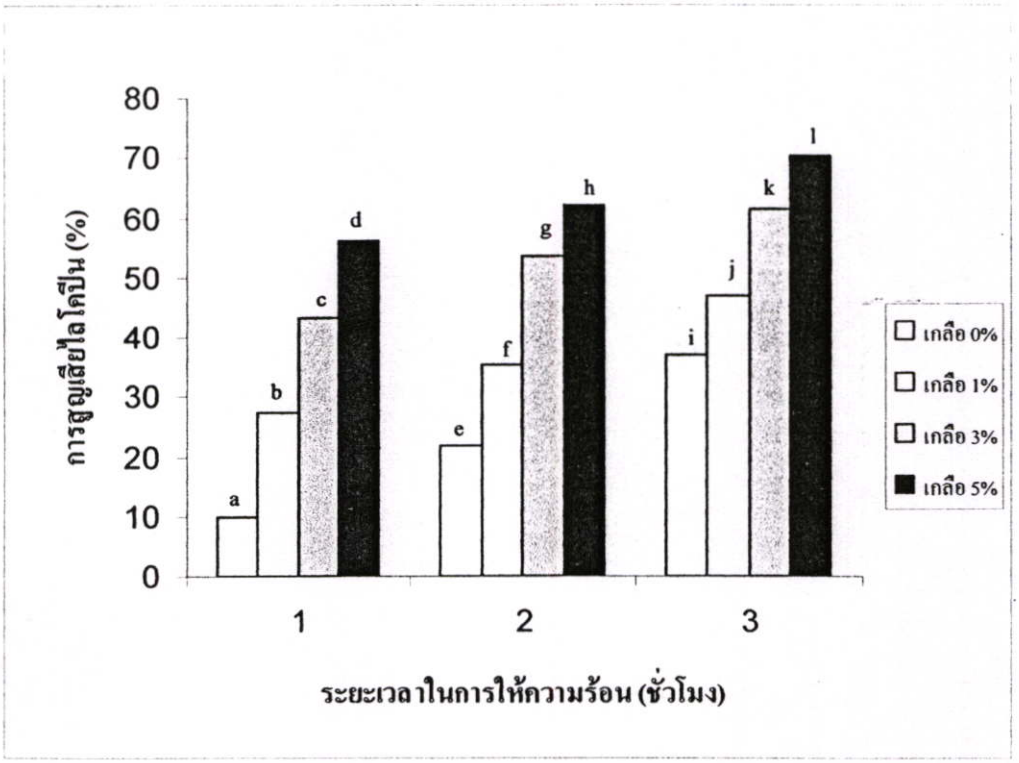


ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(CA/CA_0)$ กับเวลาสำหรับใช้หาค่าคงที่ของการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศเมื่อให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

4.3 ผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อน

จากการศึกษาผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อค่าร้อยละของการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1, 2, และ 3 ชั่วโมง โดยเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 1, 3, และ 5 พบว่า การเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ทุกระดับความเข้มข้นมีผลทำให้ค่าร้อยละของการสูญเสียไลโคปีนเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในทุกระยะเวลาที่ให้ความร้อนเมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อมะเขือเทศบดที่ให้ความร้อนโดยไม่มีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ ซึ่งค่าร้อยละของการสูญเสียไลโคปีนจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่เติมเพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 4.4) ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการทดลองของ Latapi และ Berrett (2006) ที่ศึกษาถึงผลของปัจจัยก่อนการทำแห้งมะเขือเทศต่อปริมาณไลโคปีนทั้งหมดพบว่า การแช่มะเขือเทศด้วยสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ 10 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) เป็นเวลา 5 นาทีก่อนการทำแห้งมีผลทำให้เกิดการสูญเสียไลโคปีนมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการแช่มะเขือเทศด้วยสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 8 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) และสารละลายผสมระหว่างเกลือโซเดียมคลอไรด์ 10 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) กับโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 8 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) นอกจากนี้ยังมีการทดลองที่ศึกษาผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์และการให้ความร้อนต่อแคโรทีนอยด์ชนิดอื่น ได้แก่ การทดลองของ Guerra และคณะ (2001) ที่ศึกษาถึงผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ และอุณหภูมิในการพาสเจอร์ไรส์ต่อความคงตัวของแคโรทีนอยด์ในแครอทดองบรรจุ

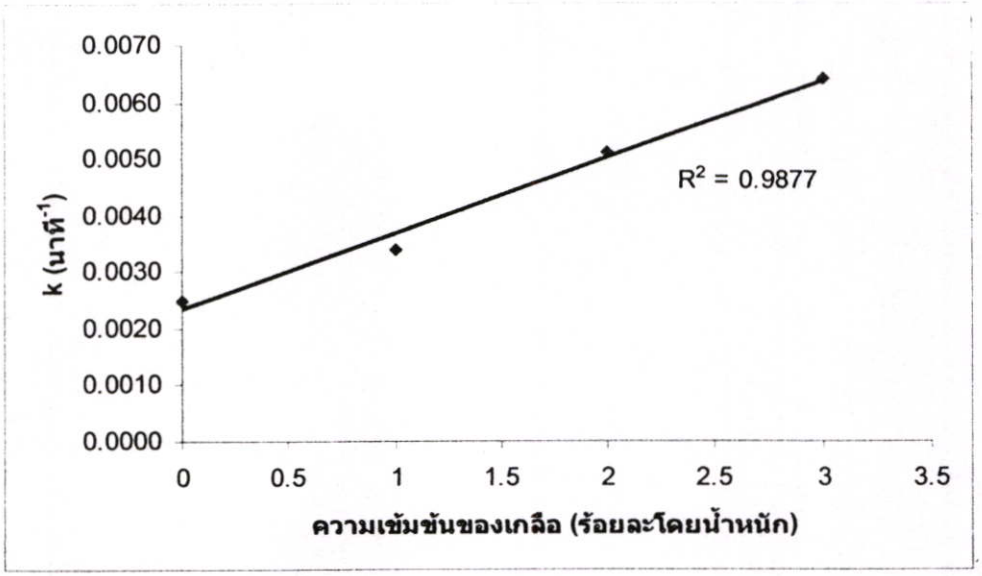
กระป๋องพบว่า การเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์มีผลทำให้ความคงตัวของแอลฟา-แคโรทีน (α-carotene) และเบต้า-แคโรทีน (β-carotene) ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้ถึงแม้ว่าจะเป็นแคโรทีนอยด์และวัตถุดิบต่างชนิดกันก็ตาม



ภาพที่ 4.4 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดที่เติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาต่างกัน

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันบนกราฟแท่งหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

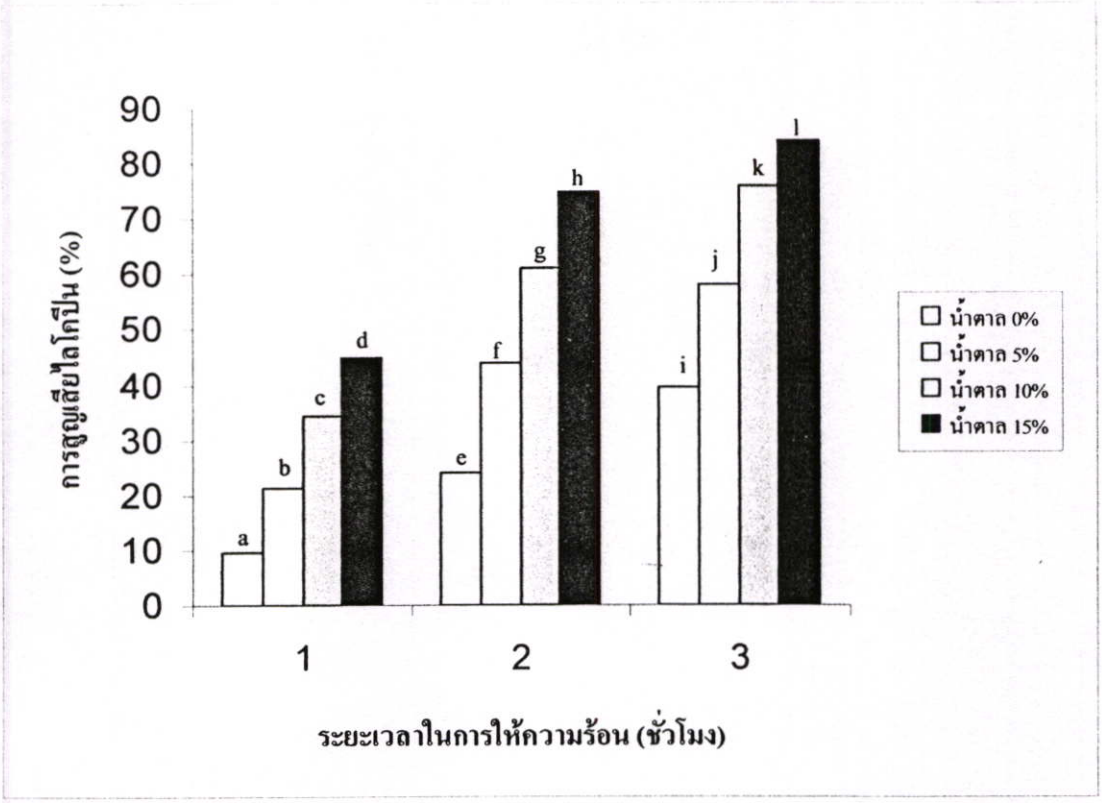
เมื่อพิจารณาผลของความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีน (k) ในเนื้อมะเขือเทศบดพบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์มีผลทำให้ค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีนเพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 4.5) ซึ่งการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 1, 3, และ 5 มีผลทำให้ค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีนเพิ่มขึ้นตามลำดับดังนี้ 0.0025, 0.0034, 0.0051, และ 0.0064 ต่อนาที



ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีน (k) กับความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ในเนื้อมะเขือเทศบดที่ให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

4.4 ผลของน้ำตาลซูโครสต่อการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อน

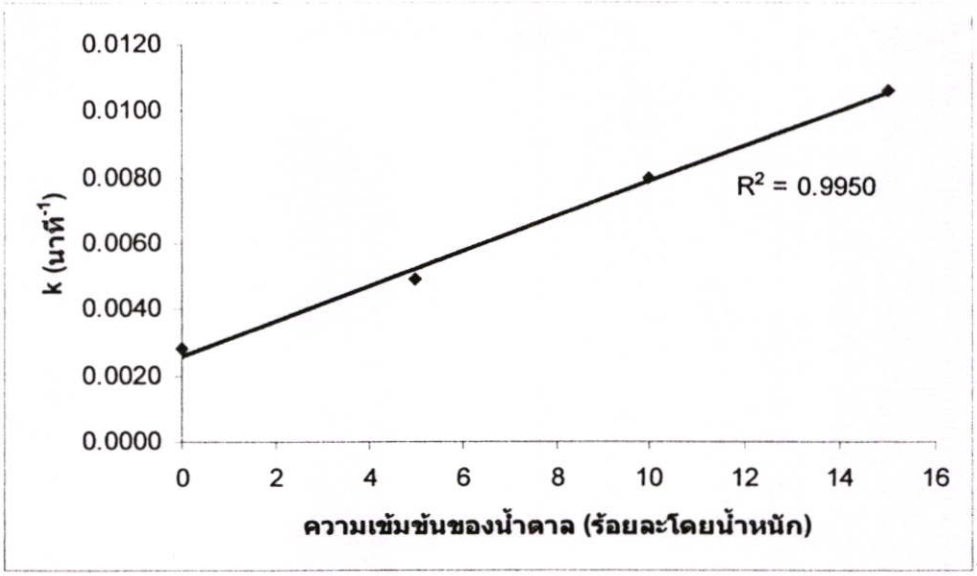
การทดลองในหัวข้อนี้ได้เปลี่ยนตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดไลโคปีนจากตัวอย่างเนื้อมะเขือเทศบดในขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนจากอะซิโตนมาใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์ โดยการทดลองในหัวข้ออื่นจะใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลายในการสกัดไลโคปีน เนื่องจากพบว่าอะซิโตนไม่สามารถสกัดไลโคปีนออกจากตัวอย่างเนื้อมะเขือเทศบดที่เติมน้ำตาลซูโครสได้อย่างสมบูรณ์ ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาผลของน้ำตาลซูโครสต่อค่าร้อยละของการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1, 2, และ 3 ชั่วโมง โดยเติมน้ำตาลซูโครสที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 5, 10, และ 15 พบว่า การเติมน้ำตาลที่ทุกระดับความเข้มข้นมีผลทำให้ค่าร้อยละของการสูญเสียไลโคปีนเพิ่มสูงขึ้นมากอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในทุกระยะเวลาที่ให้ความร้อนเมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อมะเขือเทศบดที่ให้ความร้อนโดยไม่มีการเติมน้ำตาลซูโครส ซึ่งค่าร้อยละของการสูญเสียไลโคปีนจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณน้ำตาลซูโครสที่เติมเพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 4.6) ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการทดลองของเยาวภา (2545) ที่ศึกษาผลของขั้นตอนการผลิตมะเขือเทศแช่อิ่มที่มีต่อปริมาณไลโคปีน โดยพบว่า ปริมาณไลโคปีนลดลงมากที่สุดหลังจากผ่านขั้นตอนการแช่น้ำเชื่อมซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียไลโคปีนถึง 80.46 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4.6 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดที่เติมน้ำตาลซูโครสที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลาต่างกัน

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันบนกราฟแท่งหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาผลของความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสต่อค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีน (k) พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสมีผลทำให้ค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีนเพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 4.7) ซึ่งการเติมน้ำตาลซูโครสที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 5, 10, และ 15 มีผลทำให้ค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีนเพิ่มขึ้นตามลำดับดังนี้ 0.0028, 0.0049, 0.0080, และ 0.0106 ต่อนาที



ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีน (k) กับความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสในเนื้อมะเขือเทศบดที่ให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

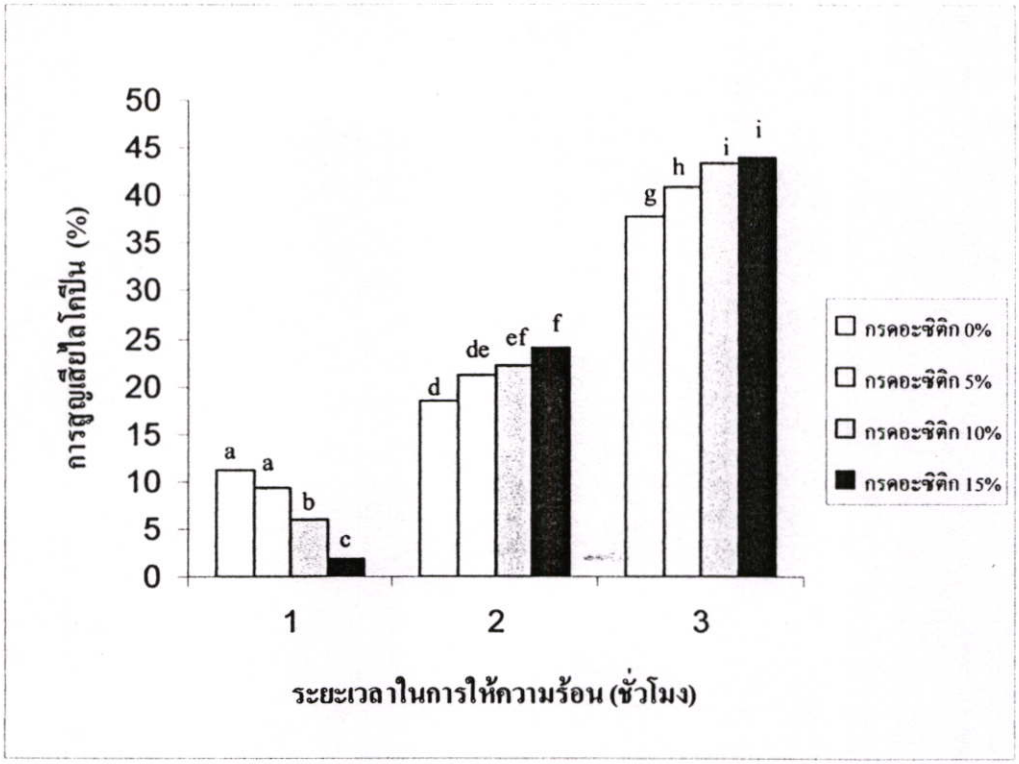
จากผลการทดลองทั้งสองปัจจัยข้างต้นนี้สามารถเห็นได้ชัดว่าทั้งการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์หรือการเติมน้ำตาลซูโครสต่างก็มีผลต่อการลดลงของปริมาณไลโคปีน โดยปริมาณไลโคปีนที่ลดลงในระหว่างการให้ความร้อนเนื้อมะเขือเทศบดมีค่าสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่เติมเกลือโซเดียมคลอ-ไรด์หรือน้ำตาลซูโครส การที่ตัวอย่างเนื้อมะเขือเทศบดที่เติมเกลือโซเดียมคลอไรด์หรือน้ำตาลซูโครสมีการสูญเสียปริมาณไลโคปีนในระหว่างการให้ความร้อนสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้เติมเกลือโซเดียมคลอไรด์หรือน้ำตาลซูโครสไม่น่าจะมีสาเหตุมาจากเกลือโซเดียมคลอไรด์หรือน้ำตาลซูโครสที่เติมนั้นมีผลทำให้อุณหภูมิของเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการต้มสูงกว่าเมื่อไม่มีการเติมสารใด ๆ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเนื้อมะเขือเทศบดทั้งกรณีที่ไม่เติมน้ำตาลซูโครสหรือเติมน้ำตาลซูโครสร้อยละ 10 มีลักษณะที่ไม่แตกต่างกัน (ภาพที่ 4.1)

โดยธรรมชาติไลโคปีนในมะเขือเทศจะจับแน่นอยู่กับโมเลกุลของโปรตีนในเนื้อเยื่อมะเขือเทศ (Hussein and El-Tohamy, 1990) ซึ่งเกลือโซเดียมคลอไรด์หรือน้ำตาลซูโครสอาจมีผลส่งเสริมให้เกิดการแพร่ของไลโคปีนจากเนื้อเยื่อมะเขือเทศออกมาสู่สารละลายภายนอก ซึ่งทำให้ไลโคปีนมีโอกาสสัมผัสกับแสง ความร้อน และออกซิเจนมากขึ้น ความเสถียรของไลโคปีนจึงน้อยกว่ากรณีที่ไม่มีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์หรือน้ำตาลซูโครส

4.5 ผลของกรดอะซิติกต่อการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อน

จากการศึกษาผลของกรดอะซิติกต่อค่าร้อยละของการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1, 2, และ 3 ชั่วโมง ซึ่งในการทดลองนี้ใช้น้ำส้มสายชูกลั่น 5 เปอร์เซ็นต์เติมลงไปที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 5, 10, และ 15 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้เท่ากับมีเนื้อกรดอะซิติกอยู่ร้อยละ 0, 0.25, 0.50, และ 0.75 โดยน้ำหนักตามลำดับ พบว่า การเติมกรดอะซิติกมีผลทำให้ค่าร้อยละของการสูญเสียไลโคปีนลดต่ำลงในชั่วโมงแรก แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ของการเติมกรดอะซิติกที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 5 เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อมะเขือเทศบดที่ไม่มีการเติมกรดอะซิติก (ภาพที่ 4.8) ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดลองของ Guerra และคณะ (2001) ที่ศึกษาถึงผลของกรดอะซิติกและอุณหภูมิในการพาสเจอร์ไรส์ต่อความคงตัวของแคโรทีนอยด์ในแครอท ดองบรรจุกระป๋อง พบว่าการเติมกรดอะซิติกมีผลทำให้ความคงตัวของเบต้าแคโรทีนเพิ่มมากขึ้น

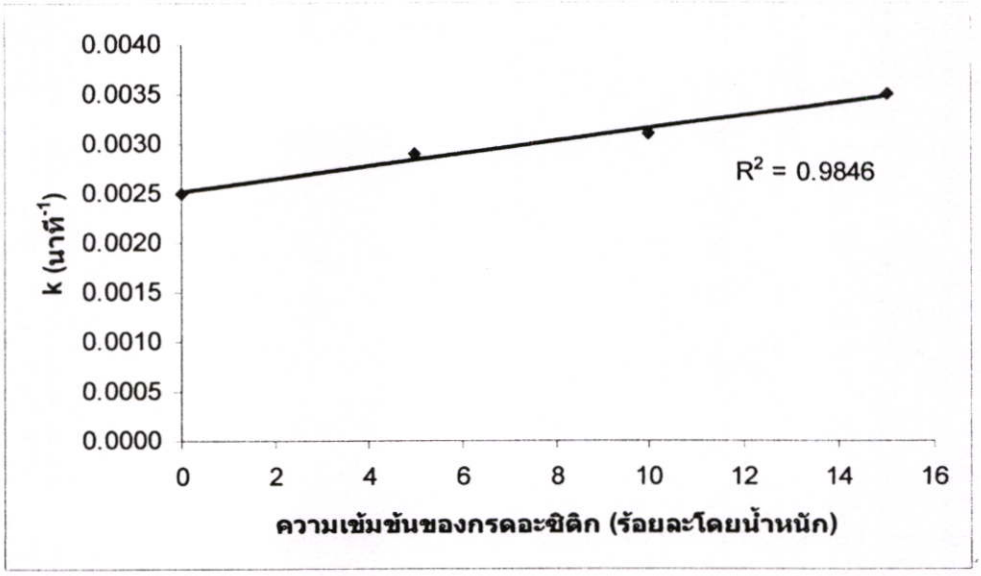
ในชั่วโมงที่ 2 และ 3 ของการให้ความร้อนพบว่าการเติมกรดอะซิติกมีผลทำให้ค่าร้อยละของการสูญเสียไลโคปีนเพิ่มมากขึ้นตามระดับความเข้มข้นของกรดอะซิติกที่ใช้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการให้ความร้อนเป็นระยะเวลานานทำให้ปริมาณน้ำระเหยออกส่งผลให้ในระบบมีความเป็นกรดเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสภาวะความเป็นกรดสูงร่วมกับการให้ความร้อนเป็นระยะเวลานานจะทำให้เกิดการสูญเสียไลโคปีนเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามการเติมกรดอะซิติกมีผลทำให้ค่าร้อยละของการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดมีค่าเพิ่มขึ้นน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์หรือน้ำตาลซูโครส โดยมีค่าการสูญเสียไลโคปีนร้อยละ 43.88 ในขณะที่การเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์และน้ำตาลซูโครสมีผลทำให้เกิดการสูญเสียไลโคปีนสูงสุดประมาณร้อยละ 70.45 และ 84.32 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.8 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดที่เติมกรดอะซิติกที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลาต่างกัน

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันบนกราฟแท่งหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

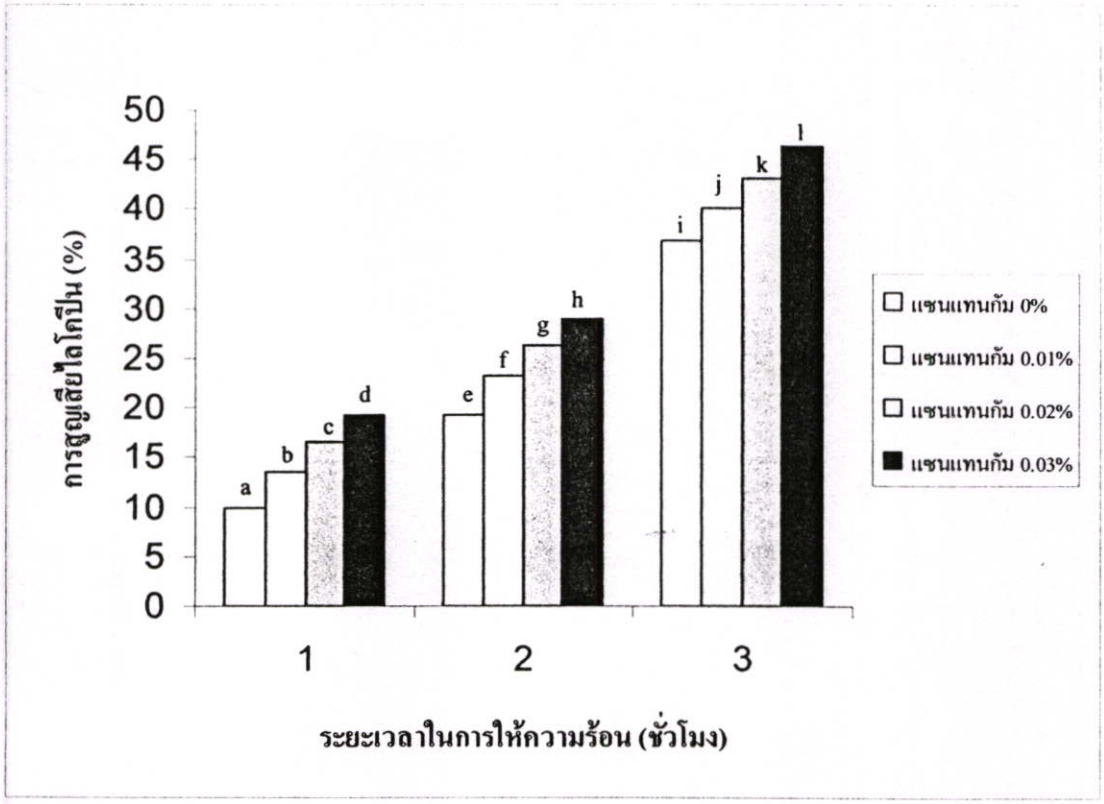
เมื่อพิจารณาผลของความเข้มข้นของกรดอะซิติกต่อค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีน (k) พบว่า โดยรวมแล้วการเพิ่มความเข้มข้นของกรดอะซิติกมีผลทำให้ค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (ภาพที่ 4.9) ซึ่งการเติมกรดอะซิติกที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 5, 10,และ 15 มีผลทำให้ค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีนเพิ่มขึ้นตามลำดับดังนี้ 0.0025, 0.0029, 0.0031, และ 0.0035 ต่อนาที



ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีน (k) กับความเข้มข้นของกรดอะซิติกในเนื้อมะเขือเทศบดที่ให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

4.6 ผลของแซนแทนกัมต่อการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อน

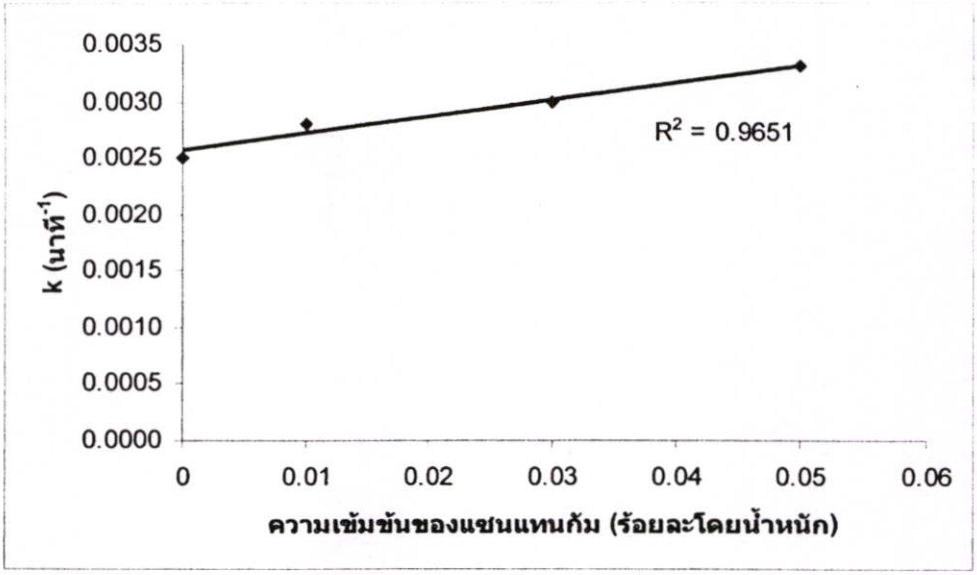
จากการศึกษาผลของแซนแทนกัมต่อค่าร้อยละของการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1, 2, และ 3 ชั่วโมง โดยเติมแซนแทนกัมที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.01, 0.02, และ 0.03 พบว่าการเติมแซนแทนกัมที่ทุกระดับความเข้มข้นมีผลทำให้ค่าร้อยละของการสูญเสียไลโคปีนเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในทุกระยะเวลาที่ให้ความร้อนเมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อมะเขือเทศบดที่ให้ความร้อนโดยไม่มีการเติมแซนแทนกัม ซึ่งค่าร้อยละของการสูญเสียไลโคปีนจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแซนแทนกัมที่เติมเพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 4.10) สำหรับกลไกของแซนแทนกัมหรือไฮโดรคอลลอยด์อื่น ๆ ต่อการสูญเสียไลโคปีนในระหว่างการให้ความร้อนยังไม่พบว่ามีรายงานโดยตรง จึงทำให้ไม่สามารถอธิบายได้ว่าเหตุใดในการทดลองนี้แซนแทนกัมจึงมีผลเร่งให้เกิดการสูญเสียไลโคปีนเพิ่มมากขึ้น



ภาพที่ 4.10 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดที่เติมแซนแทนกัมที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นระยะ-เวลาต่างกัน

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันบนกราฟแท่งหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาผลของความเข้มข้นของแซนแทนกัมต่อค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีน (k) พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของแซนแทนกัมมีผลทำให้ค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (ภาพที่ 4.11) ซึ่งการเติมแซนแทนกัมที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.01, 0.02, และ 0.03 มีผลทำให้ค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีนเพิ่มขึ้นตามลำดับดังนี้ 0.0025, 0.0028, 0.0030, และ 0.0033 ต่อนาที



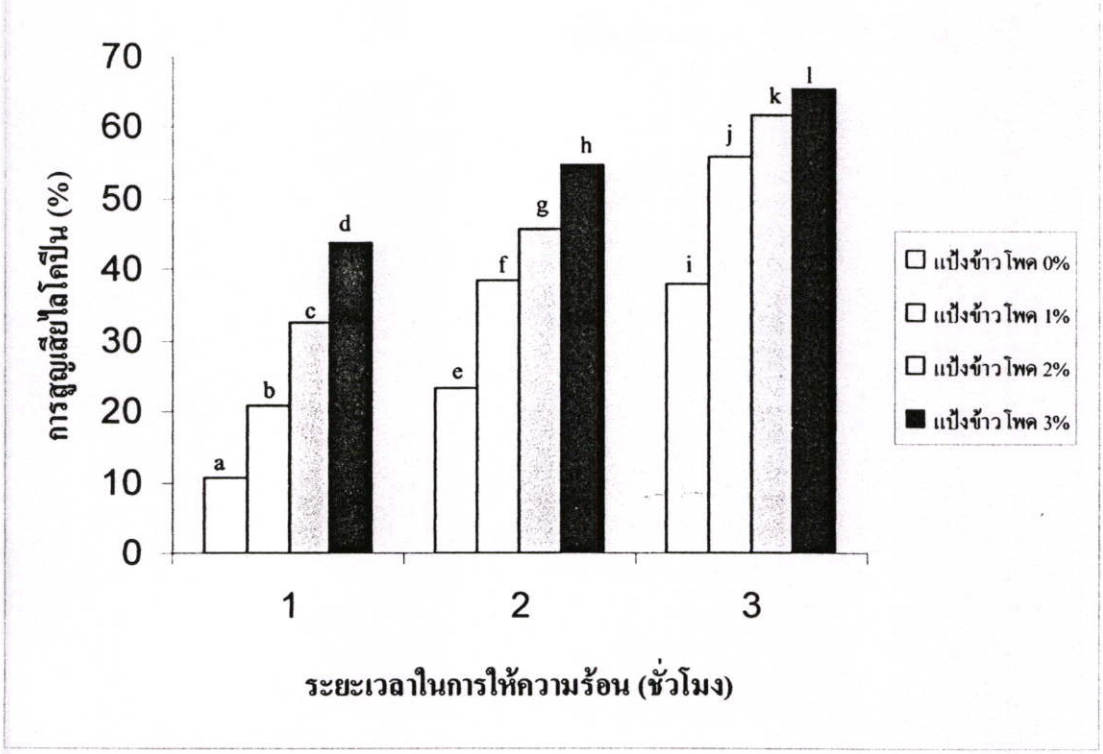
ภาพที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีน (k) กับความเข้มข้นของแซนแทนกัมในเนื้อมะเขือเทศบดที่ให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

4.7 ผลของแป้งข้าวโพดต่อการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อน

จากการศึกษาผลของแป้งข้าวโพดต่อค่าร้อยละของการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1, 2, และ 3 ชั่วโมง โดยเติมแป้งข้าวโพดที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 1, 2, และ 3 พบว่า การเติมแป้งข้าวโพดที่ทุกระดับความเข้มข้นมีผลทำให้ค่าร้อยละของการสูญเสียไลโคปีนเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในทุกระยะเวลาที่ให้ความร้อนเมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อมะเขือเทศบดที่ให้ความร้อนโดยไม่มีการเติมแป้งข้าวโพด ซึ่งค่าร้อยละของการสูญเสียไลโคปีนจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแป้งข้าวโพดที่เติมเพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 4.12) ผลการทดลองเห็นได้ชัดว่าการเติมแป้งข้าวโพดมีผลทำให้เกิดการสูญเสียไลโคปีนมากเช่นเดียวกับการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์และน้ำตาลซูโครส ซึ่งไม่น่าจะมีสาเหตุมาจากแป้งข้าวโพดไปมีผลทำให้อุณหภูมิของเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการต้มสูงกว่าเมื่อไม่มีการเติมสารใด ๆ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเนื้อมะเขือเทศบดทั้งกรณีที่ไม่เติมแป้งข้าวโพดและเติมแป้งข้าวโพดร้อยละ 2 มีลักษณะที่ไม่แตกต่างกัน (ภาพที่ 4.2) เช่นเดียวกับการเติมน้ำตาลซูโครส

การทดลองทั้งหมดมีจุดที่น่าสังเกต คือ การเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ น้ำตาลซูโครส หรือแป้งข้าวโพดต่างก็ส่งผลต่อปริมาณความชื้นในเนื้อมะเขือเทศบดที่ลดลงมากกว่าเนื้อมะเขือเทศบดที่ไม่เติมวัตถุเจือปนอาหาร กล่าวคือ เมื่อให้ความร้อนเนื้อมะเขือเทศบดที่เติมแป้งข้าวโพด 2 เปอร์เซ็นต์

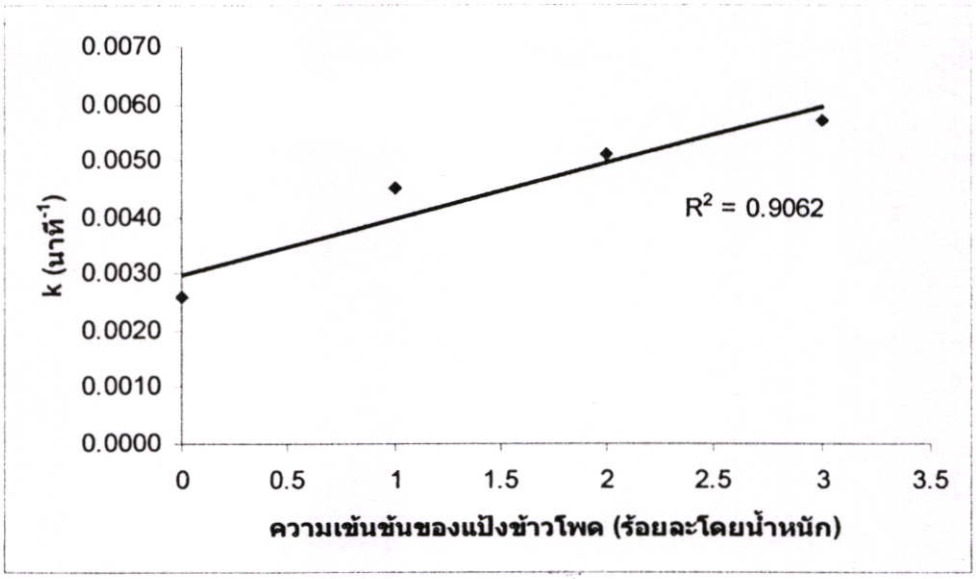
เกลือโซเดียมคลอไรด์ 5 เปอร์เซ็นต์ หรือน้ำตาลซูโครส 15 เปอร์เซ็นต์เป็นเวลา 3 ชั่วโมงมีผลทำให้เนื้อมะเขือเทศบดที่เติมวัตถุเจือปนอาหาร 3 ชนิดดังกล่าวมีปริมาณความชื้นเท่ากับ 74.52, 69.72, และ 43.23 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณความชื้นของเนื้อมะเขือเทศบดที่ไม่เติมวัตถุเจือ-ปนอาหาร (ตัวอย่างควบคุม) ที่ให้ความร้อนเป็นเวลา 3 ชั่วโมงของทั้ง 3 กรณีนี้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 79.41 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้การเติมวัตถุเจือปนอาหารทั้งสามชนิดทำให้เกิดการสูญเสียไลโคปีนเพิ่มขึ้นตามลำดับดังนี้ 65.49, 70.45, และ 84.32 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการสูญเสียไลโคปีนที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นที่ลดลง ในขณะที่การเติมวัตถุเจือปนอาหารชนิดอื่นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของเนื้อมะเขือเทศบดไม่แตกต่างจากตัวอย่างที่ไม่เติมวัตถุเจือปนอาหาร ตัวอย่างเช่นกรณีของเนื้อมะเขือเทศบดที่เติมแอลฟา-โทโคฟีรอล 0.05 เปอร์เซ็นต์ และให้ความร้อนเป็นเวลา 3 ชั่วโมงมีปริมาณความชื้น 81.28 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมที่มีปริมาณความชื้น 82.56 เปอร์เซ็นต์ มีการศึกษามากมายรายงานว่าผลิตภัณฑ์มะเขือเทศที่มีปริมาณความชื้นต่ำจะเกิดการสูญเสียไลโคปีนมากกว่าผลิตภัณฑ์มะเขือเทศที่มีปริมาณความชื้นสูง โดยมีสาเหตุมาจากปัจจัยหลายประการ ปัจจัยประการแรกคือ น้ำสามารถชะลอความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของโลหะไอออนซึ่งมีอยู่ในตัวอย่างได้ ปัจจัยประการที่สองคือ พันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของไฮโดรเปอร์ออกไซด์กับน้ำมีผลในการชะลอปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในขั้น propagation และปัจจัยประการสุดท้ายคือ น้ำสามารถแข่งกับออกซิเจนในการจับกับตำแหน่งที่จำเพาะเจาะจงในการเกิดปฏิกิริยาได้ (Ramakrishnan and Francis, 1979; Lovric *et al.*, 1970; Giovanelli and Paradiso, 2002) ซึ่งปัจจัยทั้งสามประการนี้เองที่น่าจะมีผลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อการสูญเสียของไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน



ภาพที่ 4.12 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดที่เติมแป้งข้าวโพดที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นระยะ-เวลาต่างกัน

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันบนกราฟแท่งหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาผลของความเข้มข้นของแป้งข้าวโพดต่อค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีน (k) พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของแป้งข้าวโพดมีผลทำให้ค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีนเพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 4.13) ซึ่งการเติมแป้งข้าวโพดที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 1, 2, และ 3 มีผลทำให้ค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีนเพิ่มขึ้นตามลำดับดังนี้ 0.0026, 0.0045, 0.0051, และ 0.0057 ต่อนาที

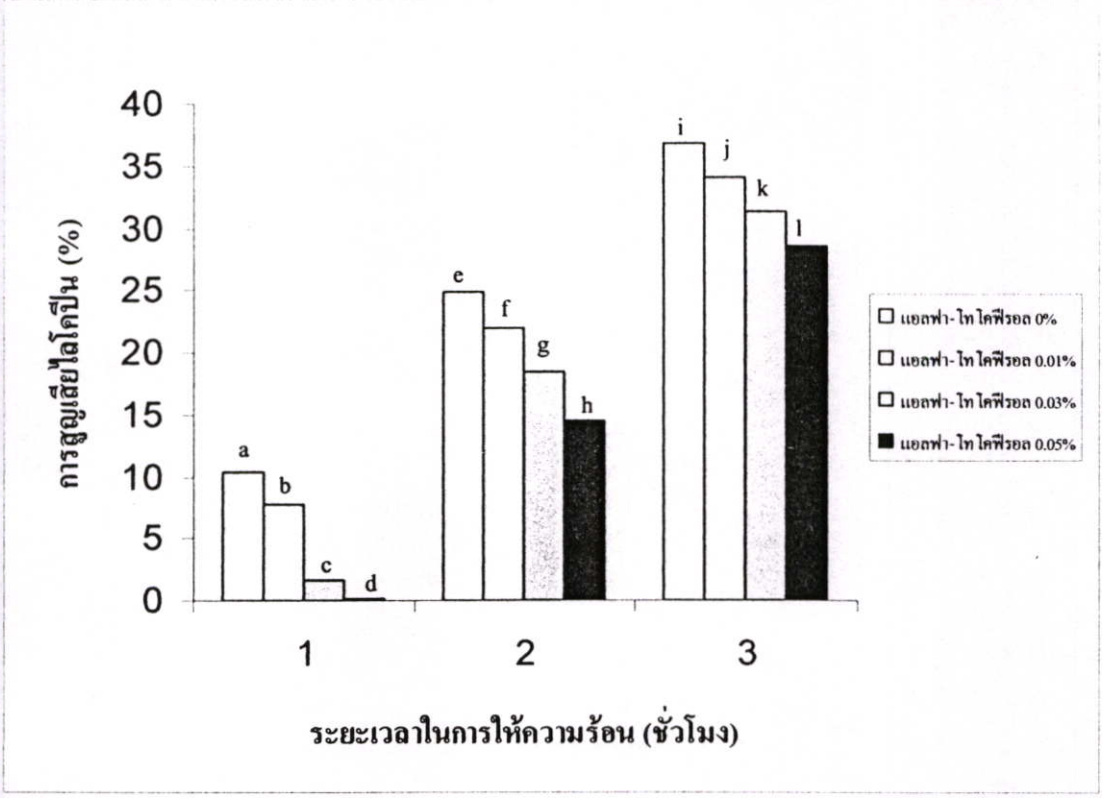


ภาพที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีน (k) กับความเข้มข้นของแป้งข้าวโพดในเนื้อมะเขือเทศบดที่ให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

4.8 ผลของแอลฟา-โทโคฟีรอลต่อการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อน

จากการศึกษาผลของแอลฟา-โทโคฟีรอลต่อค่าร้อยละของการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1, 2, และ 3 ชั่วโมง โดยเติมแอลฟา-โทโคฟีรอลที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.01, 0.03, และ 0.05 พบว่า การเติมแอลฟา-โทโคฟีรอลที่ทุกระดับความเข้มข้นมีผลทำให้ค่าร้อยละของการสูญเสียไลโคปีนลดต่ำลงในทุกระยะเวลาที่ให้ความร้อนเมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อมะเขือเทศบดที่ให้ความร้อนโดยไม่มีการเติมแอลฟา-โทโคฟีรอลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยจะเห็นได้ว่าการเติมแอลฟา-โทโคฟีรอลส่งผลในการช่วยลดการสูญเสียไลโคปีนได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยเฉพาะอย่างยิ่งในชั่วโมงแรกของการให้ความร้อนเนื้อมะเขือเทศบด (ภาพที่ 4.14) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดลองของ Ribeiro และคณะ (2003) ที่พบว่าแอลฟา-โทโคฟีรอลช่วยให้ไลโคปีนที่เติมลงไปในตัวอย่างอาหาร 3 ชนิด ได้แก่ นมขาดมันเนย น้ำส้ม และน้ำ มีความคงตัวเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก นอกจากนี้ในการทดลองของ Mortensen และคณะ (1998) ยังได้ค้นพบว่าแอลฟา-โทโคฟีรอล (TOH) สามารถทำปฏิกิริยากับอนุมูลแคโรทีนอยด์ (CAR.) เกิดเป็นอนุมูลแอลฟา-โทโคฟีรอกซิล (α-TO.) และได้เป็นแคโรทีนอยด์ขึ้นมาใหม่ดังสมการ 4.1

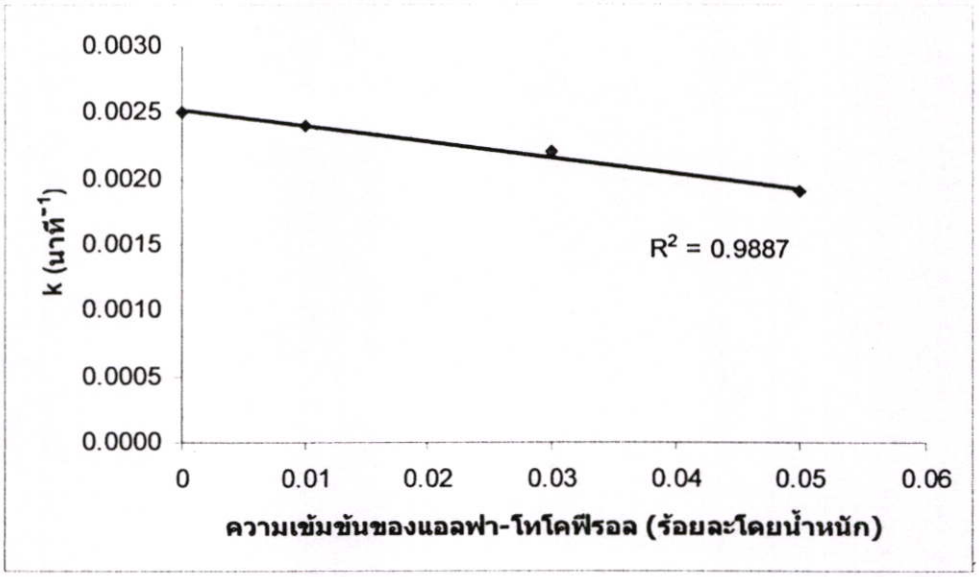
$$CAR. + + TOH \longrightarrow CAR + TO.+ H^{+} \qquad (4.1)$$



ภาพที่ 4.14 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดที่เติมแอลฟาโทโคฟีรอลที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลาต่างกัน

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันบนกราฟแท่งหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

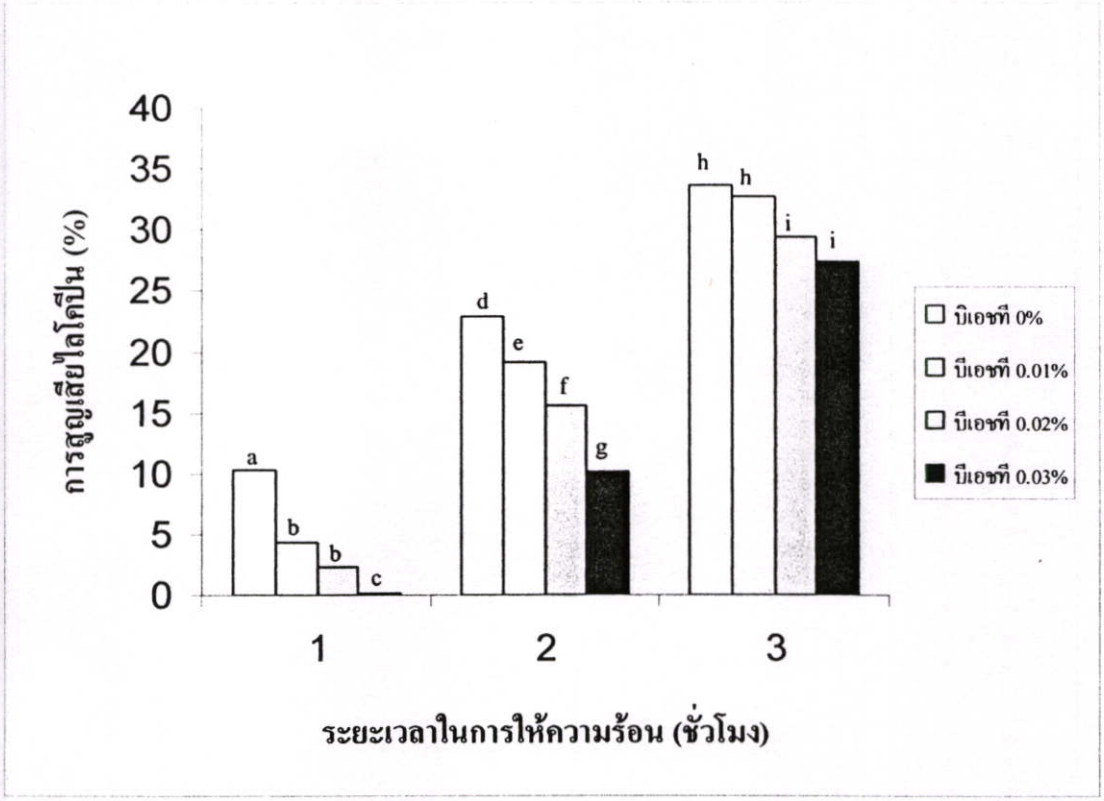
เมื่อพิจารณาผลของความเข้มข้นของแอลฟา-โทโคฟีรอลต่อค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีน (k) พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของแอลฟา-โทโคฟีรอลมีผลทำให้ค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีนลดลง (ภาพที่ 4.15) ซึ่งการเติมแอลฟา-โทโคฟีรอลที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.01, 0.03, และ 0.05 มีผลทำให้ค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีนลดลงตามลำดับดังนี้ 0.0025, 0.0024, 0.0022, และ 0.0019 ต่อนาที ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าแอลฟา-โทโคฟีรอลสามารถทำหน้าที่เป็นตัวช่วยลดการเกิดออกซิเดชันของไลโคปีนในระหว่างการให้ความร้อนได้



ภาพที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีน (k) กับความเข้มข้นของแอลฟา-โทโคฟีรอลในเนื้อมะเขือเทศบดที่ให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

4.9 ผลของบีเอชทีต่อการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อน

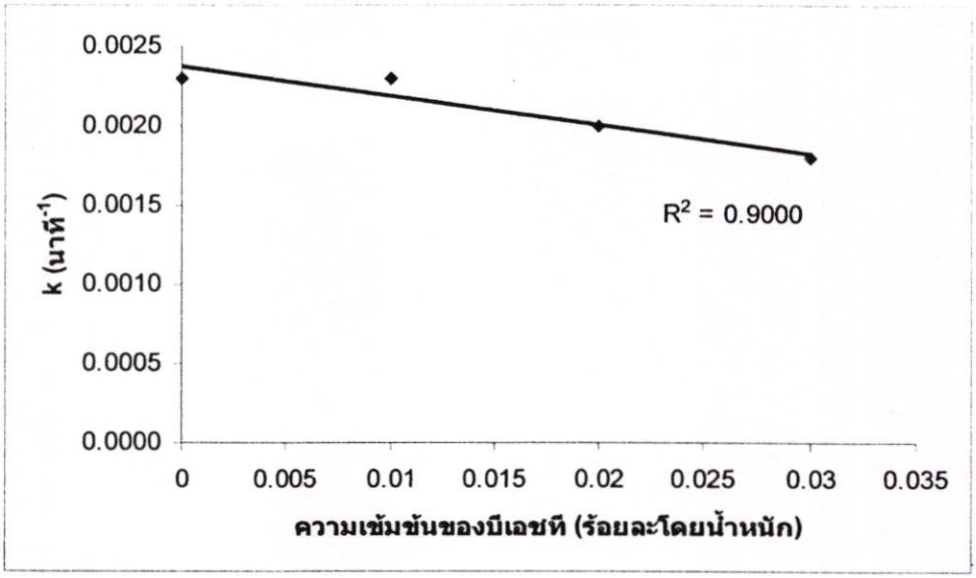
จากการศึกษาผลของบีเอชทีต่อค่าร้อยละของการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1, 2, และ 3 ชั่วโมง โดยเติมบีเอชทีที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.01, 0.02, และ 0.03 พบว่า การเติมบีเอชทีที่ทุกระดับความเข้มข้นมีผลทำให้ค่าร้อยละของการสูญเสียไลโคปีนลดต่ำลงในทุกระยะเวลาที่ให้ความร้อนเมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อมะเขือเทศบดที่ให้ความร้อนโดยไม่มีการเติมบีเอช-ที โดยจะเห็นได้ว่าการเติมบีเอชทีส่งผลในการช่วยลดการสูญเสียไลโคปีนได้อย่างมีประสิทธิภาพในชั่วโมงแรกของการให้ความร้อนเนื้อมะเขือเทศบด ซึ่งแทบจะไม่มีการสูญเสียไลโคปีนเกิดขึ้นเมื่อเติมบีเอชทีที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.03 สำหรับการให้ความร้อนในชั่วโมงที่ 2 และ 3 พบว่าประสิทธิภาพของบีเอชทีจะค่อย ๆ ลดลงตามลำดับ (ภาพที่ 4.16) ซึ่งไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างการเติมบีเอชทีที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.01 กับเนื้อมะเขือ-เทศบดที่ไม่มีการเติมบีเอชทีในชั่วโมงที่ 3 ของการให้ความร้อน สาเหตุอาจเนื่องมาจากบีเอชทีค่อย ๆ ถูกทำลายไปจากการป้องกันการเกิดออกซิเดชันของไลโคปีนและจากการให้ความร้อนเป็นระยะเวลานาน



ภาพที่ 4.16 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดที่เติมบีเอชทีที่ระดับความเข้มข้นต่างๆเมื่อให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลาต่างกัน

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันบนกราฟแท่งหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

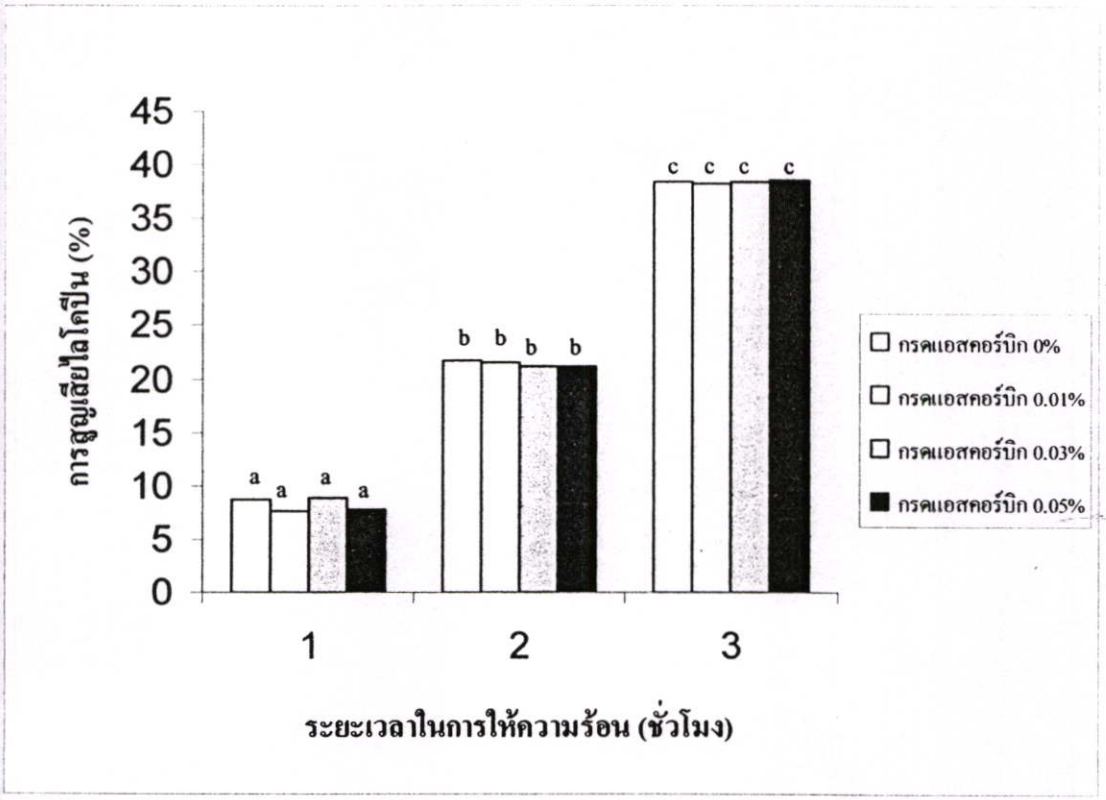
เมื่อพิจารณาผลของความเข้มข้นของบีเอชทีต่อค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีน (k) พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของบีเอชทีมีผลทำให้ค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีนลดลง (ภาพที่ 4.17) ซึ่งการเติมบีเอชทีที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.01, 0.02, และ 0.03 มีผลทำให้ค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีนลดลงตามลำดับดังนี้ 0.0023, 0.0023, 0.0020, และ 0.0018 ต่อนาที ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าบีเอชทีสามารถทำหน้าที่เป็นตัวช่วยลดการเกิดออกซิเดชันของไลโคปีนได้ในระหว่างการให้ความร้อน และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างแอลฟา-โทโคฟีรอลกับบีเอชทีในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของไลโคปีนที่ระดับความเข้มข้นที่เท่ากัน พบว่า บีเอชทีช่วยลดการสูญเสียไลโคปีนได้ดีกว่าแอลฟา-โทโคฟีรอลเล็กน้อย



ภาพที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีน (k) กับความเข้มข้นของบีเอชทีในเนื้อมะเขือเทศบดที่ให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

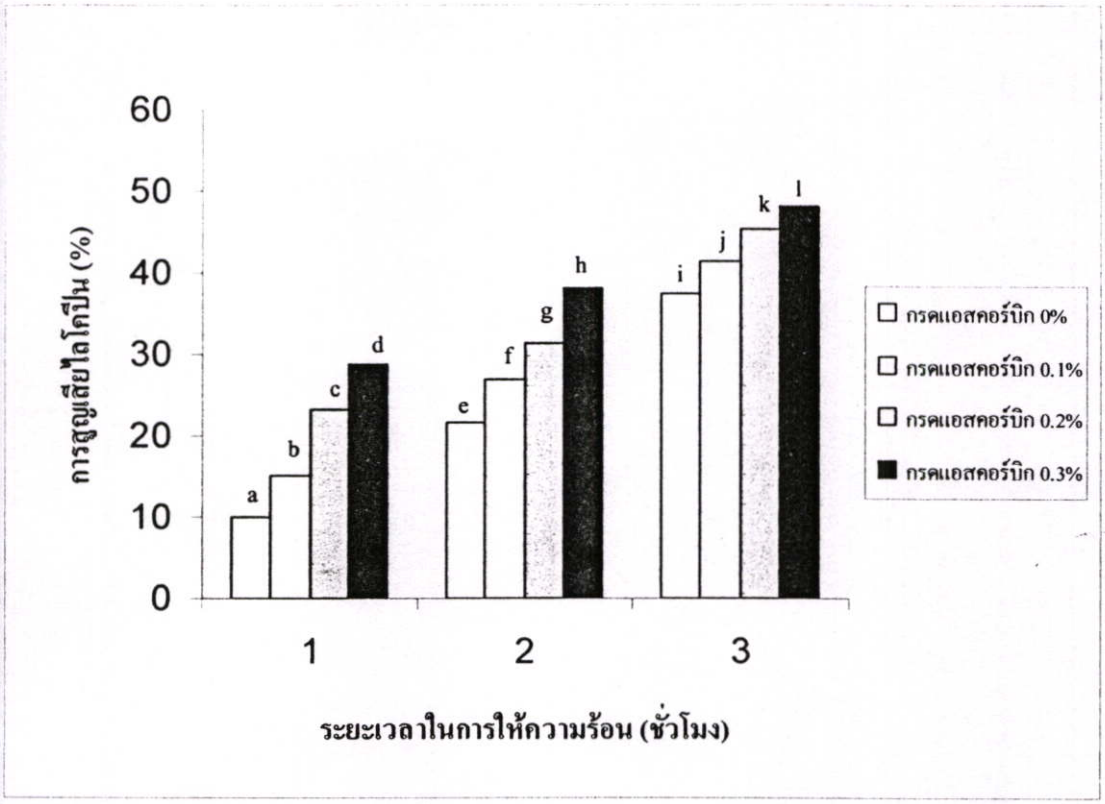
4.10 ผลของกรดแอสคอร์บิกต่อการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อน

จากการศึกษาผลของกรดแอสคอร์บิกต่อค่าร้อยละของการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1, 2, และ 3 ชั่วโมง โดยเติมกรดแอสคอร์บิกที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.01, 0.03, และ 0.05 พบว่าการเติมกรดแอสคอร์บิกที่ทุกระดับความเข้มข้นไม่มีผลต่อค่าร้อยละของการสูญเสียไลโคปีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในทุกระยะเวลาที่ให้ความร้อนเมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อมะเขือเทศบดที่ให้ความร้อนโดยไม่มีการเติมกรดแอสคอร์บิก (ภาพที่ 4.18) ซึ่งสาเหตุอาจเนื่องมาจากกรดแอสคอร์บิกถูกทำลายได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อนหรือระดับความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกที่ใช้ในการทดลองอาจต่ำเกินไปที่จะเห็นผลของการยับยั้งหรือการเร่งให้เกิดการสูญเสียไลโคปีน ดังนั้นในการทดลองถัดไปจึงได้เพิ่มปริมาณของกรดแอสคอร์บิกเพื่อให้เห็นผลที่ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยเติมกรดแอสคอร์บิกที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.1, 0.2, และ 0.3 พบว่าการเติมกรดแอสคอร์บิกที่ทุกระดับความเข้มข้นมีผลทำให้ค่าร้อยละของการสูญเสียไลโคปีนเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในทุกระยะเวลาที่ให้ความร้อนเมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อมะเขือเทศบดที่ให้ความร้อนโดยไม่มีการเติมกรดแอสคอร์บิก ซึ่งค่าร้อยละของการสูญเสียไลโคปีนจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่เติมเพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 4.19)



ภาพที่ 4.18 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดที่เติมกรดแอสคอร์บิกที่ระดับความเข้มข้น 0 – 0.05 เปอร์เซ็นต์เมื่อให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลาต่างกัน

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันบนกราฟแท่งหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



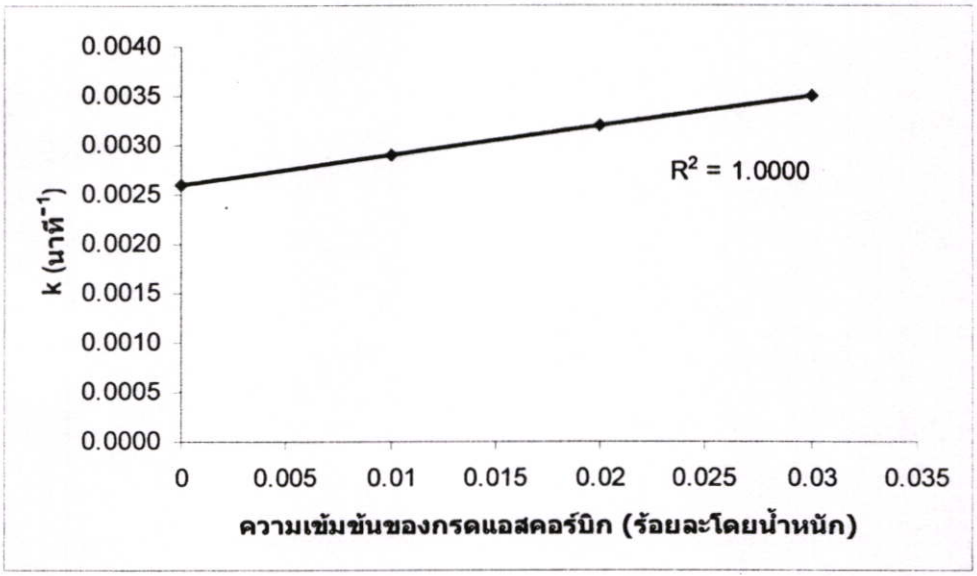
ภาพที่ 4.19 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดที่เติมกรดแอสคอร์บิกที่ระดับความเข้มข้น 0 – 0.3 เปอร์เซ็นต์เมื่อให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลาต่างกัน

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันบนกราฟแท่งหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาผลของความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกต่อค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีน (k) พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกมีผลทำให้ค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีนเพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 4.20) ซึ่งการเติมกรดแอสคอร์บิกที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.1, 0.2, และ 0.3 มีผลทำให้ค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามลำดับดังนี้ 0.0026, 0.0029, 0.0032, และ 0.0035 ต่อนาที ผลการทดลองที่ได้นี้แตกต่างไปจากผลการทดลองของ Biacs และ Daood (2000) ที่ศึกษาถึงความคงตัวของแคโรทีนอยด์ชนิดต่าง ๆ จากมะเขือเทศต่อการเกิดออกซิเดชันของกรดลิโนเลอิกโดยมีเอนไซม์ linoleate:oxygen oxidoreductase (LOX) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในสภาวะที่มีแอนติออกซิแดนซ์วิตามินอยู่ ซึ่งพบว่าในช่วงแรกของการเกิดปฏิกิริยา กรดแอสคอร์บิกทำหน้าที่ในการยับยั้งอนุมูลอิสระที่เกิดจากกรดลิโนเลอิกได้น้อยเมื่อเปรียบเทียบกับไลโคปีน แต่เมื่อเวลาผ่านไปกรดแอสคอร์บิกสามารถจับกับไลโคปีนในรูปที่ถูกออกซิไดซ์แล้วให้กลับไปอยู่ในรูปแบบเดิมที่สมบูรณ์ โดยที่ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์เมื่อเพิ่มปริมาณกรดแอสคอร์บิกเป็น 1.8 มิลลิโมลาร์ซึ่งจะไม่ทำให้การสูญเสียไลโคปีนเกิดขึ้น อย่างไรก็ตามสภาวะที่

ใช้ในการทดลองแตกต่างกัน ดังนั้นในการทดลองนี้จึงไม่พบว่ากรดแอสคอร์บิกสามารถซ่อมแซมไลโคปีนที่ถูกออกซิไดซ์แล้วให้กลับไปอยู่ในรูปแบบเดิมดังเช่นที่พบในการทดลองของ Biacs และ Daood ในอีกทางหนึ่งอาจเป็นเพราะไลโคปีนทำหน้าที่เป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อเปรียบเทียบกับกรดแอสคอร์บิกในสภาวะที่ทำการทดลอง

นอกจากนี้การทดลองของ Sakagami และ Satoh (1997) พบว่า การเติมกรดแอสคอร์บิกลงในน้ำกลั่นจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพของการรีดักชันของกรดแอสคอร์บิกเพิ่มสูงขึ้น จากนั้นจึงตามด้วยการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพในการออกซิเดชันที่สูงมาก ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าไลโคปีนสามารถยับยั้งการออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิกจึงมีผลทำให้ไลโคปีนลดลง ในอีกทางหนึ่งกรดแอสคอร์บิกสามารถแสดงผลในการเป็นโปรออกซแดนซ์เมื่ออยู่ในสภาวะที่มีโลหะทรานซิชัน เช่น เหล็ก และทองแดงแม้เพียงปริมาณเล็กน้อยก็ตาม ซึ่งกรดแอสคอร์บิกสามารถเปลี่ยน Fe^{3+} เป็น Fe^{2+} และตามด้วยการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนหรือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ซึ่งเป็นผลให้เกิดซุปเปอร์ออกไซด์แอนไอออน (superoxide anions) และอนุมูลไฮดรอกซิล (Higson *et al.*, 1988)

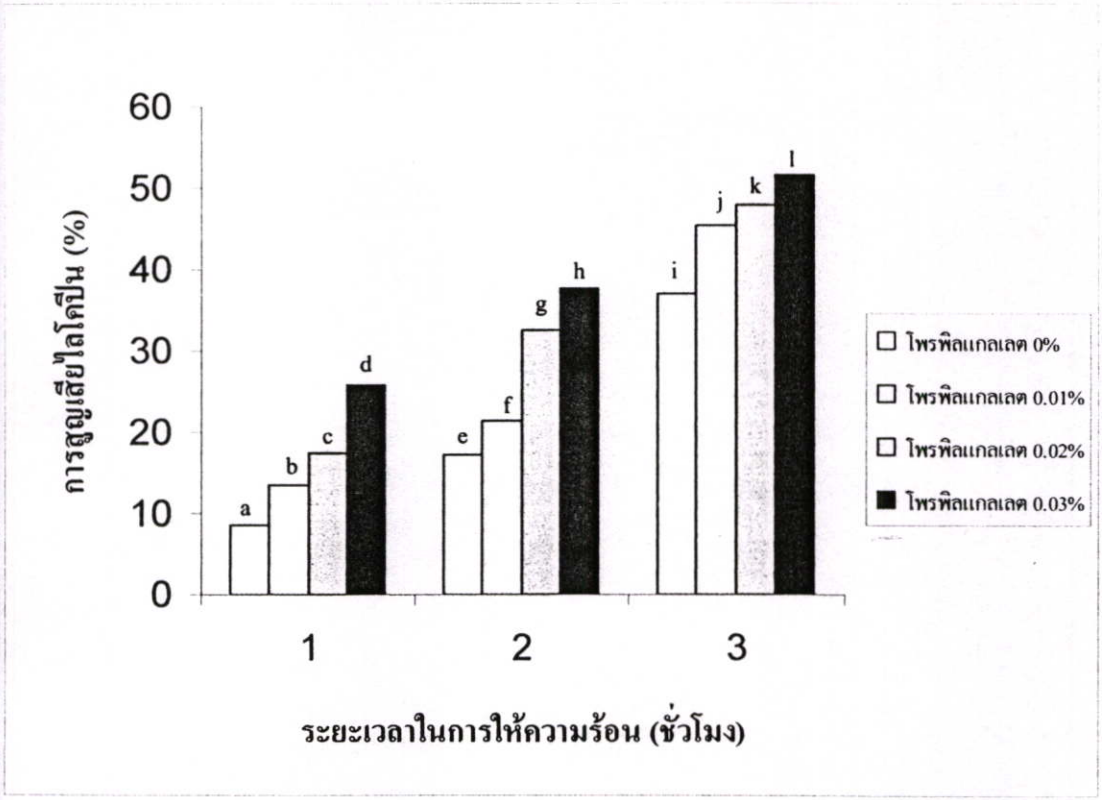


ภาพที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีน (k) กับความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกในเนื้อมะเขือเทศบดที่ให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

4.11 ผลของโพลพิลแกลเลตต่อการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อน

จากการศึกษาผลของโพลพิลแกลเลตต่อค่าร้อยละของการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1, 2, และ 3 ชั่วโมง โดยเติมโพลพิลแกลเลตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.01, 0.02, และ 0.03 พบว่า การเติมโพลพิลแกลเลตที่ทุกระดับความเข้มข้นมีผลทำให้ค่าร้อยละของการสูญเสียไลโคปีนเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในทุกระยะเวลาที่ให้ความร้อนเมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อมะเขือเทศบดที่ให้ความร้อนโดยไม่มีการเติมโพลพิลแกลเลต ซึ่งค่าร้อยละของการสูญเสียไลโคปีนจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณโพลพิลแกลเลตที่เติมเพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 4.21)

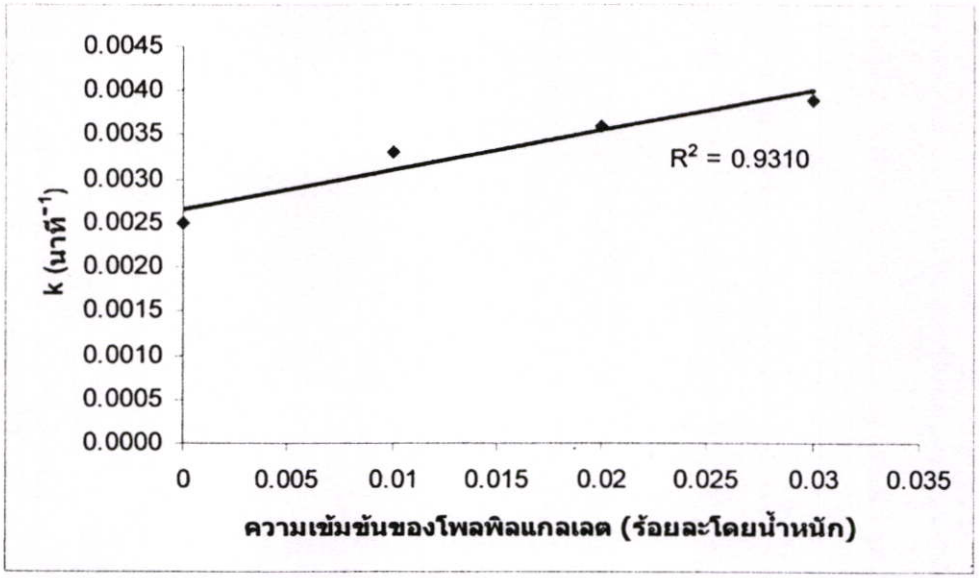
โพลพิลแกลเลตจัดเป็นสารประกอบฟีนอลิกซึ่งสามารถแสดงผลในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือเป็นโปรออกซิแดนซ์ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและชนิดของอนุมูลอิสระ (Sergediene, 1999) โดยทั่วไปสารประกอบฟีนอลิกเมื่อจับกับโลหะไอออนจะทำให้ความสามารถในการคะตะไลซ์ของโลหะไอออนเพิ่มสูงขึ้น หรือเมื่อรีดิวซ์โลหะไอออนจะเพิ่มความสามารถของโลหะไอออนในการเกิดอนุมูลอิสระจากเปอร์ออกไซด์ นอกจากนี้ Morgan และคณะ (1997) ยังพบว่า pH ยังมีบทบาทต่อความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของฟีนอลิก โดยที่เมื่อ pH ลดลงจะทำให้ความสามารถในการรีดิวซ์ของโลหะไอออนเพิ่มสูงขึ้นและลดความสามารถของฟีนอลิกในการจับและยับยั้งความสามารถในการคะตะไลซ์ การศึกษาของ Schwarz และคณะ (2000) พบว่าโพลพิลแกลเลตมีความสามารถในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีในไขมัน แต่โพลพิลแกลเลตจะให้ผลในการเป็นโปรออกซิแดนซ์ในอิมัลชันทั้งอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันและอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ จากผลการทดลองนี้ทำให้คาดได้ว่าการมีน้ำอยู่ในระบบอาจทำให้โพลพิลแกลเลตแสดงผลเป็นโปรออกซิแดนซ์ได้ ซึ่งการศึกษาผลของโพลพิลแกลเลตต่อการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในครั้งนี้ก็ทดลองในระบบที่เป็นน้ำเช่นกัน จึงอาจทำให้โพลพิลแกลเลตแสดงผลเป็นโปรออกซิแดนซ์เช่นเดียวกับการศึกษาดังกล่าวข้างต้น



ภาพที่ 4.21 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดที่เติมโพลพิลแกลเลตที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลาต่างกัน

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันบนกราฟแท่งหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาผลของความเข้มข้นของโพลพิลแกลเลตต่อค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีน (k) พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของโพลพิลแกลเลตมีผลทำให้ค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีนเพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 4.22) ซึ่งการเติมโพลพิลแกลเลตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ0, 0.01, 0.02, และ 0.03 มีผลทำให้ค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีนเพิ่มขึ้นตามลำดับดังนี้ 0.0025, 0.0033, 0.0036, และ 0.0039 ต่อนาที



ภาพที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีน (k) กับความเข้มข้นของโพลพิลแกลเลตในเนื้อมะเขือเทศบดที่ให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

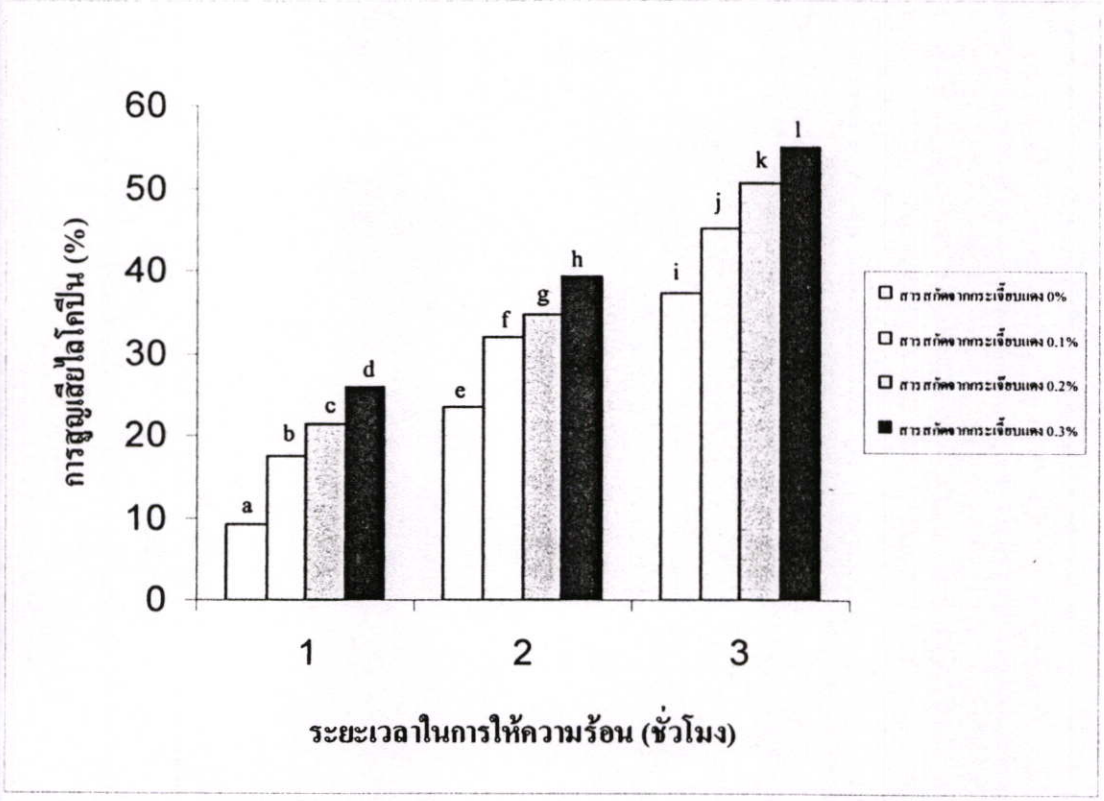
4.12 ผลของสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงต่อการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อน

ส่วนประกอบต่าง ๆ ของกระเจี๊ยบ ได้แก่ เมล็ด ใบ และดอก สามารถนำมาใช้รับประทาน สกัดน้ำมัน ทำเป็นเครื่องดื่ม และใช้เป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน กระเจี๊ยบอุดมไปด้วยกรดแอสคอร์บิก เบต้า-แคโรทีน และสารประกอบฟีนอลิกจำพวกเฟลโวนอยด์ (flavonoids) โดยเฉพาะแอนโธไซยานิน (anthocyanins) การศึกษาของ Tee และคณะ (2002) พบว่าสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงมีประสิทธิภาพในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดลิโนเลอิกได้ดีกว่า BHA และแอลฟา-โทโคฟีรอลเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี TBARS อีกทั้งยังมียังมีสารประกอบฟีนอลิกถึง 2.96 มิลลิกรัม/กรัม

จากประสิทธิภาพในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากกระเจี๊ยบจึงทำให้เกิดความสนใจในการศึกษาถึงผลจองสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงต่อการสูญเสียไลโคปีนในระหว่างกระบวนการแปรรูปเนื้อมะเขือเทศบดโดยการให้ความร้อน เพื่อที่จะได้ทราบว่าสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงจะส่งผลอย่างไรต่อปริมาณไลโคปีนทั้งหมดในเนื้อมะเขือเทศ ซึ่งผลการทดลองเป็นดังนี้

จากการศึกษาผลของสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงต่อค่าร้อยละของการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1, 2, และ 3 ชั่วโมง โดยเติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0,

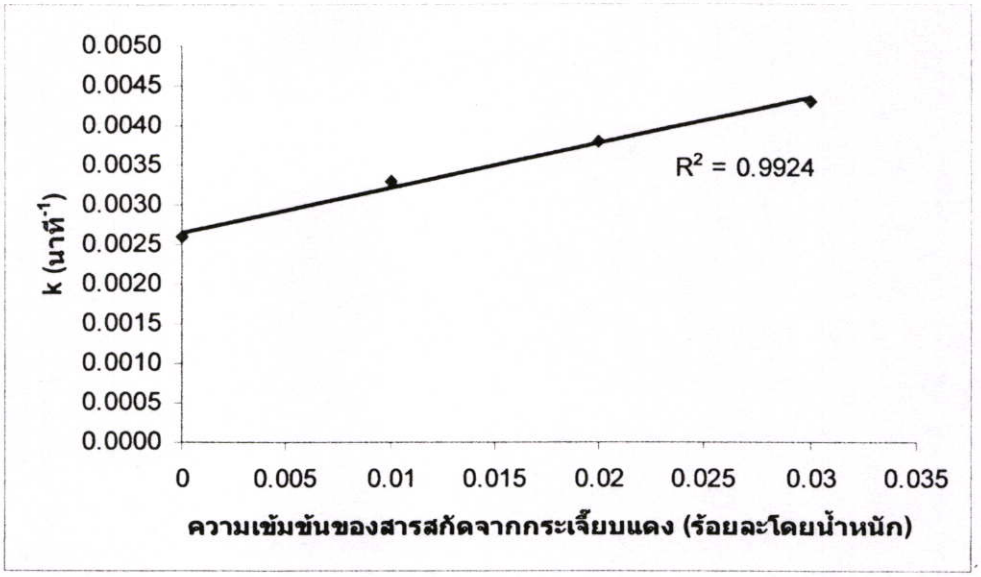
0.1, 0.2, และ 0.3 พบว่า การเติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ทุกระดับความเข้มข้นมีผลทำให้ค่าร้อยละของการสูญเสียไลโคปีนเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในทุกระยะเวลาที่ให้ความร้อนเมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อมะเขือเทศบดที่ให้ความร้อนโดยไม่มีการเติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง ซึ่งค่าร้อยละของการสูญเสียไลโคปีนจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่เติมเพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 4.23) การทดลองนี้เห็นได้ชัดว่าสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงมีผลส่งเสริมให้เกิดการออกซิเดชันของไลโคปีน ทั้งนี้จากการศึกษาของ Fukumoto และ Mazza (2000) ถึงฤทธิ์ในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิกรวมถึงแอนโธไซยานิน และสารสกัดจากเบอรี่ซึ่งวิเคราะห์โดยวิธี beta-carotene bleaching และ DPPH รวมถึงการเกิดมาโลนัลดีไฮด์ (malonaldehyde) ในระบบอิมัลชันของกรดลิโนเลอิกที่มี Cu^{2+} เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งวิเคราะห์โดย HPLC พบว่าสารประกอบฟีนอลิกรวามถึงแอนโธไซยานิน และสารสกัดจากเบอรี่ให้ผลเป็นโปร-ออกซิแดนซ์เมื่อใช้ในปริมาณความเข้มข้นต่ำ ซึ่งโดยทั่วไปสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่สกัดจากพืชสามารถแสดงผลเป็นโปรออกซิแดนซ์ที่ระดับความเข้มข้นต่ำและแสดงผลในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ระดับสูงกว่าความเข้มข้นวิกฤติ อย่างไรก็ตามที่ระดับความเข้มข้นสูงก็สามารถแสดงผลเป็นโปรออกซิแดนซ์ได้เช่นกัน (Przybylsky *et al.*, 1998) ซึ่งสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ใช้ในการทดลองนี้อาจมีความเข้มข้นที่สูงหรือต่ำเกินไปจึงแสดงผลในการเร่งให้เกิดการออกซิเดชันของไลโคปีน นอกจากนี้การศึกษาของ Sergediene (1999) พบว่าเฟลโวนอยด์จะเกิดการออกซิเดชันได้เองอย่างต่อเนื่องในตัวกลางที่เป็นน้ำและอาจทำให้เกิดอนุมูลอิสระของไฮดรอกซิลที่ไวต่อปฏิกิริยาในสภาวะที่มีโลหะทรานซิชัน ทั้งนี้สภาวะในการศึกษาผลของสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงต่อการสูญเสียไลโคปีนครั้งนี้ก็จัดอยู่ในระบบที่เป็นน้ำเช่นกันจึงอาจให้ผลเช่นเดียวกับการศึกษาดังกล่าว ในอีกทางหนึ่งเนื่องจากกระเจี๊ยบแดงมีกรดแอสคอร์บิกเป็นส่วนประกอบก็อาจเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ช่วยส่งเสริมให้เกิดการสูญเสียไลโคปีนได้เช่นกันดังการทดลองที่ 4.10



ภาพที่ 4.23 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาต่างกัน

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันบนกราฟแท่งหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาผลของความเข้มข้นของสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงต่อค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีน (k) พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงมีผลทำให้ค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีนเพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 4.24) ซึ่งการเติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.1, 0.2, และ 0.3 มีผลทำให้ค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีนเพิ่มขึ้นตามลำดับดังนี้ 0.0026, 0.0033, 0.0038, และ 0.0043 ต่อนาที



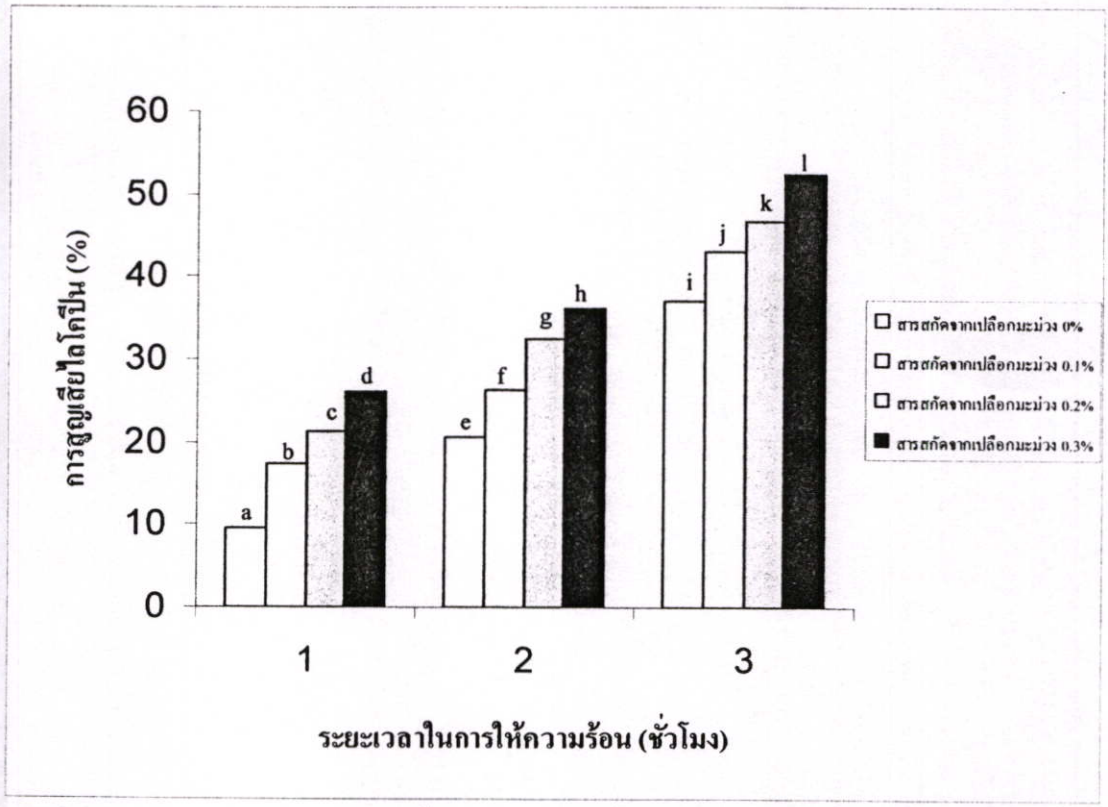
ภาพที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีน (k) กับความเข้มข้นของสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงในเนื้อมะเขือเทศบดที่ให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

4.13 ผลของสารสกัดจากเปลือกมะม่วงต่อการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อน

มะม่วงเป็นผลไม้ที่อุดมไปด้วยวิตามิน แร่ธาตุ และสารต้านปฏิกริยาออกซิเดชัน เช่น เบต้า-แคโรทีน วิตามินเอ บี และซี และสารประกอบในกลุ่มเฟลโวนอยด์ ได้แก่ ฟีนอลเควอซิติน (phenolquercitin) เควอซิติน (quercetin) ไอโซเควอซิติน (isoquercitin) แอสตรากาลิน (astragalin) ฟีสติน(fisetin) กรดแกลลิก (gallic acid) และเมธิลแกลเลต (methylgallate) การศึกษาของ Larrauri และคณะ (1997) พบว่า สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจากใยอาหารที่ได้จากเปลือกมะม่วงซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธี ferric thiocyanate colorimetric ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.05 มีฤทธิ์ในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงกว่า BHA 0.75 เท่า และสูงกว่า French PARAD'OX (โพลีฟีนอลเข้มข้นที่ใช้ในทางการค้า) และ DL-แอลฟา-โทโคฟีรอลถึง 1.4 และ 3.4 เท่าตามลำดับ ด้วยเหตุนี้เองการนำสารสกัดจากเปลือกมะม่วงมาใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหารเพื่อป้องกันการออกซิเดชันของไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจ เพื่อที่จะได้ทราบว่าสารสกัดจากเปลือกมะม่วงจะส่งผลอย่างไรต่อปริมาณไลโคปีนทั้งหมดในเนื้อมะเขือเทศ ซึ่งผลการทดลองเป็นดังนี้

จากการศึกษาผลของสารสกัดจากเปลือกมะม่วงต่อค่าร้อยละของการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1, 2, และ 3 ชั่วโมง โดยเติมสารสกัดจากเปลือกมะม่วงที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0,

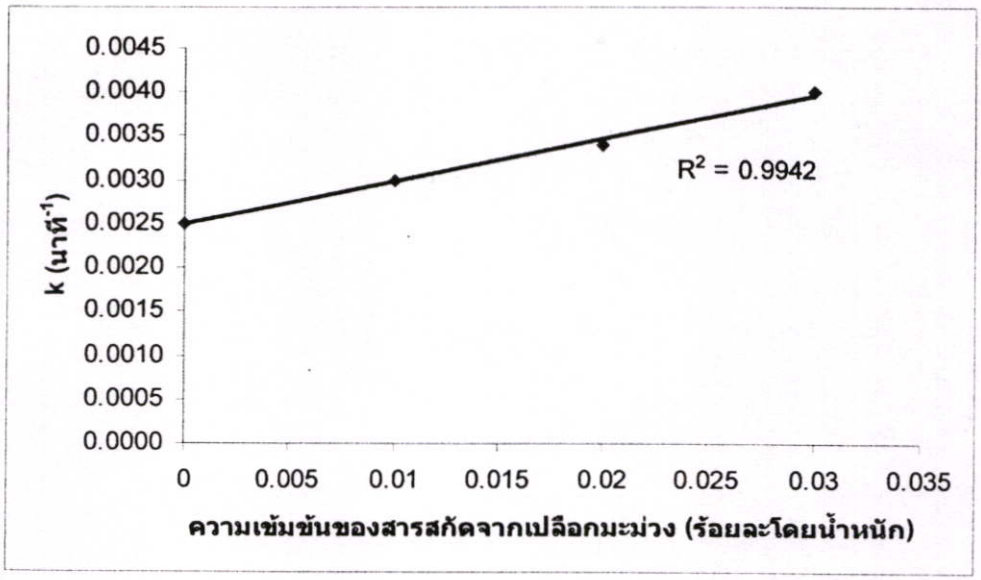
0.1, 0.2, และ 0.3 พบว่า การเติมสารสกัดจากเปลือกมะม่วงที่ทุกระดับความเข้มข้นมีผลทำให้ค่าร้อยละของการสูญเสียไลโคปีนเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในทุกระยะเวลาที่ให้ความร้อนเมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อมะเขือเทศบดที่ให้ความร้อนโดยไม่มีการเติมสารสกัดจากเปลือกมะม่วง ซึ่งค่าร้อยละของการสูญเสียไลโคปีนจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสารสารสกัดจากเปลือกมะม่วงที่เติมเพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 4.25) ทั้งนี้สารประกอบในกลุ่มเฟลโวนอยด์สามารถแสดงผลในการเป็นโปรออกซิแดนซ์ได้ โดยในการทดลองของ Hodnick และคณะ (1998) พบว่าเควอซิตินสามารถแสดงผลในการเป็นโปรออกซิแดนซ์ได้ในสภาวะที่มีโลหะในปริมาณสูงซึ่งอนุมูลของเควอซิตินที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เองอย่างต่อเนื่องนี้จะนำไปสู่การเกิด $O_2^{\bullet-}$ ที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา นอกจากนี้การทดลองของ Osborn และ Akoh (2003) พบว่า เควอซิตินและกรดแกลลิกให้ผลในการเป็นโปรออกซิแดนซ์ในอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำที่ pH 3 และที่ pH 7 เมื่อเติมโลหะ 100 ไมโครโมล สำหรับผลในการเป็นโปรออกซิแดนซ์ด้านอื่นของสารสกัดจากเปลือกมะม่วงที่พบในการทดลองนี้สามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับสารสกัดจากกระเจี๊ยบซึ่งได้กล่าวมาแล้วข้างต้น



ภาพที่ 4.25 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดที่เติมสารสกัดจากเปลือกมะม่วงที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาต่างกัน

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันบนกราฟแท่งหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาผลของความเข้มข้นของสารสกัดจากเปลือกมะม่วงต่อค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีน (k) พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดจากเปลือกมะม่วงมีผลทำให้ค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีนเพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 4.26) ซึ่งสารสกัดจากเปลือกมะม่วงที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.1, 0.2, และ 0.3 มีผลทำให้ค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีนเพิ่มขึ้นตามลำดับดังนี้ 0.0026, 0.0030, 0.0034, และ 0.0040 ต่อนาที และเมื่อเปรียบเทียบค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีนระหว่างสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงกับเปลือกมะม่วงที่ระดับความเข้มข้นที่เท่ากันพบว่า สารสกัดจากเปลือกมะม่วงทำให้เกิดการสูญเสียไลโคปีนน้อยกว่าสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงเล็กน้อย แต่เมื่อเปรียบเทียบกับกรดแอสคอร์บิกที่ระดับความเข้มข้นเท่ากันจะเห็นได้ว่าทั้งสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงและสารสกัดจากเปลือกมะม่วงต่างก็เร่งอัตราการสูญเสียไลโคปีนมากกว่ากรดแอสคอร์บิกอย่างเห็นได้ชัด และเมื่อเปรียบเทียบกับโพลพิลแกลเลตพบว่า ค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีนเมื่อเติมโพรพิลแกลเลตมีค่าใกล้เคียงระหว่างการเติมสารสกัดจากดอกกระเจี๊ยบแดงและสารสกัดจากเปลือกมะม่วง อย่างไรก็ตามความเข้มข้นที่ใช้แตกต่างกัน



ภาพที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีน (k) กับความเข้มข้นของสารสกัดจากเปลือกมะม่วงในเนื้อมะเขือเทศบดที่ให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เป็นที่น่าสังเกตว่าทั้งโพลพิลแกลเลต สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง และสารสกัดจากเปลือกมะม่วงซึ่งต่างก็เป็นสารในกลุ่มฟีนอลิก โดยทั้งหมดนี้มีผลในการเร่งให้เกิดการสูญเสียไลโคปีนซึ่งสาเหตุก็เป็นเรื่องที่ยากแก่การอธิบาย ทั้งนี้ผลในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือเป็นโปรออกซิแดนซ์ของสารประกอบฟีนอลิกขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ความเข้มข้นของสารประกอบฟี-

นอลิกและอนุมูลอิสระที่เข้าทำปฏิกิริยา ความเป็นกรดด่าง และความสามารถในการละลายของสารประกอบ ฟีนอลิกในสภาวะที่เข้าทำปฏิกิริยา เป็นต้น

จากการทดลองทั้งหมดนี้จะเห็นได้ว่าวัตถุเจือปนอาหารแต่ละชนิดส่งผลต่อปริมาณไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนในลักษณะที่แตกต่างกันออกไป สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เป็นเรื่องที่อธิบายได้ยาก เนื่องจากความสามารถของวัตถุเจือปนอาหารแต่ละชนิดในการที่จะช่วยลดหรือเพิ่มการสูญเสียไลโคปีนนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ชนิด ความเข้มข้น และสภาวะการทดลอง ส่วนความสามารถของวัตถุเจือปนอาหารชนิดที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระจะขึ้นอยู่กับ ปฏิกิริยาทางเคมีโดยธรรมชาติของสารต้านอนุมูลอิสระต่อชนิดของอนุมูลอิสระที่เข้าทำปฏิกิริยา ตำแหน่งที่เข้าทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระ ความเข้มข้น ความสามารถในการเคลื่อนที่ของสารต้านอนุมูลอิสระในสภาวะแวดล้อมที่ทำการทดลอง ความเสถียร และผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้หลังจากการทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระแล้ว รวมถึงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นกับสารต้านอนุมูลอิสระชนิดอื่น ๆ (Tsuchihashi, 1995) ซึ่งข้อมูลที่มีในปัจจุบันนี้มักเป็นข้อมูลที่ได้มาจากการทดลองที่ทำในสภาวะแวดล้อมที่ไม่ซับซ้อนมากนัก และข้อมูลที่ได้จากผลการทดลองนี้ก็ไม่เพียงพอที่จะทราบถึงกลไกที่แท้จริงของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจึงทำให้ไม่สามารถอธิบายเหตุผลที่แท้จริงว่าเหตุใดสารประกอบบางชนิดจึงเร่งให้เกิดการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อน อย่างไรก็ตามผลการทดลองที่ได้ทำให้ทราบว่าวัตถุเจือปนอาหารชนิดใดเมื่อเติมลงในเนื้อมะเขือเทศบดแล้วมีผลช่วยลดหรือเพิ่มการสูญเสียไลโคปีนในระหว่างการให้ความร้อนได้ หรือมีการเปลี่ยนในทิศทางใด

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสพบว่า อุณหภูมิของเนื้อมะเขือเทศบดเพิ่มขึ้นจาก 28 องศาเซลเซียสเป็น 90 องศาเซลเซียสภายในระยะเวลา 25 นาที และคงที่ที่อุณหภูมิ 90 ถึง 92 อาศาเซลเซียสตลอดระยะเวลา 3 ชั่วโมงของการให้ความร้อน สำหรับการเปรียบเทียบอุณหภูมิของตัวอย่างเนื้อมะเขือเทศบดกรณีที่เติมและไม่เติมวัตถุเจือปนอาหาร (น้ำตาลซูโครส 10 เปอร์เซ็นต์ และแป้งข้าวโพด 2 เปอร์เซ็นต์) พบว่า การเติมวัตถุเจือปนอาหารไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของอุณหภูมิที่แตกต่างไปจากอุณหภูมิของเนื้อมะเขือเทศบดที่ไม่เติมวัตถุเจือปนอาหารแต่อย่างใด จึงทำให้สามารถสรุปได้ว่า วัตถุเจือปนอาหารไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเนื้อมะเขือเทศบดในสภาวะที่ทำการทดลอง

การศึกษาจลนพลศาสตร์เบื้องต้นของการสูญเสียไลโคปีนในระหว่างการให้ความร้อนเนื้อมะเขือเทศบด โดยการให้ความร้อนในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสพบว่า ค่าครึ่งชีวิตและค่าคงที่ของอัตราการสูญเสียไลโคปีนจากผลการทดลองนี้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.82 ชั่วโมงและ 0.0029 ต่อนาทีตามลำดับ

การศึกษาผลของวัตถุเจือปนอาหารต่อการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนโดยการต้มในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสที่ความเข้มข้นต่างกัน และวัดปริมาณไลโคปีนทุกชั่วโมงจนครบเวลา 3 ชั่วโมง โดยทำการศึกษากับวัตถุเจือปนอาหาร 3 ประเภทหลักได้แก่ วัตถุเจือปนอาหารที่ช่วยในด้านกลิ่นรส (เกลือ น้ำตาล และกรดอะซิติก) วัตถุเจือปน-อาหารที่ช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัส (แซนแทนกัมและแป้งข้าวโพด) และวัตถุเจือปนอาหารที่มีสมบัติต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (โพรพิลแกลเลต กรดแอสคอร์บิก แอลฟา-โทโคฟีรอล บีเอชที สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง และสารสกัดจากเปลือกมะม่วง) พบว่าวัตถุเจือปนอาหารแต่ละประเภทและแต่ละชนิดส่งผลต่อปริมาณไลโคปีนในลักษณะที่แตกต่างกันออกไป

วัตถุเจือปนอาหารที่ช่วยในด้านกลิ่นรส ได้แก่ เกลือโซเดียมคลอไรด์ (0, 1, 3, และ 5 เปอร์เซ็นต์) น้ำตาล (0, 5, 10, และ 15 เปอร์เซ็นต์) และกรดอะซิติก (0, 5, 10, และ 15 เปอร์เซ็นต์) มีผลในการช่วยเร่งอัตราการสูญเสียไลโคปีนทั้งหมด โดยที่เกลือและน้ำตาลมีผลช่วยเร่งให้เกิดการสูญเสียไลโคปีนเป็นอย่างมากในทุก ๆ ชั่วโมงที่ให้ความร้อน สำหรับกรดอะซิติกมีผลในการช่วยลดอัตราการสูญเสียไลโคปีนในชั่วโมงแรก แต่ในชั่วโมงที่ 2 และ 3 จะมีผลในการเร่งให้เกิดการ

สูญเสียไลโคปีนเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามการสูญเสียที่เกิดขึ้นก็ยังน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเกลือและน้ำตาล

วัตถุเจือปนอาหารที่ช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัส ได้แก่ แซนแทนกัม (0, 0.01, 0.02, และ 0.03 เปอร์เซ็นต์) และแป้งข้าวโพด (0, 1, 3, และ 5 เปอร์เซ็นต์) มีผลในการช่วยเร่งอัตราการสูญเสียไลโคปีนทั้ง 2 ชนิด ซึ่งแป้งข้าวโพดมีผลทำให้เกิดการสูญเสียไลโคปีนมากกว่าแซนแทนกัม อย่างไรก็ตามความเข้มข้นที่ใช้นั้นต่างกันจึงไม่สามารถเปรียบเทียบกันได้อย่างชัดเจน

วัตถุเจือปนอาหารที่มีสมบัติต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ได้แก่ โพรพิลแกลเลต (0, 0.01, 0.02, และ 0.03 เปอร์เซ็นต์) กรดแอสคอร์บิก (0, 0.01, 0.03, 0.05, 0.1, 0.2, และ 0.3 เปอร์เซ็นต์) แอลฟา-โทโคฟีรอล (0, 0.01, 0.03, และ 0.05 เปอร์เซ็นต์) บีเอชที (0, 0.01, 0.02, และ 0.03 เปอร์เซ็นต์) สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง (0, 0.1, 0.2, และ 0.3 เปอร์เซ็นต์) และสารสกัดจากเปลือกมะม่วง (0, 0.1, 0.2, และ 0.3เปอร์เซ็นต์) ซึ่งวัตถุเจือปนอาหารแต่ละชนิดส่งผลต่อปริมาณไลโคปีนในลักษณะที่แตกต่างกัน โดยที่โพรพิลแกลเลต กรดแอสคอร์บิก สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง และสารสกัดจากเปลือกมะม่วงมีผลทำให้ให้อัตราการสูญเสียไลโคปีนเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบในระดับความเข้มข้นที่เท่ากันพบว่า สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงช่วยเร่งให้เกิดการสูญเสียไลโคปีนมากที่สุด รองลงมาได้แก่ สารสกัดจากเปลือกมะม่วงและกรดแอสคอร์บิกตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบการสูญเสียไลโคปีนในกรณีของโพรพิลแกลเลตกับกรดแอสคอร์บิกในระดับความเข้มข้นที่เท่ากันจะเห็นได้ว่า โพรพิล-แกลเลตมีผลในการส่งเสริมให้อัตราการสูญเสียไลโคปีนเพิ่มสูงขึ้น ส่วนกรดแอสคอร์บิกที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.05 ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไลโคปีน สำหรับวัตถุเจือปนอาหารที่มีสมบัติต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งมีผลในการช่วยลดอัตราการสูญเสียไลโคปีน ได้แก่ แอลฟา-โทโคฟีรอลและบีเอชที โดยพบว่าแอลฟา-โทโคฟีรอลและบีเอชทีสามารถช่วยลดอัตราการสูญเสียไลโคปีนในทุกชั่วโมงของการให้ความร้อนและทุกระดับความเข้มข้นที่ใช้ โดยบีเอชทีสามารถช่วยลดอัตราการสูญเสียไลโคปีนได้ดีกว่าแอลฟา-โทโคฟีรอลเล็กน้อย

5.2 ข้อเสนอแนะ

การนำสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันมาเติมในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศที่ผ่านการให้ความร้อนเพื่อช่วยลดการสูญเสียไลโคปีนควรจะต้องมีการศึกษาถึงผลที่จะได้รับอย่างถี่ถ้วนก่อนนำมาใช้ เนื่องจากสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันบางชนิด เช่น สารประกอบในกลุ่มฟีนอลิกกลับมีผลในการเร่งให้เกิดการสูญเสียไลโคปีนเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นในการเลือกวัตถุเจือปนอาหารแต่ละชนิดจึงต้องศึกษาถึงผลที่จะได้รับอย่างรอบคอบ นอกจากนี้ผลของการใช้วัตถุเจือปนอาหารหลายชนิดร่วมกันต่อการสูญเสียไลโคปีนในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศก็เป็นปัจจัยที่ควรได้รับการพิจารณาและมีการศึกษาต่อไป

บรรณานุกรม

ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม. 2546. ผลของกรรมวิธีแปรรูปต่อการสูญเสียปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศ. *วารสารอาหาร*. 33 : 111-118.

พอใจ ถามากร. 2543. ไลโคปีน. *วารสารเกษตรพระจอมเกล้า*. 18 : 68-76.

เยาวภา สิริวัฒนานุกูล. 2545. "การศึกษาการสูญเสียไลโคปีนในระหว่างกระบวนการผลิตซอสมะเขือเทศและมะเขือเทศแช่อิ่ม." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ลักขณา รุจณไกรกานต์ และนิตยา รัตนาปนท์. 2540. *หลักการวิเคราะห์อาหาร*, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ศิวาพร ศิวเวชช. 2535. **วัตถุเจือปนอาหารในผลิตภัณฑ์อาหาร.** นครปฐม : โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ

ศิวาพร ศิวเวชช. 2546. **วัตถุเจือปนอาหารเล่ม1.** นครปฐม : โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ

สมภพ ฐิตะวสันต์. 2530. **การผลิตมะเขือเทศเพื่อการค้า.** กรุงเทพ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

Ax, K., Mayer-Miebach, E., Link, B., Schuchmann, H. and Schubert, H. 2003. "Stability of lycopene in oil-in-water emulsions." **Eng. Life Sci.** 4 : 199-201.

AOAC. Official Method of analysis. 1990. "The association of analysis chemists." 15th ed. Virginia : AOAC

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.

Biacs, P.A. and Daood, H.G. 2000. "Lipoxygenase-catalysed degradation of carotenoids from tomato in the presence of antioxidant vitamins." **Biochem. Soc. Trans.** 28 : 839-845.

Boskovic, M.A. 1979. "Fate of lycopene in dehydrated tomato products: carotenoid isomerization in food system." **J. Food Sci.** 44 : 84-86.

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.

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., Lambert, C., Land, E.J., Schalch, W. and Truscott, T.G. 1992. "Carotene-oxygen radical interactions." **Free Radic. Res. Commun.** 16 : 401-408.

Conn, P.F., Schalch, W. and Truscott, T.G. 1991. "The singlet oxygen and carotenoid interaction." **J. Photochem. Photobiol. B. Biol.** 11 : 41-47.

Di Mascio, P., Kaiser, S. and Sies, H. 1989. "Lycopene as the most efficient biological carotenoid singlet oxygen quencher." **Arch. Biochem. Biophls.** 274 : 532-538.

Diaz, M.N., Frei, B., Vita, J.A. and Keaney, J.F. 1997. "Antioxidant and atherosclerotic heart diseases." **New Eng. J. Med.** 337 : 408-416.

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

Fukumoto, L.R. and Mazza, G. 2000. "Assessing antioxidant and prooxidant activies of phenolic compounds." **J. Agric. Food Chem.** 48 : 3597-3604.

Giovanelli, G. and Paradiso, A. 2002. "Stability of dried and intermediate moisture tomato pulp during storage." **J. Agri. Food Chem.** 50 : 7277-7281.

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

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

Guerra, M., Jaramillo, M.E., Dorantes, L. and Hernandez, H. 2001. "Caroteniod retention in canned pickled jalapeno peppers and carrots as affected by sodium chloride, acetic acid, and pasteurization." **J. Food Sci.** 66 : 620-626.

Higson, F.K., Kohen, R. and Chevion, M. 1988. "Iron enhancement of ascorbate toxicity." **Free Rad. Res. Commun.** 5 : 107.

Hodnick, W.F., Ahmad, S. and Pardini, R.S. 1998. "Induction of oxidative stress by redox Active flavonoids." **Advances Exp. Med. Biol.** 439 : 131-150.

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.

Karrer, P. and Jucker, E. 1950. **Carotenoids.** New York : Elsevier.

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

Larrauri, JA., Rupérez, P. and Saura-Calixto, F. 1997. "Mango peel fibres with antioxidant activity." **Eur. Food Res.Tech.** 205 :35-42

Latapi, G. and Berrett, D.M. 2006. "Influence of pre-drying treatments on quality and safety of sun-dried tomatoes. Part II. Effect of storageon nutritional and sensory quality of sun-dried tomatoes pretreated with sulfur, sodium metbisulfite, or salt." **J. Food Sci.** 71 : 32-37.

Lee, M.T. and Chen, B.H. 2002. "Stability of lycopene during heating and illumination in a model system." **Food Chem.** 78 : 425-432.

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 then either ∞–carotene or β–carotene." **Nutr. Cancer.** 24 : 257-266.

Lovric, T., Sablek, Z. and Boskovic, M. 1970. "Cis-trans isomerization of lycopene and colour stability of foam-mat dried tomato powder during storage." **J. Sci. Food Agric.** 21 : 642-647.

Miki, N. and Akatsu, K. 1970. "Effect of heating sterilization on color of tomato juice." **J. Jpn. Food ind.** 17 : 175-181.

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

Morgan, J.F., Klucas, R.V. and Grayer, R.J. 1997. "Complexes of iron with phenolic compounds from soybean nodules and other legume tissues: prooxidant and antioxidant properties. **Free Radic. Biol. Med.** 22 : 861-70.

Mortensen, A., Skibsted, L.H., Willnow, A. and Everett, S.A. 1998. "Re-appraisal of tocopheroxyl radical reaction with β–carotene: evidence for oxidation vitamin E by the β–carotene radical cation." **Free Rad. Res.** 28 : 69-80.

Mortensen, A. and Skibsted, L.H., 1997a. "Relative stability of carotenoid radical cations and homologue tocopheroxyl radicals. A real time kinetic study of antioxidant hierarchy." **FEBS Letters.** 417 : 261-266.

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

Osborn, H.T. and Akoh, C.C. 2003. **Effect of natural antioxidants on iron-catalyzed lipid oxidation of structured lipid-base emulsion.** [Online]. Available : http://ift.confex.com/ift/2003/techprogram/paper_17204.html.

Palozza, P. 1998. "Prooxidant actions of carotenoids in biologic systems." **Nutr. Rev.** 56 : 257-265.

Ramakrishnan, T.V. and Francis, F.J. 1979. "Stability of carotenoids in model aqueous systems." **J. Food Qual.** 2 : 177-189.

Pryzbylski, R., Lee, Y.C. and Eskin, N.A.M. 1998. "Antioxidant and radical-scavenging activities of buckwheat seed components." **J. Am. Oil Chem. Soc.** 75 : 1595-1601.

Ribeiro, H.S., AX, K. and Schubert, H. 2003. "Stability of lycopene emulsions in food systems." **J. Food Sci.** 68 : 2730-2734.

Sakagami, H. and Satoh, K. 1997. "Prooxidant action of two antioxidants: ascorbic acid and gallic acid." **Anticancer Res.** 17 : 221-224

Schierle, J., Bretzel, W., Buhler, L., 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 : 459-465.

Schwarz, K., Huang, S-W., German, JB., Tiersch, B., Hartmann, J. and Frankel, E.N. 2000. "Acvities of antioxidants are affected by colloidal properties of oil-in-water and water-in-oil emulsion and bulk oils." **J. Agric. Food Chem.** 48 : 4874-4882.

Sergediene, E., Jonsson, K., Szymusiak, H., Tyrakowska, B., Rietjens, I.M.C.M. and Cenas, N. 1999. "Prooxidant toxicity of polyphenolic antioxidants to HL-60 cells: description of quantitative structure-activity relationships." **FEBS letters.** 462 : 392-396.

Sharma, S.K. and Maguer M.L. 1996. "Kinetics of lycopene degradation in tomato pulp solids under different processing and storage conditions." **Food Res. Int.** 29 : 309-315.

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

Shi, J. and Le Maguer, M. 2000. "Lycopene in tomato: Chemical and Physical Property Affect by Food Processing." **Crit. Rev. Food Sci. Nutr.** 40 : 1-42.

Shi, J., Wu, Y., Bryan, M. and Maguer, M.L. 2002. "Oxidation and isomerization of lycopene under thermal treatment and light irradiation in food processing." **Nutraceut. Food** 7 : 179-183.

Stahl, W., sundquist, A.R., Hamusch, M., Schwarz, W. and Sies, H. 1993. "Separation of β–carotene geometrical isomers in biological samples." **Clin. Chem.** 39 : 810-814.

Stahl, W. and Sies, H. 1996. "Perspectives in biochemistry and biophysics." **Arch. Biochem. Biophys.** 336 : 1-9.

Tavares, C.A. and Rodriguez-Amaya, D.B. 1994. "Carotenoid composition of Brazilian tomatoes and tomato products." **Lebensm.-Wiss. U.-Tech.** 27 : 219-224.

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

Tsuchihashi, H., Kigoshi, M., Iwatsuku, M. and Niki, E. 1995. "Action of β-carotene as an antioxidant against lipid peroxidation." **Arch. Biochem. Biophys.** 323 : 137-147.

Zanoni, B., Peri, C., Nani, R. and Lavelli, V. 1999. "Oxidative heat damage of tomato halves as affected by drying." **Food Res. Int.** 31 : 395-401.

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

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990)

1.1 อุปกรณ์

1.1.1 ตู้อบแบบ forced air (Forced Air Oven Drying)

1.1.2 ถ้วยอลูมิเนียม

1.1.3 โถดูดความชื้น (Dessicator)

1.1.4 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง

1.2 วิธีวิเคราะห์

1.2.1 ชั่งน้ำหนักถ้วยอลูมิเนียมพร้อมฝาที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 135±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 2 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วจึงชั่งน้ำหนัก

1.2.2 ชั่งตัวอย่าง 2 กรัมใส่ถ้วยอลูมิเนียมที่ชั่งน้ำหนักแล้ว

1.2.3 นำไปอบในตู้สูญญากาศที่อุณหภูมิ 135±2 องศาเซลเซียสจนได้น้ำหนักคงที่

1.2.4 คำนวณปริมาณความชื้นโดยใช้สูตร

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

ภาคผนวก ข

ข1. การคำนวณปริมาณไลโคปีนที่วิเคราะห์โดยวิธี Spectrophotometry

ตัวอย่างเนื้อมะเขือเทศบด 0.5091 กรัม ในสารละลายอะซิโตน 50 มิลลิลิตร วัดค่าการดูดกลืน-แสงที่ความยาวคลื่น 473 นาโนเมตรได้ 0.402 และมีความชื้นร้อยละ 94.07

จากสูตร $A = \varepsilon bc$

เมื่อ A = ค่าการดูดกลืนแสง

ε = ค่า extinction coefficient ของการดูดกลืนแสงของไลโคปีนที่ความยาวคลื่น 473 นาโนเมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.86×10^4 L $mol^{-1}cm^{-1}$

b = ความกว้างของคิวเวตต์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 cm

c = ความเข้มข้นของไลโคปีน (mol/L)

แทนค่าในสูตรเพื่อหาค่า c

$0.402 = 1.86 \times 10^4$ L $mol^{-1}cm^{-1} \times 1$ cm $\times$ c

$c = 2.1613 \times 10^{-6}$ mol/L

คำนาณปริมาณไลโคปีนในตัวอย่าง 1 กรัมน้ำหนักสด โดยให้น้ำหนักโมเลกุลของ all-trans lycopene เท่ากับ 536.85 Da

ในสารละลายอะซิโตน 1000 ml มีไลโคปีนทั้งหมด $= 2.1613 \times 10^{-6}$ mol

ในสารละลายอะซิโตน 50 ml มีไลโคปีนทั้งหมด $= \frac{2.1613 \times 10^{-6} \times 50}{1000}$ mol

$= 1.0806 \times 10^{-7}$ mol

ไลโคปีน 1 mol หนัก = 536.85 g

ไลโคปีน 1.0806×10^{-7} mol หนัก $= 536.85 \times 1.0806 \times 10^{-7}$

$= 5.8014$ g / 0.5091 g ตัวอย่างน้ำหนักสด

$= 1.1395 \times 10^{-4}$ g / g ตัวอย่างน้ำหนักสด

คำนาณปริมาณไลโคปีนในหน่วยมิลลิกรัม / 100 กรัมน้ำหนักแห้ง

ในตัวอย่างมีความชื้นร้อยละ 94.07 ดังนั้นมีปริมาณของแข็งร้อยละ 5.93

ในตัวอย่าง 100 g มีปริมาณของแข็ง = 5.93 g

ในตัวอย่าง 1 g มีปริมาณของแข็ง = 5.93 / 100 = 0.0593 g

ในตัวอย่างน้ำหนักแห้ง 0.0593 g มีปริมาณไลโคปีน $= 1.1395 \times 10^{-4}$ g

ในตัวอย่างน้ำหนักแห้ง 1 g มีปริมาณไลโคปีน $= \frac{1.1395 \times 10^{-4}}{0.0593}$ g / g น้ำหนักแห้ง

$= 1.9216 \times 10^{-3}$ g / g น้ำหนักแห้ง

= 192.16 mg / 100 g น้ำหนักแห้ง

ข2. การคำนวณค่าครึ่งชีวิตของไลโคปีน

ตัวอย่างเนื้อมะเขือเทศบดมีปริมาณไลโคปีนเริ่มต้น 181.51 มิลลิกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง เมื่อนำไปให้ความร้อนในอ่างน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100°ซ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง มีปริมาณไลโคปีนเหลืออยู่ 84.65 มิลลิกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง

จากสูตร $N_A = \frac{N_O}{2^n}$

เมื่อ N_A = ปริมาณไลโคปีนที่เหลือ (มก./100ก.น้ำหนักแห้ง)

N_O = ปริมาณไลโคปีนเริ่มต้น (มก./100ก.น้ำหนักแห้ง)

n = จำนวนครั้งในการสลายตัวของครึ่งชีวิต

แทนค่าในสูตรเพื่อหาค่า n

$$84.65 = \frac{181.51}{2^n}$$

$$2^n = 2.14$$

$$n = 1.10$$

จากสูตร $T = nt_{1/2}$

เมื่อ $t_{1/2}$ = ค่าครึ่งชีวิตของไลโคปีน (ชั่วโมง)

T = จำนวนเวลาที่ไลโคปีนสลายตัว (ชั่วโมง)

แทนค่าในสูตรเพื่อหาค่า $t_{1/2}$

$$4 = 1.10\ t_{1/2}$$

$t_{1/2}$ = 3.64 ชั่วโมง

ภาคผนวก ค

ตารางผนวกที่ ค1 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนและเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

เวลา (ชม.)	ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ (%)			
	0	1	3	5
1	10.04 ± 1.37^{a}	27.44 ± 3.27^{b}	43.37 ± 1.54^{c}	56.12 ± 1.95^{d}
2	21.74 ± 2.54^{a}	35.28 ± 2.04^{b}	53.40 ± 2.69^{c}	62.12 ± 2.49^{d}
3	36.93 ± 1.59^{a}	47.08 ± 1.81^{b}	61.37 ± 1.34^{c}	70.45 ± 1.92^{d}

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

2) ร้อยละของการสูญเสียไลโคปีนที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากผลการทดลอง 4 ซ้ำ

ตารางผนวกที่ ค2 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนและเติมน้ำตาลซูโครสที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

เวลา (ชม.)	ปริมาณน้ำตาลซูโครส (%)			
	0	5	10	15
1	9.59 ± 1.78^{a}	21.27 ± 3.10^{b}	34.31 ± 0.62^{c}	45.13 ± 1.52^{d}
2	24.01 ± 1.41^{a}	43.99 ± 1.89^{b}	61.28 ± 1.62^{c}	74.92 ± 0.92^{d}
3	39.63 ± 1.33^{a}	58.03 ± 0.57^{b}	75.77 ± 1.45^{c}	84.32 ± 0.56^{d}

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

2) ร้อยละของการสูญเสียไลโคปีนที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากผลการทดลอง 4 ซ้ำ

ตารางผนวกที่ ค3 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนและเติมกรดอะซิติกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

เวลา (ชม.)	ปริมาณกรดอะซิติก (%)			
	0	5	10	15
1	11.23 ± 1.11^{a}	9.29 ± 1.58^{a}	6.07 ± 1.04^{b}	1.18 ± 1.39^{c}
2	18.56 ± 1.34^{a}	21.23 ± 1.77^{ab}	22.13 ± 1.65^{bc}	24.15 ± 2.18^{d}
3	37.76 ± 1.87^{a}	40.89 ± 1.76^{b}	43.40 ± 1.28^{c}	43.88 ± 0.84^{c}

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

2) ร้อยละของการสูญเสียไลโคปีนที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากผลการทดลอง 4 ซ้ำ

ตารางผนวกที่ ค4 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนและเติมแซนแทนกัมที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

เวลา (ชม.)	ปริมาณแซนแทนกัม (%)			
	0	0.01	0.02	0.03
1	9.98 ± 1.46^{a}	13.58 ± 1.53^{b}	16.64 ± 1.36^{c}	19.28 ± 0.87^{d}
2	19.27 ± 1.25^{a}	23.21 ± 0.70^{b}	26.30 ± 0.91^{c}	29.55 ± 1.49^{d}
3	36.80 ± 0.77^{a}	40.00 ± 0.77^{b}	43.09 ± 1.37^{c}	46.44 ± 0.24^{d}

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

2) ร้อยละของการสูญเสียไลโคปีนที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากผลการทดลอง 4 ซ้ำ

ตารางผนวกที่ ค5 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนและเติมแป้งข้าวโพดที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

เวลา (ชม.)	ปริมาณแป้งข้าวโพด (%)			
	0	1	2	3
1	10.57 ± 2.38^{a}	20.85 ± 1.66^{b}	32.59 ± 1.74^{c}	43.70 ± 1.97^{d}
2	23.18 ± 0.91^{a}	38.44 ± 1.65^{b}	45.71 ± 1.38^{c}	54.84 ± 1.62^{d}
3	37.98 ± 0.66^{a}	55.77 ± 1.49^{b}	61.61 ± 1.00^{c}	65.49 ± 0.68^{d}

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

2) ร้อยละของการสูญเสียไลโคปีนที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากผลการทดลอง 4 ซ้ำ

ตารางผนวกที่ ค6 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนและเติมแอลฟา-โทโคฟีรอลที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

เวลา (ชม.)	ปริมาณแอลฟา-โทโคฟีรอล (%)			
	0	0.01	0.03	0.05
1	10.41 ± 1.02^{a}	7.85 ± 0.92^{b}	1.75 ± 1.58^{c}	0.12 ± 0.21^{d}
2	24.92 ± 1.00^{a}	22.03 ± 0.88^{b}	18.47 ± 0.52^{c}	14.46 ± 1.10^{d}
3	36.75 ± 0.88^{a}	34.10 ± 0.75^{b}	31.30 ± 0.52^{c}	28.60 ± 0.43^{d}

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

2) ร้อยละของการสูญเสียไลโคปีนที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากผลการทดลอง 4 ซ้ำ

ตารางผนวกที่ ค7 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนและเติมบีเอชทีที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

เวลา (ชม.)	ปริมาณบีเอชที (%)			
	0	0.01	0.02	0.03
1	10.29 ± 2.01^{a}	4.31 ± 1.57^{b}	2.36 ± 1.14^{b}	0.16 ± 0.21^{c}
2	22.82 ± 1.20^{a}	19.13 ± 2.11^{b}	15.61 ± 1.39^{c}	10.05 ± 2.24^{d}
3	33.57 ± 0.75^{a}	32.57 ± 1.34^{a}	29.44 ± 0.61^{b}	27.99 ± 1.20^{b}

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

2) ร้อยละของการสูญเสียไลโคปีนที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากผลการทดลอง 4 ซ้ำ

ตารางผนวกที่ ค8 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนและเติมกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้น 0 - 0.05 เปอร์เซ็นต์

เวลา (ชม.)	ปริมาณกรดแอสคอร์บิก (%)			
	0	0.01	0.03	0.05
1	8.65 ± 2.58^{a}	7.73 ± 2.19^{a}	8.92 ± 2.12^{a}	7.88 ± 2.21^{a}
2	21.67 ± 0.98^{a}	21.49 ± 1.68^{a}	21.08 ± 1.66^{a}	21.12 ± 2.75^{a}
3	38.37 ± 0.52^{a}	38.20 ± 1.10^{a}	38.45 ± 0.62^{a}	38.64 ± 1.24^{a}

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

2) ร้อยละของการสูญเสียไลโคปีนที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากผลการทดลอง 4 ซ้ำ

ตารางผนวกที่ ค9 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนและเติมกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้น0 - 0.3 เปอร์เซ็นต์

เวลา (ชม.)	ปริมาณกรดแอสคอร์บิก (%)			
	0	0.1	0.2	0.3
1	10.08 ± 1.04^{a}	15.17 ± 1.66^{b}	23.32 ± 1.31^{c}	28.75 ± 1.76^{d}
2	21.63 ± 2.32^{a}	27.09 ± 1.24^{b}	31.30 ± 0.31^{c}	38.09 ± 1.52^{d}
3	37.36 ± 1.27^{a}	41.49 ± 1.23^{b}	45.35 ± 0.39^{c}	48.09 ± 1.09^{d}

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

2) ร้อยละของการสูญเสียไลโคปีนที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากผลการทดลอง 4 ซ้ำ

ตารางผนวกที่ ค10 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนและเติมโพลพิลแกลเลตที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

เวลา (ชม.)	ปริมาณโพลพิลแกลเลต (%)			
	0	0.01	0.02	0.03
1	8.53 ± 1.26^{a}	13.47 ± 1.32^{b}	17.35 ± 1.04^{c}	25.89 ± 1.41^{d}
2	17.16 ± 0.89^{a}	27.40 ± 1.13^{b}	32.52 ± 0.39^{c}	37.79 ± 1.37^{d}
3	36.88 ± 1.13^{a}	45.25 ± 0.80^{b}	47.91 ± 1.27^{c}	57.56 ± 1.44^{d}

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

2) ร้อยละของการสูญเสียไลโคปีนที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากผลการทดลอง 4 ซ้ำ

ตารางผนวกที่ ค11 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนและเติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

เวลา (ชม.)	ปริมาณสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง (%)			
	0	0.1	0.2	0.3
1	9.24 ± 1.07 [a]	17.58 ± 2.23 [b]	21.49 ± 1.40 [c]	26.00 ± 0.65 [d]
2	23.44 ± 1.32 [a]	31.94 ± 1.08 [b]	34.65 ± 1.32 [c]	39.27 ± 1.01 [d]
3	37.29 ± 1.08 [a]	45.09 ± 1.20 [b]	50.64 ± 0.98 [c]	54.86 ± 1.43 [d]

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

2) ร้อยละของการสูญเสียไลโคปีนที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากผลการทดลอง 4 ซ้ำ

ตารางผนวกที่ ค12 การสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศบดในระหว่างการให้ความร้อนและเติมสารสกัดจากเปลือกมะม่วงที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

เวลา (ชม.)	ปริมาณสารสกัดจากเปลือกมะม่วง (%)			
	0	0.1	0.2	0.3
1	9.54 ± 1.60 [a]	17.30 ± 0.86 [b]	21.36 ± 1.15 [c]	26.09 ± 2.23 [d]
2	20.53 ± 1.52 [a]	26.29 ± 1.11 [b]	32.58 ± 1.38 [c]	36.23 ± 0.96 [d]
3	37.00 ± 0.88 [a]	43.00 ± 0.42 [b]	46.69 ± 0.98 [c]	52.39 ± 0.66 [d]

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

2) ร้อยละของการสูญเสียไลโคปีนที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากผลการทดลอง 4 ซ้ำ

ประวัติผู้เขียน

น.ส. วรพรรณ ศรีเจริญชัยกุล เกิดวันที่ 4 มิถุนายน พ.ศ. 2523 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพฯ ปีการศึกษา 2544 ศึกษาต่อในระดับวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร ปีการศึกษา 2545 และสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2549