



อิทธิพลของสภาวะการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านสีและปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศ
ราชินีผง



การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร แผน ข ระดับปริญญาามหาบัณฑิต

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2566

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

อิทธิพลของสภาวะการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านสีและปริมาณไลโคปีนใน
มะเขือเทศราชินีผง



การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร แผนก ข ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต
ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร
มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2566
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

THE INFLUENCE OF STORAGE CONDITIONS ON THE COLOR PROPERTY AND
LYCOPENE CONTENT OF CHERRY TOMATO POWDER



By

MRS. Siripan SANGMANEE

An Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for Master of Science FOOD TECHNOLOGY

Department of FOOD TECHNOLOGY

Silpakorn University

Academic Year 2023

Copyright of Silpakorn University

หัวข้อ	อิทธิพลของสภาวะการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านสี และปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศราชินีผง
โดย	นางศิริพันธ์ แสงมณี
สาขาวิชา	เทคโนโลยีอาหาร แผนก ข ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุศราภรณ์ มหาโยธี

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์และ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรุณศรี ลีจรรย์เนียร)	
พิจารณาเห็นชอบโดย	
.....	ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ปราโมทย์ คูวิจิตรจารุ)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุศราภรณ์ มหาโยธี)	
.....	ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(รองศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต อินดวงค์)	

620920084 : เทคโนโลยีอาหาร แผน ข ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต

คำสำคัญ : มะเขือเทศผง การเก็บรักษา โลโคป็น แสง คุณภาพ

นาง ศิริพันธ์ แสงมณี: อิทธิพลของสภาวะการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านสีและปริมาณโลโคป็นในมะเขือเทศราชินีผง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุศราภรณ์ มหาโยธี

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของสภาวะการเก็บรักษาต่อคุณภาพด้านสีและปริมาณโลโคป็นของมะเขือเทศราชินีผงที่ผลิตด้วยการทำแห้งแบบโพรแมต โดยใช้ชอยโปรตีนเป็นสารก่อโพรแมต บรรจุมะเขือเทศราชินีผง 65 ± 0.1 กรัม ในกระปุกโพลีเอทิลีนเทรฟทาเลต ขนาด 145 มิลลิกรัม เก็บรักษาในสภาวะที่ไม่โดนแสง และสภาวะที่โดนแสง เป็นระยะเวลา 122 วัน ที่อุณหภูมิ 30 ± 0.83 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 61.89 ± 6.41 ในห้องที่มีแสงตามธรรมชาติส่องตลอดในช่วงกลางวัน พบว่าคุณภาพด้านสีของมะเขือเทศราชินีผงทั้ง 2 สภาวะ มีค่าความเป็นสีแดง a^*/b^* ลดลงระหว่างการเก็บรักษา ในขณะที่ค่า L^* , b^* , C^* และ H° มีค่าเพิ่มขึ้น คุณภาพด้านเคมีพบว่า มะเขือเทศราชินีผงมีการดูดความชื้นเล็กน้อยในระหว่างการเก็บรักษา แต่ยังไม่เกิดการเกาะตัวเป็นก้อนและยังมีคุณภาพดี โดยมีค่าออเตอร์แอกติวิตีระหว่าง 0.3147 - 0.3477 และค่าความชื้นระหว่างร้อยละ 10.21 - 12.93 ค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลและปริมาณโลโคป็นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยดัชนีการเกิดสีน้ำตาลมีค่าระหว่าง 0.67 - 0.37 ลดลงร้อยละ 44.77 และปริมาณโลโคป็นมีค่าระหว่าง 0.87 - 0.43 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ลดลงร้อยละ 50.57 ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ของปริมาณโลโคป็นและค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลระหว่างสภาวะที่โดนแสงและไม่โดนแสง

620920084 : Major FOOD TECHNOLOGY

Keyword : tomato powder storage lycopene light quality

MRS. Siripan SANGMANEE : The influence of storage conditions on the color property and lycopene content of cherry tomato powder Thesis advisor : Busarakorn Mahayothee

The objective of this research was to study the influence of storage conditions on the color property and lycopene content of Cherry tomato powder produced by foam mat drying. They were using soy protein as a foaming agent. Contains 65 ± 0.1 g. of Cherry tomato powder in a 145 mg. polyethylene terephthalate jar. Stored in a condition not exposed to light. and conditions exposed to light for a period of 122 days at a temperature of 30 ± 0.83 °C, relative humidity of 61.89 ± 6.41 % in a room with natural light shining throughout the day. It was found that the color property of Cherry tomato powder in both conditions had a^*/b^* redness values decreasing during storage, while L^* , b^* , C^* and H° values increased. Chemical quality found Cherry tomato powder is slightly hygroscopic during storage. But it has not clumped and is still of good quality. The water activity value was between 0.3147 - 0.3477 and the humidity value was 10.21 - 12.93 %. The browning index and lycopene content decreased significantly ($p \leq 0.05$). The browning index value was between 0.67 - 0.37, decreased by 44.77 %, and the lycopene amount was between 0.87 - 0.43 mg/g. of dry weight, it decreased by 50.57 %. There was no significant difference ($p \geq 0.05$) on lycopene content between lycopene content and browning index between light-exposed and unexposed conditions.

กิตติกรรมประกาศ

การค้นคว้าอิสระฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ต้องกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุศราภรณ์ มหาโยธี ผู้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา ตลอดจนแนวความคิดในการทำงานวิจัยที่ดี จนเป็นเล่ม การค้นคว้าอิสระ รวมถึงความเมตตาในการให้ข้อคิดในการทำงาน การดำเนินชีวิต และคำสอนในด้านการพัฒนาตนเองด้วยดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ปราโมทย์ คุวิจิตรจรรู ที่ช่วยให้คำแนะนำ คำปรึกษาด้านความรู้ หลักการใช้งานของเครื่องมือวิทยาศาสตร์ และการวิเคราะห์ข้อมูลที่ดี

ขอขอบคุณ ดร. นิโบล โกมลสิงห์ สำหรับการให้คำแนะนำ คำปรึกษา ในด้านการทำงานวิจัย หลักการ วิธีการใช้งานของเครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง และทักษะในการวิเคราะห์ค่าทางเคมีต่างๆ ที่สามารถนำมาเป็นแนวทางในการทำงานวิจัย รวมถึงรูปแบบการนำเสนอผลงานการวิจัยที่ดี และความช่วยเหลือในการทำเล่มการค้นคว้าอิสระตลอดจนการสนับสนุนด้านต่างๆ เป็นกำลังใจ กำลังความคิดที่ดีในการทำงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต อินณวงศ์ ที่อนุเคราะห์เป็นกรรมการสอบ การค้นคว้าอิสระเป็นอย่างสูง รวมถึงคำแนะนำในการตรวจสอบ แก้ไข เล่มการค้นคว้าอิสระฉบับนี้ให้ถูกต้อง และสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่งานธุรการและนักวิทยาศาสตร์ ของภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร ที่อำนวยความสะดวกในเรื่องเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา และการใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ในงานวิจัย ที่รองรับการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ

ขอขอบคุณ น้องๆ ทุกคนสำหรับการช่วยเหลือพร้อมทั้งให้คำแนะนำ ปรึกษาด้านงานวิจัย ให้กำลังใจ กำลังใจที่ดี โดยเฉพาะ เตย แชนด์ และตรีม

ขอขอบพระคุณคณะผู้บริหาร และคณะครู วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีสุพรรณบุรี ที่อำนวยความสะดวกด้านเวลา และให้คำปรึกษาด้านการศึกษา พร้อมทั้งให้กำลังใจ กำลังความคิด ในการทำงานวิจัยครั้งนี้

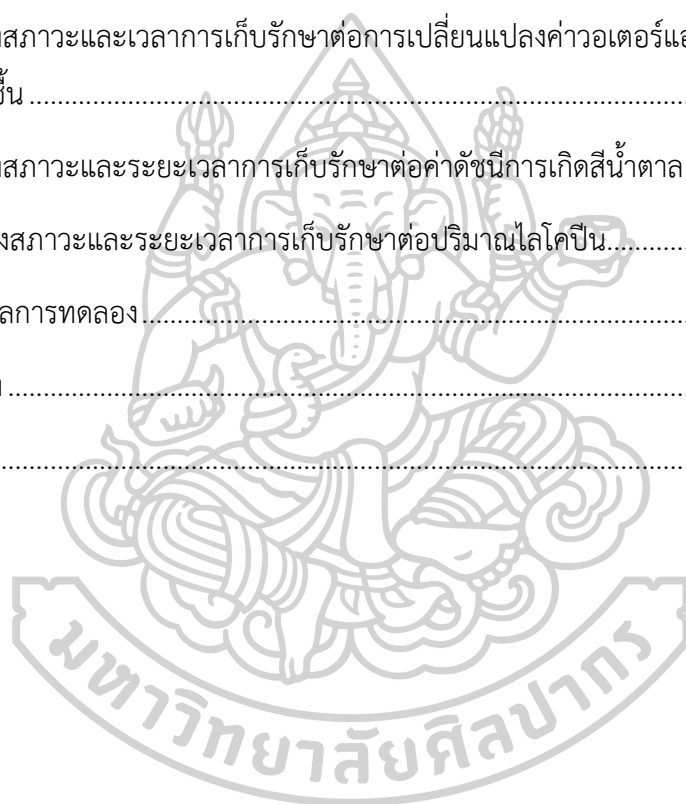
สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณคุณแม่ ขอขอบคุณสามี ลูกสาวทั้งสอง พี่ ๆ และเพื่อน ๆ ทุกคน สำหรับการสนับสนุนด้านการศึกษา พร้อมทั้งให้ความช่วยเหลือ ในทุกด้านด้วยดีเสมอมา

ศิริพันธ์ แสงมณี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	13
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	13
1.2 วัตถุประสงค์.....	14
1.3 สมมุติฐาน.....	15
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	15
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
2.1 มะเขือเทศ.....	16
2.2 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในมะเขือเทศ.....	18
2.3 เทคนิคการทำแห้งแบบโพรหมแมต.....	27
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	33
3.1 อุปกรณ์เครื่องมือ และสารเคมี.....	33
3.2 วัสดุดิบ.....	35
3.3 การผลิตผงมะเขือเทศราชินีด้วยวิธีการทำแห้งแบบโพรหมแมต.....	36
3.4 การศึกษาสภาวะการเก็บรักษาต่อคุณภาพและปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศราชินีผง.....	39
3.4.1. การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของมะเขือเทศราชินีสดและมะเขือเทศราชินีผง... 39	

3.4.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของมะเขือเทศราชินีสดและมะเขือเทศราชินีผึ่ง	41
3.5 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ	45
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	46
4.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของมะเขือเทศราชินีสด	46
4.2 คุณภาพทางกายภาพและเคมีของมะเขือเทศราชินีผึ่งวันที่ 0	47
4.3. ผลของสภาวะและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อสีและลักษณะปรากฏของมะเขือเทศราชินี ...	48
4.4 ผลของสภาวะและเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้และปริมาณ ความชื้น	65
4.5 ผลของสภาวะและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล	67
4.6. ผลของสภาวะและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อปริมาณไลโคปีน.....	68
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	71
รายการอ้างอิง	86
ประวัติผู้เขียน.....	96



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ปริมาณสารอาหารในมะเขือเทศราชินี.....	17
ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของมะเขือเทศสดและแห้ง	18
ตารางที่ 3 ปริมาณแคโรทีนอยด์ในมะเขือเทศ	19
ตารางที่ 4 งานวิจัยที่ศึกษาปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศ	21
ตารางที่ 5 งานวิจัยที่ศึกษาการสูญเสียของไลโคปีน	25
ตารางที่ 6 สารก่อโคมที่ใช้สำหรับการทำโคมแมตในผักและผลไม้ชนิดต่างๆ	30
ตารางที่ 7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาบรรจุภัณฑ์และการเก็บรักษาต่อการสูญเสียของไลโคปีน	32
ตารางที่ 8 สมบัติทางกายภาพและเคมีของมะเขือเทศราชินีสดที่ใช้ในการศึกษา	46
ตารางที่ 9 คุณภาพทางกายภาพและเคมีของมะเขือเทศราชินีผงวันที่ 0 (วิเคราะห์ 3 ซ้ำ)	47
ตารางที่ 10 ผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้และปริมาณความชื้นของมะเขือเทศราชินีผงในสภาวะ ที่โดนแสงเปรียบเทียบกับสภาวะที่ไม่โดนแสงที่ระยะเวลา 0 - 122 วัน	66
ตารางที่ 11 ผลของสภาวะและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงดัชนีการเกิดสีน้ำตาลในสภาวะที่โดนแสงเปรียบเทียบกับสภาวะที่ไม่โดนแสงที่ระยะเวลา 0 - 122 วัน	67
ตารางที่ 12 ผลของระยะเวลาและสภาวะในการเก็บรักษาต่อปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศราชินีผงที่ระยะเวลา 0 -122 วัน	70
ตารางที่ 13 ปริมาตรสารมาตรฐานไลโคปีน (ppm) ที่ใช้ในการสร้างกราฟมาตรฐาน	77
ตารางที่ 14 ค่าการวิเคราะห์สถิติ ระยะเวลาการเก็บรักษาต่อค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ของมะเขือเทศราชินีผงในสภาวะ ที่โดนแสงเปรียบเทียบกับสภาวะที่ไม่โดนแสงที่ระยะเวลา 0 - 122 วัน	84
ตารางที่ 15 ค่าการวิเคราะห์สถิติ ระยะเวลาการเก็บรักษาต่อปริมาณความชื้น (MC) ของมะเขือเทศราชินีผงในสภาวะ ที่โดนแสงเปรียบเทียบกับสภาวะที่ไม่โดนแสงที่ระยะเวลา 0 - 122 วัน	84
ตารางที่ 16 ค่าการวิเคราะห์สถิติ ระยะเวลาการเก็บรักษาต่อปริมาณไลโคปีนของมะเขือเทศราชินีผงในสภาวะ ที่โดนแสงเปรียบเทียบกับสภาวะที่ไม่โดนแสงที่ระยะเวลา 0 - 122 วัน	84

ตารางที่ 17 ค่าการวิเคราะห์สถิติ ระยะเวลาการเก็บรักษาต่อดัชนีการเกิดสีน้ำตาล ของมะเขือเทศ
ราชินีผงในสภาวะ ที่โดนแสงเปรียบเทียบกับสภาวะที่ไม่โดนแสงที่ระยะเวลา 0 - 122 วัน 85



สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 โครงสร้างโมเลกุลของแคโรทีนอยด์และอนุพันธ์ของแคโรทีนอยด์, ลูทีน (A) ซีแซนทีน (B) และ ไลโคปีน (C).....	20
ภาพที่ 2 โครงสร้างโมเลกุลของไลโคปีน	20
ภาพที่ 3 กลไกปฏิกิริยาการสลายตัวของไลโคปีน	22
ภาพที่ 4 แผนผังแสดงกระบวนการทำแห้งแบบโพรแมตในผักและผลไม้	28
ภาพที่ 5 ระบบการระเหยของไอน้ำจากอนุภาคของโพรแมต	29
ภาพที่ 6 มะเขือเทศราชินีที่ล้างและสะเด็ดน้ำไว้.....	36
ภาพที่ 7 การเตรียมผลิตมะเขือเทศราชินีก่อนนำไปอบแห้ง.....	37
ภาพที่ 8 กระบวนการ ผลิตมะเขือเทศราชินีผงบแบบโพรแมต	38
ภาพที่ 9 กระบวนการบรรจุมะเขือเทศราชินีผงบ	38
ภาพที่ 10 ลักษณะการการวางระบุมะเขือเทศราชินีผงบในสภาวะโดนแสงและไม่โดนแสง	39
ภาพที่ 11 อุปกรณ์ที่ใช้ในการถ่ายภาพลักษณะปรากฏของมะเขือเทศราชินีผงบแบบโพรแมต.....	40
ภาพที่ 12 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดสีของมะเขือเทศราชินีสดและมะเขือเทศราชินีผงบ	40
ภาพที่ 13 อุปกรณ์ที่ใช้ในวัดขนาดของมะเขือเทศราชินีสด	41
ภาพที่ 14 อุปกรณ์ที่ใช้ในการชั่งน้ำหนักของมะเขือเทศราชินีสด	41
ภาพที่ 15 อุปกรณ์ที่ใช้และวิธีการการชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณความชื้น (moisture content).....	42
ภาพที่ 16 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าวอเตอร์แอกติวิตีของมะเขือเทศราชินีสดและมะเขือเทศราชินีผงบ	43
ภาพที่ 17 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลของมะเขือเทศราชินีผงบ	44
ภาพที่ 18 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสกัดไลโคปีน	45
ภาพที่ 19 ผลของสภาวะการเก็บรักษาต่อคุณภาพด้านสีของผงบมะเขือเทศราชินีที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0 - 122 วัน; L* (ก) a*/b* (ข) C* (ค) และ Hue angle (ง).....	65

ภาพที่ 20 ผลของสภาวะการเก็บรักษาต่อลักษณะปรากฏและ ΔE ของมะเขือเทศราชินีผงที่ระยะเก็บรักษาที่ 0 - 122	66
ภาพที่ 21 ตัวอย่างโครมาโตแกรมของสารมาตรฐานไลโคปีน มะเขือเทศราชินีสดและมะเขือเทศราชินีผงที่เก็บรักษาวันที่ 0 และ 122	69
ภาพที่ 22 เรขาคณิตของคาสีในระบบ CIE L*a*b*	75
ภาพที่ 23 กราฟมาตรฐานไลโคปีนที่ความเข้มข้น 10, 20, 40, 60, 80 และ 100 ppm.....	78
ภาพที่ 24 โครมาโตแกรมของสารมาตรฐานไลโคปีน ความเข้มข้น 10 ppm.....	78
ภาพที่ 25 โครมาโตแกรมของสารมาตรฐานไลโคปีน ความเข้มข้น 20 ppm.....	78
ภาพที่ 26 โครมาโตแกรมของสารมาตรฐานไลโคปีน ความเข้มข้น 40 ppm.....	79
ภาพที่ 27 โครมาโตแกรมของสารมาตรฐานไลโคปีน ความเข้มข้น 60 ppm.....	79
ภาพที่ 28 โครมาโตแกรมของสารมาตรฐานไลโคปีน ความเข้มข้น 80 ppm.....	79
ภาพที่ 29 โครมาโตแกรมของสารมาตรฐานไลโคปีน ความเข้มข้น 100 ppm.....	80
ภาพที่ 30 โครมาโตแกรมของไลโคปีนในมะเขือเทศราชินีสด.....	81
ภาพที่ 31 โครมาโตแกรมของไลโคปีนในมะเขือเทศราชินีผง วันที่ 0	81
ภาพที่ 32 โครมาโตแกรมของไลโคปีนในมะเขือเทศราชินีผงในสภาวะที่ไม่โดนแสง วันที่ 31	82
ภาพที่ 33 โครมาโตแกรมของไลโคปีนในมะเขือเทศราชินีผงในสภาวะที่โดนแสง วันที่ 31	82
ภาพที่ 34 โครมาโตแกรมของไลโคปีนในมะเขือเทศราชินีผงในสภาวะที่โดนแสง วันที่ 122.....	82
ภาพที่ 35 โครมาโตแกรมของไลโคปีนในมะเขือเทศราชินีผงในสภาวะที่ไม่โดนแสง วันที่ 122.....	83

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

มะเขือเทศเป็นผักที่ได้รับความนิยมโดยมีผลผลิตภายในประเทศในปี พ.ศ. 2565 ประมาณหนึ่งแสนสามหมื่นตัน โดยนำมาบริโภคสดเพียงสี่หมื่นตัน ส่วนที่เหลือนำส่งโรงงานอุตสาหกรรม (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2565) เนื่องจากมะเขือเทศเน่าเสียได้ง่ายจึงมีสัดส่วนเพียงเล็กน้อยที่นำมาบริโภค อย่างไรก็ตามมะเขือเทศราชินีมีคุณค่าทางโภชนาการสูง เป็นแหล่งวิตามินซี และสารต้านอนุมูลอิสระที่ดี เช่น โลโคปีน เบต้าแคโรทีน และฟีนอล (Farooq และคณะ, 2020) การบริโภคโลโคปีนในมะเขือเทศมีความสัมพันธ์กับการลดลงของโรคบางชนิดเช่น โรคหัวใจและหลอดเลือด (Eyiler และ Oztan, 2011) และมะเร็งต่อมลูกหมาก (Srivastava และ Kulshrestha, 2013) ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้มะเขือเทศได้รับความนิยมในหมู่คนรักสุขภาพ

มะเขือเทศที่มีการปลูกในประเทศมีหลายสายพันธุ์ได้แก่ มะเขือเทศพันธุ์สีดา พันธุ์ท้อ และพันธุ์ราชินี โดยในปัจจุบันมะเขือเทศราชินี (*Solanum lycopersicum* L. var. *cerasiforme*) ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคเพิ่มมากขึ้น มีรายงานว่าในมะเขือเทศราชินีพบปริมาณโลโคปีน 8.33 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม (วัดมศักดิ์ นางจำปา, 2006) และมีสารต้านอนุมูลอิสระร้อยละ 57.41 (นิรมล และคณะ, 2558) และยังเป็นมะเขือเทศที่มีรสชาติที่ดี มีสัมผัสด้านความแน่นเนื้อที่ดี และมีกลิ่นหอม (Islam และคณะ, 2013) อย่างไรก็ตามในการผลิตมะเขือเทศราชินีของเกษตรกรมีบางส่วนที่เป็นมะเขือเทศตกเกรด (รูปร่าง สี ขนาด ไม่ได้มาตรฐาน) ทำให้ขายได้ในราคาต่ำลง ดังนั้นการแปรรูปมะเขือเทศจึงเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับมะเขือเทศได้

กระบวนการทำผลิตภัณฑ์มะเขือเทศผง คือการนำมะเขือเทศมาทำให้แห้งและบดเป็นผง (Farooq และคณะ, 2020; Sarker และคณะ, 2014) เพื่อลดกิจกรรมทางเคมีและจุลินทรีย์ และยืดอายุการเก็บรักษาให้ยาวนานขึ้น มีน้ำหนักเบา เหมาะสำหรับการขนส่ง ลดพื้นที่ และลดต้นทุนในการเก็บรักษา (Doymaz, 2014) ปัจจุบันมะเขือเทศผง นิยมนำไปใช้เป็นส่วนผสมของอาหารเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและใช้เป็นสีผสมอาหารจากธรรมชาติ เช่น ในผลิตภัณฑ์กุนเชียงผลิตภัณฑ์

กลุ่มเบเกอรี่ ผงซูป และผลิตภัณฑ์เสริมอาหารต่างๆ (Bhat และคณะ, 2020) เทคนิคการทำแห้งที่ใช้ในการผลิตมะเขือเทศผง ได้แก่ การทำแห้งแบบพ่นฝอย (Souza และคณะ, 2018) การทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (Caparino และคณะ, 2012) และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Ozcelik และคณะ, 2020) ซึ่งเทคนิคเหล่านี้มีต้นทุนการผลิตค่อนข้างสูง

การทำแห้งแบบโพรตีนเป็นเทคนิคที่นิยมนำมาใช้กับวัตถุดิบประเภทผักและผลไม้ เนื่องจากช่วยลดระยะเวลาการทำแห้ง โครงสร้างของโพรตีนที่มีลักษณะเป็นรูพรุน ทำให้เพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสกับอากาศได้มากขึ้น ส่งผลให้น้ำระเหยได้ง่ายและเร็วขึ้น อีกทั้งเป็นเทคนิคที่ง่ายและต้นทุนการผลิตที่ไม่สูง (Suet Li และคณะ, 2021) งานวิจัยที่ศึกษาการทำแห้งแบบโพรตีนในวัตถุดิบทางการเกษตร เช่น บลูเบอร์รี่ (Gao และคณะ, 2022) และกล้วย (Kumar และคณะ, 2022) เป็นต้น กระบวนการทำแห้งแบบโพรตีน มีการเติมโปรตีนถั่วเหลือง (Soy protein isolate) และแซนแทนกัม (Xanthan gum) เข้าไปเพื่อกระตุ้นให้เกิดฟองโพรตีนและลดแรงตึงผิวระหว่างอนุภาคของฟองโพรตีน ดังนั้นจึงเป็นการเพิ่มโปรตีนที่มีคุณภาพจากพืชในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศราชินีผงให้มีคุณค่าด้านโภชนาการมากขึ้น นอกจากนี้เป็นแหล่งของวิตามินและสารต้านอนุมูลอิสระที่ดีในมะเขือเทศราชินีแล้วยังเป็นผลิตภัณฑ์มะเขือเทศราชินีผงเสริมด้วยโปรตีนถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นอีกด้วย

อย่างไรก็ตามในระหว่างการเก็บรักษามะเขือเทศผง มักพบปัญหาการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ ซึ่งสีแดงของมะเขือเทศเป็นสีรงควัตถุของไลโคปีน Anguelova และ Warthesen (2000) รายงานว่ามะเขือเทศผงที่ทำแห้งแบบพ่นฝอยเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ เกิดการสลายตัวของไลโคปีนร้อยละ 30 - 60 โดยปัจจัยที่ทำให้ไลโคปีนเกิดการสลายตัวในมะเขือเทศผง เกิดจากเทคนิคการทำแห้งและสภาวะการเก็บรักษา ดังนั้นการศึกษาอิทธิพลของสภาวะการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านสี และปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศราชินีผงจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาอิทธิพลของสภาวะการเก็บรักษาที่โดนแสง (ไม่หุ้มอะลูมิเนียมฟอยล์ที่กระปุก) และสภาวะที่ไม่โดนแสง (หุ้มอะลูมิเนียมฟอยล์ที่กระปุก) และระยะเวลาในการเก็บรักษา ต่อลักษณะปรากฏ คุณภาพด้านสี ปริมาณความชื้น ดัชนีการเกิดสีน้ำตาล และปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศราชินีผงที่ทำแห้งแบบโพรตีน

1.3 สมมุติฐาน

ไลโคปีนสลายตัวได้ง่ายเนื่องจาก ออกซิเจนและแสง การเก็บรักษาในสภาวะที่ไม่โดนแสง น่าจะชะลอการสลายตัวของไลโคปีนและการเปลี่ยนแปลงของสีแดงในมะเขือเทศราชินีผงได้

1.4. ขอบเขตของการศึกษา

1.4.1 มะเขือเทศที่ใช้ในการศึกษานี้คือมะเขือเทศพันธุ์ราชินี และใช้มะเขือเทศสดตักเกรด ซึ่งมีขนาด รูปร่าง และสี ไม่ได้มาตรฐาน ซึ่งจากเกษตรกรในกลุ่มวิสาหกิจชุมชนตำบลดอนตูม อำเภอดอนตูม จังหวัดนครปฐม

1.4.2 ใช้เทคนิคการอบแห้งแบบโฟมเมต ในตู้อบลมร้อนแบบถาด ใช้อุณหภูมิระหว่างการอบแห้ง 58.9 ± 3.3 องศาเซลเซียส

1.4.3 บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการศึกษานี้คือ กระจุกโพลีเอทิลีนเทเรพทาเลต (PET) ปิดผนึกด้วยฝาอะลูมิเนียม

1.4.4 สภาวะการเก็บรักษา 2 แบบคือ สภาวะที่โดนแสง (ไม่หุ้มอะลูมิเนียมฟอยล์ที่กระจุก) และสภาวะที่ไม่โดนแสง (หุ้มอะลูมิเนียมฟอยล์ที่กระจุก)

1.4.5 เก็บรักษามะเขือเทศราชินีผงที่อุณหภูมิห้อง 30 ± 0.83 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 61.89 ± 6.41 และมีแสงสว่างจากธรรมชาติส่องตลอดในช่วงกลางวัน (12 ± 0.5 ชั่วโมงต่อวัน)

1.4.6 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพ ทางกายภาพ และทางเคมี ของมะเขือเทศราชินีผง ได้แก่ ลักษณะปรากฏ ค่าสี ปริมาณความชื้น (moisture content) ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (water activity; a_w) ดัชนีการเกิดสีน้ำตาล (browning index; BI) และปริมาณไลโคปีน (lycopene content)

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มะเขือเทศ

มะเขือเทศ (*Solanum lycopersicum* L.) มีหลายสายพันธุ์ได้แก่ มะเขือเทศพันธุ์ราชินี มะเขือเทศพันธุ์สีดา และมะเขือเทศพันธุ์ท้อ โดยประเทศไทยมีการเพาะปลูกมะเขือเทศรวมพื้นที่เพาะปลูกทั่วประเทศประมาณสามหมื่นเก๋้าพันไร่ ผลผลิตรวมประมาณหนึ่งแสนสามหมื่นตัน ส่วนใหญ่นำไปส่งโรงงานเพื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2565) มะเขือเทศราชินีเป็นมะเขือเทศลูกเล็ก เหมาะสำหรับรับประทานสดและนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ เช่น น้ำพริก มะเขือเทศผง แชนด์วิช และสลัดผัก มะเขือเทศราชินีมีขนาด รูปทรง และสี แตกต่างกันตามลักษณะของแต่ละสายพันธุ์ เช่น มีรูปร่างของผลเป็นรูปทรงกลม หรือทรงรี สีของเปลือกเป็นสีแดง สีเหลือง และสีดำ เป็นต้น รสชาติเปรี้ยวอมหวาน บางสายพันธุ์มีรสชาติค่อนข้างหวาน เหมาะสำหรับรับประทานสด มีผิวสัมผัสและความแน่นเนื้อที่ดี และอุดมด้วยคุณค่าทางโภชนาการและมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ มะเขือเทศราชินีมีขนาดความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 20 - 45 มิลลิเมตร University of Rochester Medical Center (2003) รายงานว่ามะเขือเทศราชินีมีองค์ประกอบทางเคมีและปริมาณสารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกาย ดังแสดงในตารางที่ 1



ตารางที่ 1 ปริมาณสารอาหารในมะเขือเทศราชินี

ธาตุอาหาร (หน่วย)	ปริมาณ	ธาตุอาหาร (หน่วย)	ปริมาณ
โปรตีน (g)	1.31	แอลฟาแคโรทีน (mcg)	150.49
ไขมัน (g)	0.3	วิตามิน (mg)	0.8
คาร์โบไฮเดรต (g)	5.84	ไลโคปีน (mcg)	3,833.77
พลังงาน (kcal)	26.82	ลูทีน + ซีแซนทีน (mcg)	183.27
น้ำตาล (g)	3.92	วิตามิน ซี (mg)	18.92
ไฟเบอร์ (g)	1.79	ไทอามีน (mg)	0.06
แคลเซียม (mg)	14.9	ไรโบฟลาวิน (mg)	0.03
เหล็ก (mg)	0.4	ไนอะซิน (mg)	0.89
แมกนีเซียม (mg)	16.39	กรดแพนโทเทนิค (mg)	0.13
ฟอสฟอรัส (mg)	35.76	วิตามิน บี 6 (mg)	0.12
โพแทสเซียม (mg)	353.13	โฟเลต (mcg)	22.35
โซเดียม (mg)	7.45	วิตามิน บี 12 (mcg)	0
ซิงค์ (mg)	0.25	วิตามิน เค (mcg)	11.77
แมงกานีส (mg)	0.17	กรดไขมันอิ่มตัว (g)	0.07
วิตามินเอ (IU)	1,241.17	กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (g)	0.08
เบต้าแคโรทีน (mcg)	669.01	กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (g)	0.2

ที่มา: University of Rochester Medical Center (2023)

Mühlbauer และ Müller (2020) ทำการเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีระหว่างมะเขือเทศสดกับมะเขือเทศอบแห้งแสดงผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของมะเขือเทศและแห้ง

ปริมาณส่วนประกอบหลัก	มะเขือเทศสด (%)	มะเขือเทศแห้ง (%)
น้ำ	95	10
โปรตีน	0.82	14.7
ไขมัน	0.18	3.3
คาร์โบไฮเดรต	2.24	40.3
กลูโคส	0.93	16.8
ฟรุกโตส	1.17	21.1
ไฟเบอร์	0.82	14.7
แร่ธาตุ	0.53	9.5

ที่มา: Mühlbauer และ Müller (2020)

2.2 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในมะเขือเทศ

แคโรทีนอยด์เป็นเม็ดสีที่พบในธรรมชาติ ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ละลายในไขมัน พบในพืชที่มีสีเหลือง สีส้มและสีแดง Black และคณะ (2020) รายงานว่าอาหารที่อุดมไปด้วยแคโรทีนอยด์ช่วยลดความเสี่ยงในการเกิด มะเร็ง และเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ดี แคโรทีนอยด์บางชนิด เช่น ลูทีน และซีแซนทีนช่วยการบรรเทาความเสื่อมของจอประสาทตาที่เกิดจากอายุที่มากขึ้น (สูตรโครงสร้างของแคโรทีนอยด์ดังแสดงในภาพที่ 1)

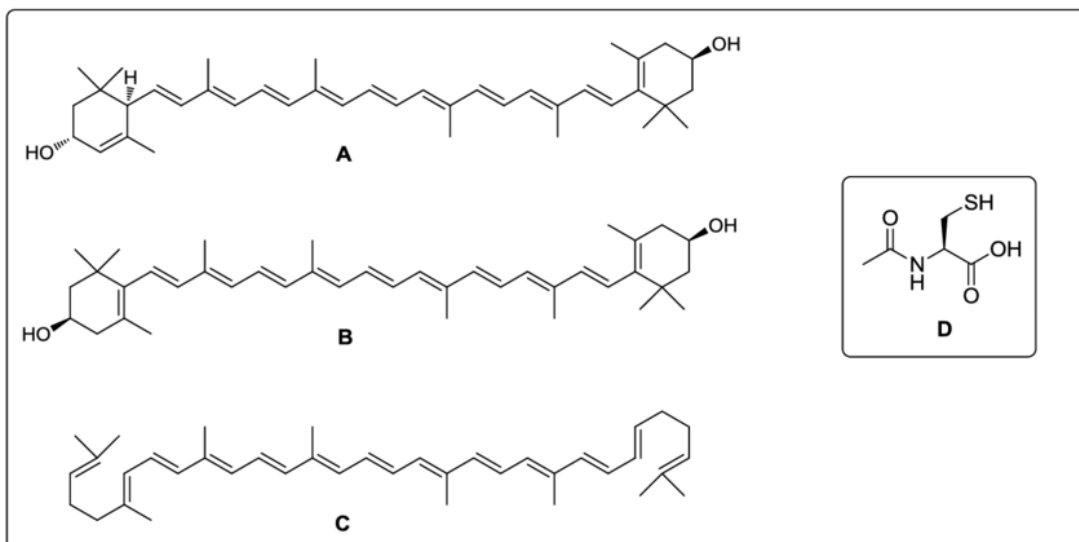
ไลโคปีนเป็นไฟโตเคมิคอล ทำหน้าที่เป็นโปรวิตามินเอของแคโรทีนอยด์ ในการสร้างเม็ดสีแดงที่พบในพืช มีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์สารแคโรทีนอยด์หลายชนิด (Imran และคณะ, 2020) ไลโคปีนค้นพบครั้งแรกในมะเขือเทศ ผลไม้และผักที่มีสีส้ม สีแดง และสีชมพู เช่น แอปริคอต ฝรั่ง มะละกอ ลูกพีช ส้มโอสีชมพู แครอทแดง และแตงโม (Goula และ Adamopoulos, 2005) ปริมาณแคโรทีนอยด์ในผลมะเขือเทศดังแสดงในตารางที่ 3 ไลโคปีนเป็นสารที่ไม่ชอบน้ำ (Lipophilic) จึงไม่สามารถละลายน้ำหรือละลายได้น้อย แต่สามารถละลายได้ดีในน้ำมันและตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น แอลกอฮอล์ เอทิลอีเทอร์ เอทิลอะซิเตต คลอโรฟอร์ม และ อะซิโตน เป็นต้น (Başaran และคณะ, 2017) โครงสร้างของไลโคปีนประกอบด้วยอะตอมคาร์บอน 40 อะตอม และอะตอมไฮโดรเจน 56 อะตอม โดยมีสูตรโมเลกุลเป็น $C_{40}H_{56}$ และมีน้ำหนักโมเลกุล 536.89 ดาลตัน ประกอบด้วยโมเลกุลของอะตอมคาร์บอนร้อยละ 89.49 และอะตอมไฮโดรเจนร้อยละ 10.51 (สูตร

โครงสร้างของไลโคปีนแสดงดังภาพที่ 2) มีพันธะคู่จำนวน 13 พันธะ โดยมีหมู่เมทิล (CH_3) เป็นหมู่ฟังก์ชัน (functional group) ประกอบด้วย conjugated double bonds 11 ตำแหน่ง และ non-conjugated double bonds 2 ตำแหน่ง (Ranveer และคณะ, 2013) ดังนั้นไลโคปีนจึงเป็นสารประกอบที่มีจำนวน conjugated double bonds มากที่สุดในอนุพันธ์ของแคโรทีนอยด์ทั้งหมด (Yaping และคณะ, 2002) จำนวน conjugated double bonds ที่มีมาก จะส่งผลต่อการทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ มีงานวิจัยระบุว่า การรับประทานอาหารจากผักและผลไม้ที่อุดมไปด้วยไลโคปีนช่วยลดความเสี่ยงจากโรคหัวใจ (Bohn, 2019) มะเร็ง (Lefranc และคณะ, 2017) หอบหืด (Wood และคณะ, 2008) ระดับคอเลสเตอรอลในเลือดสูง (Abar และคณะ, 2016) และภาวะกล้ามเนื้อหัวใจตายเนื่องจากขาดเลือด (myocardial infarction) (Song และคณะ, 2021)

ตารางที่ 3 ปริมาณแคโรทีนอยด์ในมะเขือเทศ

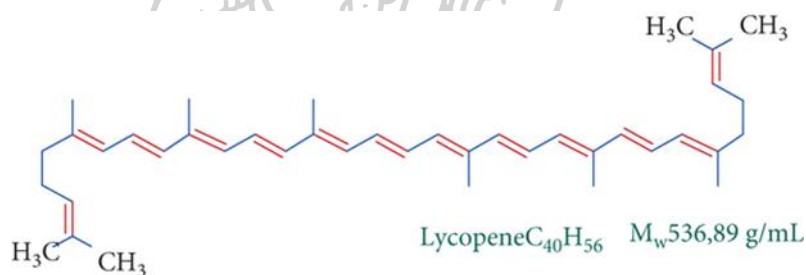
แคโรทีนอยด์	หน่วย	ปริมาณ	ระหว่าง
β -carotene	$\mu\text{g}/100 \text{ g}$	$9,942.16 \pm 264.74$	3,677.42 – 10,206.90
α -carotene	$\mu\text{g}/100 \text{ g}$	101	101
Lycopene	$\mu\text{g}/100 \text{ g}$	$8,002.50 \pm 243.54$	5,020.00 – 11,110.00
Lutein + zeaxanthin	$\mu\text{g}/100 \text{ g}$	60.67 ± 43.86	18.07 – 123.00
Phytoene	$\mu\text{g}/100 \text{ g}$	668.33 ± 361.95	430.00 – 1,860.00
Phytofluene	$\mu\text{g}/100 \text{ g}$	500.00 ± 100.49	390.00 – 820.00
All trans-lutein	mg/kg	5.00 ± 0.82	4.00 – 6.00
All trans- β carotene	mg/kg	29.25 ± 27.26	4.00 – 75.00
9-cis- β carotene	mg/kg	6.50 ± 2.29	3.00 – 9.00

ที่มา: Ali และคณะ (2021)



ภาพที่ 1 โครงสร้างโมเลกุลของแคโรทีนอยด์และอนุพันธ์ของแคโรทีนอยด์, ลูทีน (A) ซีแซนทีน (B) และไลโคปีน (C)

ที่มา: Kmiecik และ Dziembowska (2018)



ภาพที่ 2 โครงสร้างโมเลกุลของไลโคปีน

ที่มา: Udensi และคณะ (2022)

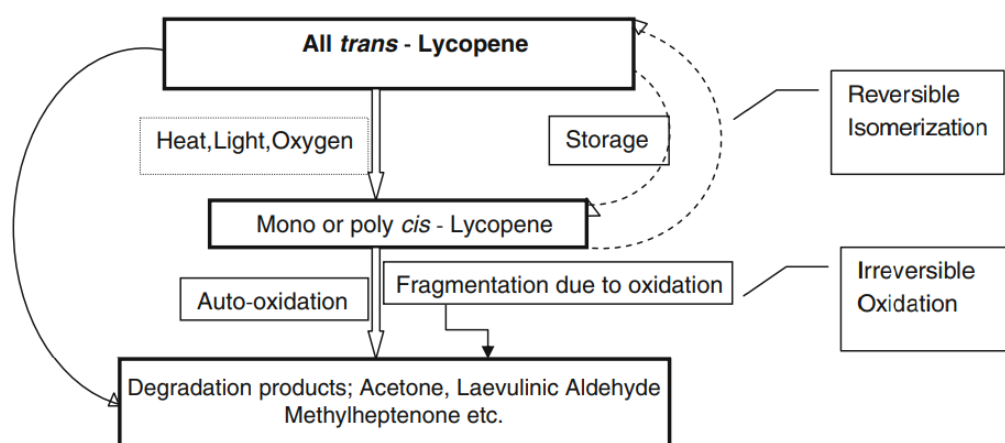
การบริโภคไลโคปีนมีความหลากหลายตั้งแต่ระดับ 5 ถึง 75 มิลลิกรัมต่อวัน และยังไม่มีการระบุถึงผลเสียจากการบริโภคไลโคปีนมากเกินไปจนเกินความจำเป็นของร่างกาย โดยได้รับการรับรองจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาในสหรัฐอเมริกา (FDA) ว่าปลอดภัย ดังนั้นจึงมีงานวิจัยที่หลากหลายเกี่ยวกับการศึกษาปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศแดงแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 งานวิจัยที่ศึกษาปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศ

ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณไลโคปีน	ผลการศึกษา	อ้างอิง
ระยะการสุก 4 ระดับ คือ เขียว, เขียว-ส้ม, ส้ม-แดง และ แดง-สุก	ระยะแดง - สุก พบปริมาณไลโคปีนมากที่สุดโดยพบว่า ระดับเขียว ไปสู่ ระดับ สุก-แดง มีปริมาณไลโคปีนเพิ่มขึ้น จาก 26.7 - 91.2 เป็น 97.0 - 254.0 mg/kg.	Ilahy และคณะ (2011)
สายพันธุ์มะเขือเทศ 4 สายพันธุ์	มะเขือเทศ 4 สายพันธุ์มีปริมาณไลโคปีนแตกต่างกันระหว่าง 97 - 254 mg/kg.	
สายพันธุ์ของมะเขือเทศ 3 สายพันธุ์	มะเขือเทศสด 3 สายพันธุ์ มีปริมาณไลโคปีนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าระหว่าง 16.11 - 29.39 mg/g db.	Tan และคณะ (2021)
ส่วนของผลมะเขือเทศ ได้แก่ เปลือก เนื้อ และ Industrial waste	เปลือกมะเขือเทศพบปริมาณไลโคปีนสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ Industrial waste, มะเขือเทศทั้งลูก และเนื้อมะเขือเทศ มีปริมาณไลโคปีน เท่ากับ 0.37617, 0.176, 0.1783, และ 0.0476 mg/g ตามลำดับ	Ranveer และคณะ (2013)
ระบบทำการเกษตร 2 แบบ (แบบธรรมดา และแบบอินทรีย์)	มะเขือเทศที่ปลูกแบบอินทรีย์มีปริมาณไลโคปีน มากกว่าการปลูกแบบธรรมดา โดยมีปริมาณไลโคปีน เท่ากับ 148 และ 143 mg/kg. db. ตามลำดับ	Lahoz และคณะ (2016)

สาเหตุสำคัญของการเสื่อมสภาพของไลโคปีนแสดงดังภาพที่ 3 ในระยะเริ่มต้นคือปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชัน การเสื่อมสภาพสามารถย้อนกลับ ไป - มา ได้ระหว่างไอโซเมอร์ไลโคปีนที่เป็น ออล-ทรานส์ ไลโคปีน (all trans-lycopene) กับ ซิส ไลโคปีน (cis-lycopene) และปฏิกิริยานี้เป็นสาเหตุให้สีแดงของผลิตภัณฑ์ลดลง ส่วนปฏิกิริยา autoxidation ทำให้เกิดการแตกตัวโมเลกุลไลโคปีน ออกเป็นชิ้นเล็กๆ เช่น อัลดีไฮด์ (aldehydes) และคีโตน (ketones) เป็นต้น ซึ่งอิทธิพลของสภาพแวดล้อม เช่น ออกซิเจน แสง และอุณหภูมิ การเก็บรักษา สภาพความเป็นกรด ไอออนของไขมัน และอื่น ๆ มีส่วนกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชัน และ ปฏิกิริยาออกซิเดชันได้มากขึ้น (Ranveer และคณะ, 2013)

โครงสร้างของไลโคปีนในธรรมชาติมีความเสถียร การย่อยสลายและการเกิดไอโซเมอร์อื่นอาจเกิดขึ้นได้จากการสกัด ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ มะเขือเทศที่ผ่านความร้อนและกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ มีผลต่อการยึดจับของโครงสร้างไลโคปีนให้อ่อนตัวลง เปลี่ยนรูปแบบจาก all-trans-isomers เป็น cis-isomers ซึ่งเป็นชนิดที่ละลายในน้ำได้ดีขึ้น ส่งผลให้ร่างกายนำไปใช้ได้ดีขึ้น (Liang และคณะ, 2019)



ภาพที่ 3 กลไกปฏิกิริยาการสลายตัวของไลโคปีน

ที่มา: Srivastava และ Srivastava (2015)

จากภาพที่ 3 มีงานวิจัยที่สนับสนุนเกี่ยวกับปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อการเสื่อมสลายของไลโคปีน โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัจจัยที่มาจาก อุณหภูมิ แสง และออกซิเจน โดยผู้วิจัยได้รวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องไว้ดังต่อไปนี้

อุณหภูมิ (Temperature) มีผลต่อการเสื่อมเสียของอาหารเนื่องจากมีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์แต่ละชนิด และการกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีในอาหาร รวมถึงการสูญเสียของไลโคปีนด้วย

Goula และ Adamopoulos (2005) ระบุว่าเมื่อให้ความร้อนในน้ำมะเขือเทศที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที ทำให้สูญเสียไลโคปีนประมาณร้อยละ 1 - 2 เกิดจากการสลายตัวแบบไอโซเมอร์ไรเซชันและปฏิกิริยาออกซิเดชันของไลโคปีน

Doymaz (2014) พบว่าปฏิกิริยาไอโซเมอร์ไรเซชันและออกซิเดชัน เป็นสิ่งสำคัญของปฏิกิริยาที่ก่อให้เกิดการย่อยสลายไลโคปีน และพบว่ากรอบแห้งมะเขือเทศที่อุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียสไม่มีผลต่อการสูญเสียไลโคปีน

Srivastava และ Kulshrestha (2013) ศึกษาผลของการอบแห้งแบบลมร้อนในมะเขือเทศ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 ชั่วโมง พบว่า ปริมาณ all-trans lycopene คงอยู่ร้อยละ 52

Mayeaux และคณะ (2006) ศึกษาความคงตัวของสารมาตรฐานไลโคปีน โดยทดสอบที่อุณหภูมิ 100 ถึง 150 องศาเซลเซียส วิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC พบว่าความคงตัวของไลโคปีนลดลง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 100 เป็น 150 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาจาก 0 - 60 นาที หลังจากอุ่น 10 นาที สารมาตรฐานไลโคปีนถูกย่อยสลายประมาณร้อยละ 30, 70 และ 90 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 100, 125 และ 150 องศาเซลเซียส ตามลำดับซึ่งแสดงว่าไลโคปีนนั้นไม่คงตัวในอุณหภูมิสูง และสลายตัวอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิความร้อน 150 องศาเซลเซียส

Lee และ Chen (2002) ศึกษาความคงตัวของไลโคปีนที่อุณหภูมิ 50, 100 และ 150 องศาเซลเซียส ในระยะเวลาที่แตกต่างกัน ด้วยเทคนิค HPLC พบว่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 12 ชั่วโมงแรก all-trans lycopene ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 120 นาที all-trans lycopene ลดลงร้อยละ 78 และการใช้ความร้อนอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 10 นาที ไม่พบไลโคปีนเหลืออยู่ในระบบเลย

แสง (light) แสงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดการเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารรวมถึงปริมาณไลโคปีนระหว่างกระบวนการแปรรูปและเก็บรักษา งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการสูญเสียไลโคปีนที่เกิดจากแสงสว่างมีดังต่อไปนี้

Shi และคณะ (2008) ศึกษาผลของแสงต่อการคงตัวของไลโคปีน โดยทดสอบความเข้มของแสงที่ต่างกันด้วยโคมไฟเดย์ไลท์แบบปรับได้ ในห้องควบคุมสิ่งแวดล้อมที่อุณหภูมิ 5 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 - 12 วัน พบว่าแสงไม่มีผลต่อการสลายตัวของ all-trans-lycopene แต่แสงมีผลต่อลดลงของ cis-lycopene ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าไลโคปีนชนิด cis-isomer มีความคงตัวน้อยกว่า trans-isomer ภายใต้สภาวะโดนแสง

Lee และ Chen (2002) ศึกษาความคงตัวของไลโคปีนโดยใช้สารมาตรฐานไลโคปีนละลายในเฮกเซนและให้แสงสว่าง (ความเข้มของการส่องสว่างตั้งแต่ 2,000 ถึง 3,000 ลักซ์) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 วัน พบว่า all-trans lycopene ลดลงร้อยละ 94 เมื่อเพิ่มเวลาส่องสว่าง 144 ชั่วโมง ปริมาณของ 5-cis lycopene เพิ่มขึ้นในตอนเริ่มต้นและลดลงหลังจาก 2

ชั่วโมง ซึ่งการลดลงนี้มีแนวโน้มที่คล้ายกันใน 9-cis, 13-cis และ 15-cis lycopene ซึ่งสามารถระบุได้ว่าการลดลงของ all-trans lycopene สัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของ cis lycopene

Ramadhany และคณะ (2021a) ศึกษาการเก็บมะเขือเทศผงในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด คือถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ (LAF) และขวดแก้วสีน้ำตาล (Glass) พบว่าปริมาณไลโคปีนเริ่มต้นเท่ากับ 0.042 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อเวลาผ่านไป 3 สัปดาห์ มะเขือเทศผงที่บรรจุใน LAF มีปริมาณไลโคปีนอยู่ในช่วง 0.021–0.024 มิลลิกรัมต่อกรัม (ลดลงร้อยละ 50) ในขณะที่มะเขือเทศผงบรรจุใน Glass พบปริมาณไลโคปีนอยู่ในช่วง 0.012–0.017 มิลลิกรัมต่อกรัม (ลดลงร้อยละ 71.43) สรุปได้ว่าบรรจุภัณฑ์แบบ LAF มีประสิทธิภาพดีกว่า

อากาศ (oxygen) ออกซิเจนมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดย จะไปเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดกับไลโคปีนดังนี้

Sharma และ Le Maguer (1996) ศึกษามะเขือเทศอบแห้งโดยการบรรจุในบรรจุภัณฑ์แบบสุญญากาศและการเก็บในที่มืด พบว่าการเก็บรักษาแบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บในที่มืดลดการสูญเสียไลโคปีนได้ดีที่สุด

Ax และคณะ (2003) ศึกษาความคงตัวของไลโคปีนโดยการละลายไลโคปีนในน้ำมันภายใต้ความอ้อมตัวของออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 30 ชั่วโมง พบว่าการเสื่อมสลายของไลโคปีนลดลงถึงร้อยละ 25 ในขณะที่ออกซิเจนสูญเสียไปประมาณร้อยละ 80

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการสูญเสียของไลโคปีนที่เกิดจากกระบวนการแปรรูปและการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ของมะเขือเทศดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 5 งานวิจัยที่ศึกษาการสูญเสียของไลโคปีน

ตัวอย่าง	วิธีการทดลอง	ผลการทดลอง	อ้างอิง
มะเขือเทศ	เปรียบเทียบปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศที่	ปริมาณไลโคปีน (mg/g db) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)	Kaur และคณะ
ผง	อบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิการอบ 40 , 50 และ 60 °C ในบรรจุภัณฑ์ HDPE เก็บ ในสถานะของตู้เย็นเป็นระยะเวลา 0, 30, 60, 90, 120 และ 180 วัน	- 60 °C เท่ากับ 1.31±0.04 – 1.28±0.02 (ลดลง ร้อยละ1.66) - 50 °C เท่ากับ 1.26±0.08 – 1.23±0.01 (ลดลง ร้อยละ2.69) - 40 °C เท่ากับ 1.23±0.06 – 1.19±0.07 (ลดลง ร้อยละ3.49) (ปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศสด 1.19 mg/g db เมื่ออบแห้งแล้ว ปริมาณไลโคปีนเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.71 - 10.07)	(2020)
มะเขือเทศ	เปรียบเทียบปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศผงที่	ปริมาณไลโคปีน (mg/g) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) เมื่อเก็บ	Liu และคณะ
ผง	อบแห้งแบบพ่นฝอยในบรรจุภัณฑ์ อะลูมิเนียมฟอยล์เก็บในที่มืด อุณหภูมิ 0, 25 และ 37 °C ระยะเวลา 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 เดือน	รักษา 0-5 เดือน - 0 °C เท่ากับ 1.44±0.01 – 1.38±0.02 (ลดลงร้อยละ 4.16) - 25 °C เท่ากับ 1.44±0.01 – 1.39±0.04 (ลดลงร้อยละ 3.47) - 37 °C เท่ากับ 1.44±0.01 – 1.34±0.00 (ลดลงร้อยละ 6.94)	(2010)

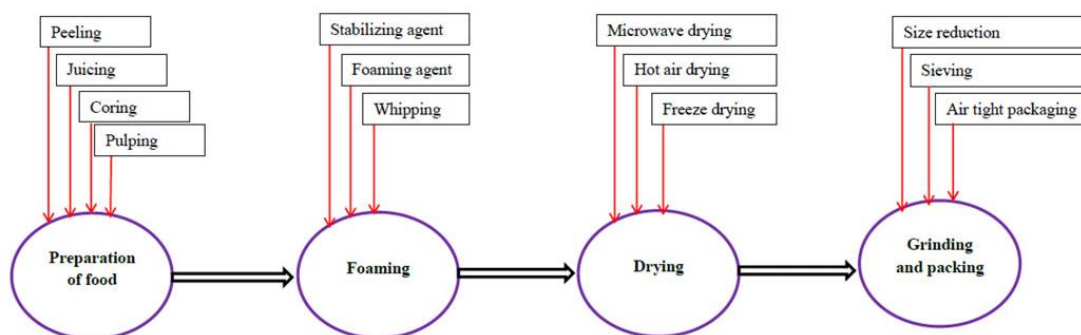
ตารางที่ 5 (ต่อ) งานวิจัยที่ศึกษาการสูญเสียของไลโคปีน

ตัวอย่าง	วิธีการทดลอง	ผลการทดลอง	อ้างอิง
มะเขือเทศ	เปรียบเทียบการสูญเสียไลโคปีนในมะเขือเทศจากการทำแห้งแบบโพรหมและด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิอบแห้ง 65, 75 และ 85 °C โดยผสม CMC (ร้อยละ 0.0, 0.25, 0.50, 0.75 และ 1.0) นมผง (ร้อยละ 0, 3, 5, 7 และ 9) ไชขาว (ร้อยละ 0.0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0)	- ปริมาณไลโคปีนในผงมะเขือเทศที่ทำแห้งแบบโพรหมแตกต่างกัน คือ 65, 75 และ 85 °C อยู่ระหว่าง 0.24-0.27 mg/g สถานะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทำให้แห้งด้วยแผ่นโพรหมของมะเขือเทศ โดยใช้ CMC เป็นสารก่อโพรหม และการทำแห้งที่อุณหภูมิ 85 °C เพื่อเป็นแนวทางในการใช้งานทางอุตสาหกรรม	Kadam และคณะ (2012)
มะเขือเทศ	เปรียบเทียบปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศจากการทำแห้งแบบโพรหม โดยใช้ GMS เป็นสารก่อโพรหมที่อุณหภูมิ 50 °C เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิดคือ ถุงอูมิเนียมพอลิเอทิลีนและขวดแก้วสีน้ำตาล ที่อุณหภูมิ 4, 25 และ 30 °C ระยะเวลา 3 สัปดาห์	การทำให้แห้งแบบดั้งเดิม (ไม่มี GMS) ใช้เวลา นานกว่า 8 ชั่วโมง ในขณะที่การทำแห้งแบบโพรหมใช้เวลาน้อยกว่า 3 ชั่วโมงซึ่งสามารถลดเวลาการทำแห้งได้ถึงร้อยละ 67 ปริมาณไลโคปีนในน้ำมะเขือเทศสด เท่ากับ 0.05 mg/g ในมะเขือเทศผง เท่ากับ 0.43 mg/g (เพิ่มขึ้นร้อยละ 268) บรรจุภัณฑ์แบบถุงอูมิเนียมพอลิเอทิลีนที่ผลิตที่ตีกว่าคือมีปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศผงเท่ากับ 0.24 - 0.22 mg/g (ลดลงร้อยละ 43.13) และขวดแก้วสีน้ำตาล มีไลโคปีนเท่ากับ 0.17 - 0.12 mg/g (ลดลงร้อยละ 60.10)	Ramadhany และคณะ (2021b)

2.3 เทคนิคการทำแห้งแบบโฟมแมต

การทำแห้งผักและผลไม้ เพื่อยืดระยะเวลาในการเก็บรักษา ลดน้ำหนักในการขนส่ง และลดข้อกำหนดในการบรรจุหีบห่อ อย่างไรก็ตามมีการเปลี่ยนแปลงในคุณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างกระบวนการอบแห้ง (Xu และคณะ, 2016) ในระหว่างการทำแห้งจะเกิดกระบวนการถ่ายเทพลังงานความร้อนจากสิ่งแวดล้อม เพื่อระเหยความชื้นบริเวณผิวนอกทำให้เกิดความแตกต่างของความดันไอของน้ำระหว่างอากาศภายนอกกับความชื้นภายในอนุภาคอาหาร เกิดเป็นแรงขับให้น้ำจากภายในเคลื่อนย้ายออกมายังผิวของอาหาร นอกจากนี้ในการทำแห้ง ความชื้น (Moisture content) ที่อยู่ในอาหารจะลดลง เนื่องจากการระเหยของน้ำ ระหว่างกระบวนการทำแห้ง ณ อุณหภูมิต่างๆ ซึ่งจะช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ทุกชนิด เช่น รา (mold) ยีสต์ (yeast) แบคทีเรีย (bacteria) ที่เป็นสาเหตุให้อาหารเสื่อมเสีย รวมถึงยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ (enzyme) หรือชะลอปฏิกิริยาต่างๆ ทั้งทางเคมีและทางชีวเคมี ซึ่งมีน้ำเป็นส่วนประกอบและเป็นสาเหตุให้อาหารเสื่อมเสีย (food spoilage) นอกจากนี้การทำแห้งยังทำให้อาหารมีน้ำหนักเบาและลดปริมาตรลง ส่งผลให้สะดวกต่อการขนส่ง การบริโภค ทั้งยังเป็นการสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ที่เป็นทางเลือกของผู้บริโภค การทำแห้งอาหาร น้ำที่เคลื่อนที่ออกจากอาหารจะถูกแทนที่ด้วยอากาศหรือก๊าซออกซิเจน ทำให้เกิดการหดตัวหรือการเปลี่ยนแปลงของรูปร่าง สี กลิ่น รสชาติ และลักษณะเนื้อสัมผัส และการลดลงของคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์แห้ง การทำแห้งในการผลิตมะเขือเทศมีหลายเทคนิค ได้แก่ การทำแห้งแบบพ่นฝอย (Souza และคณะ, 2018) การทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (Caparino และคณะ, 2012) การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Farooq และคณะ, 2020) การและทำแห้งแบบสุญญากาศ (Alkanan และคณะ, 2021) ซึ่งเป็นเทคนิคที่มีต้นทุนสูง

การผลิตมะเขือเทศผงด้วยการทำแห้งแบบโฟมแมต (de Cól และคณะ, 2021) จะช่วยเพิ่มอัตราการทำแห้งของอาหาร เนื่องจากโครงสร้างของโฟมซึ่งมีรูพรุนทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสอากาศเพิ่มขึ้น ส่งผลให้น้ำระเหยได้ง่ายและเร็วขึ้นเป็นวิธีที่ง่ายและต้นทุนไม่สูง (Suet Li และคณะ, 2021) การทำแห้งแบบโฟมแมต เป็นกระบวนการง่ายๆ ในการทำให้แห้งอาหารที่เป็นของเหลว โดยการผสมกับสารทำให้เกิดฟองโฟมและสารที่ทำให้คงตัวของฟองโฟม โดยการใช้เครื่องตีหรือปั่น (beating or whipping) หรือโดยการเป่าอากาศเข้าไปในของเหลว กลายเป็นฟองอากาศขนาดเล็กที่แขวนลอยอยู่ในของเหลว หรือของแข็ง ที่มีฟิล์มบางๆ ล้อมรอบอากาศไว้ การเกิดโฟมเป็นสมบัติเชิงฟังก์ชันของโปรตีนเพื่อให้เกิดความเสถียร (functional properties of protein) เช่น ไข่ขาว เคซีน โปรตีนจากถั่วเหลือง (soy protein isolate) เป็นต้น กระบวนการทำแห้งแบบโฟมแมตมีกระบวนการดังแสดงในภาพที่ 4



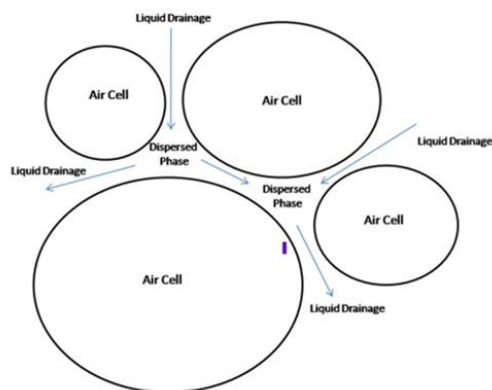
ภาพที่ 4 แผนผังแสดงกระบวนการทำแห้งแบบโฟมแมตในผักและผลไม้

ที่มา: Qadri และคณะ (2020)

โครงสร้างของโฟมมีลักษณะรูพรุนขนาดเล็กขึ้นด้วยผนังบางๆ ลักษณะคล้ายรังผึ้ง ลมร้อนจากการอบแห้ง จึงสามารถไหลแทรกเข้าไปกระจายตัวในโครงสร้างอย่างอิสระ เกิดการระเหยของน้ำกลายเป็นไอ เพื่อระบายความร้อนจากวัตถุสู่บรรยากาศ การระเหยของไอน้ำเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเกิดจากการเคลื่อนที่ของความชื้นผ่านชั้นของฟิล์มที่อยู่ระหว่างของเหลวและฟองอากาศได้ง่าย เนื่องจากมีรูพรุนและทำให้อากาศร้อนแทรกเข้ามาถึงชั้นในสุด ดังนั้นการเกิดฟองจึงทำให้มวลแห้งเร็วมาก เกิดการระเหยอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสัมผัสที่มากกว่า

Hardy และ Jideani (2017) รายงานว่าโฟมเป็นระบบที่ซับซ้อนซึ่งเกิดขึ้นจากก๊าซ ของเหลวของแข็ง และสารลดแรงตึงผิวมีสองเฟสคือ เฟสกระจายและเฟสต่อเนื่อง ซึ่งระหว่างเฟสนั้นจะคั่นด้วยชั้นบางๆ ที่เรียกว่าเฟส lamellar (ผนังบางของฟอง) การกระจายตัวเป็นฟองอากาศเล็กๆ ส่งผลต่อความนุ่มของโฟมที่สร้างและสะสมขึ้นบริเวณรอยต่อระหว่างอากาศและของเหลว ส่วนแรงตึงผิวของอนุภาคจะไปขัดกับแรงของความคงตัวของโฟม จึงนำไปสู่การสลายตัวของโฟม ซึ่งทำให้เกิดความไม่เสถียรตามธรรมชาติ ดังนั้นจึงมีการเติมโปรตีนและสารลดแรงตึงผิวลง เพื่อรักษาเนื้อสัมผัสหรือความเสถียรของโฟม (Blasco และคณะ, 2011) รูปแบบของโฟมขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น คุณสมบัติของเหลวที่เกิดฟอง และสภาพการเกิดฟอง

Mulyadi และคณะ (2012) รายงานว่ากระบวนการทำให้แห้งวิธีนี้เป็นวิธีที่ง่าย และต้นทุนต่ำเมื่อเทียบกับวิธีการอื่นๆ เช่น แบบสุญญากาศ แบบแช่เยือกแข็ง และแบบพ่นฝอย อย่างไรก็ตามการทำแห้งแบบโฟมแมตก็มีข้อบกพร่องบางประการคือ การถ่ายเทความร้อนของก๊าซที่อยู่ในโฟมจะลดลง ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนภายในวัสดุเป็นไปค่อนข้างช้า (ค่าการนำความร้อนของก๊าซต่ำกว่าของเหลวมาก) ดังนั้นจึงควรทำวัสดุที่เป็นแผ่นโฟมให้เป็นชั้นบางๆ เพื่อให้ผลิตภัณธ์เกิดการถ่ายเทความร้อนของอากาศที่อยู่ในโฟมง่ายและแห้งได้เร็วขึ้น (Sabarez, 2021) ระบบของการระเหยของไอน้ำจากอนุภาคของโฟมแสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ระบบการระเหยของไอน้ำจากอนุภาคของโฟม

ที่มา: Sangamithra และคณะ (2015)

สารก่อโฟม คือสารที่ช่วยให้วัสดุเกิดฟองโฟม โดยช่วยลดแรงตึงผิวระหว่างของเหลวสองชนิด โพรตีนช่วยให้การก่อตัวเป็นฟิล์มที่มีความเหนียว หนืด และมีความหนาแน่นของเนื้อโฟมมากขึ้น ทำให้เกิดความคงตัวของโฟมสูง โพรตีนที่เป็นสารก่อโฟมที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ ไข่ขาว เจลาติน โพรตีนจากนม เคซีน เวย์โปรตีน และโปรตีนถั่วเหลือง. สารเพิ่มความคงตัวของโฟม เป็นส่วนผสมที่ช่วยลดความไม่เสถียรของฟองโฟม โดยทั่วไปโพลีแซคคาไรด์จะถูกใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวของโฟม ซึ่งมีหลายชนิด เช่น CMC แซนแทนกัม อะราบิกกัม สตาร์ช เพคติน และเจลาติน นักวิจัยหลายคนใช้สารก่อโฟมในการทำโฟมแม่ตในผักและผลไม้ชนิดต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 6



ตารางที่ 6 สารก่อโพลีที่ใช้สำหรับการทำโพลีเมอร์ในผักและผลไม้ชนิดต่างๆ

ลำดับ	ผักและผลไม้	สารก่อโพลี/สารเพิ่มความคงตัว	เวลาและความเร็วรอบในการตีโพลี	ระบบการทำแห้ง, อุณหภูมิ	อ้างอิง
1	กล้วย	Egg albumin, 10g/100g SPI, 5g/100g WPC, 5g/100g	-	AD, 80	Thuwapanichayanan และคณะ (2012)
2	มะเขือเทศ	EA, 0-20% Tricalcium phosphate	5 min, 1,400 rpm	AD, 65-70	Kadam และคณะ (2011)
3	ส้มแมนดาริน	EA, 0-2% CMC, 0-1% Milk, 0-9%		AD, 65-85	Kadam และคณะ (2011)
4	สับปะรด	0-1% EA, 0-2% CMC, 0.25%	18,000 rpm	AD, 65-85	Kadam และคณะ (2012)
5	มะละกอ.	EA, 5-20% w/w MC, 0-1% GMS, 1-4%	10-15 min	AD, 60-70	Kandasamy และคณะ (2014)
6	แอปเปิล	Gelatin, 0-1.5% w/w	3-9 min, 2,300 rpm	AD, 60	Valenzuela และ Aguilera (2013)

ซอโยโปรตีน (Soy Protein) เนื่องจากความต้องการทางโภชนาการของประชากรโลกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จากสภาวะการค่าครองชีพที่สูงขึ้น โดยเฉพาะความต้องการโปรตีนที่คุณภาพสูงและราคาประหยัดเป็นสิ่งสำคัญต่อมนุษย์ โปรตีนจากพืชตอบโจทย์ด้านคุณค่าทางโภชนาการและต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งโปรตีนคุณภาพสูงจากถั่วเหลือง ที่ถูกผลิตขึ้นมาแทนโปรตีนจากเนื้อสัตว์ อย่างไรก็ตามโปรตีนถั่วเหลืองเมื่อนำมาเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหาร มักจะมีข้อจำกัดด้านกลิ่นและรสชาติทางประสาทสัมผัส เมื่อเทียบกับส่วนผสมของโปรตีนจาก นม ไข่ และเนื้อสัตว์ นอกจากนี้ด้านความขาวที่ลดลงของอาหารบางอย่างที่เติมโปรตีนถั่วเหลืองเทียบกับส่วนผสมที่ได้จากนม ในทางการค้าผู้ผลิตนิยมนำโปรตีนถั่วเหลืองไปประยุกต์ใช้เป็นแหล่งโปรตีนแทนเนื้อสัตว์ ในสูตรอาหารจำนวนมาก เนื่องจากคุณสมบัติทางโภชนาการของส่วนผสมโปรตีนและสามารถลดต้นทุนการผลิตอาหาร (Shah และคณะ, 2012) โปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลต (Soy protein isolate; SPI) เป็นรูปแบบของโปรตีนที่ผลิตจากการนำเอาเปลือกของถั่วเหลืองและไขมันออก และผ่านการกลั่นหรือทำให้บริสุทธิ์ มีปริมาณโปรตีนขั้นต่ำร้อยละ 90 คุณสมบัติของ SPI คือการเกิดเจล อิมัลซิฟิเคชัน ความหนืด การยึดเกาะกับน้ำ อย่างไรก็ตามการใช้ SPI จะเกิดความไม่เสถียรของโฟม เมื่อเวลาผ่านไปอาจเป็นเพราะโครงสร้างตติยภูมิที่มีขนาดเล็กของโปรตีนถั่วเหลือง ซึ่งมีคุณสมบัติการเกิดฟองที่ไม่ดี ทำให้เกิดการระเหยน้ำของโฟม และการยุบตัวของโฟมและการหดตัวเป็นวง เป็นต้น

แซนแทนกัม (Xanthan gum) เป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) ที่นิยมนำมาใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหาร (food additive) โดยแซนแทนกัม สกัดได้จากเมือกของแบคทีเรีย *Xanthomonas campestris* ซึ่งมักพบในกะหล่ำปลีและกะหล่ำดอก แซนแทนกัมมีลักษณะเป็นผงสีขาว ถูกนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายประเภท โดยทั่วไปนำมาใช้ในเครื่องปรุงรส เช่น น้ำสลัด, ซอส, แยม และผลไม้กระป๋อง ช่วยให้เกิดความหนืดและช่วยรักษาเสถียรของผลิตภัณฑ์ อีกทั้งยังมีการนำไปใช้ในการทำไอศกรีมเพื่อรักษาเนื้อสัมผัสที่นุ่มลื่นและป้องกันการเกิดผลึกน้ำแข็ง สามารถนำมาใช้แทน gluten แซนแทนกัมเป็นทางเลือกที่ดีในการเพิ่มความคงตัวของฟองโฟมเพื่อผลิตโฟมที่ใช้ในการทำแห้งแบบโฟมเม็ด

เครื่องเป่าลมร้อน เป็นเครื่องเป่าอาหารที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย หลักการคือมีพัดลมดูดอากาศเข้าและส่งผ่านไปยังเครื่องทำความร้อน ที่เป็นขดลวดไฟฟ้าแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยไอน้ำเตาก๊าซธรรมชาติหรือวิธีการอื่นๆ สามารถกระจายความร้อนได้ และความเร็วลมค่อนข้างสูง (1-10 เมตรต่อวินาที) ไหลผ่านผลิตภัณฑ์โดยที่ให้ความร้อนในการระเหยและนำพาอากาศขึ้นออกไป การทำแห้งด้วยลมร้อนแบบตู้เป็นวิธีการที่ใช้บ่อยที่สุดในการทำให้วัสดุโฟมแห้งซึ่งมีการรายงานในวรรณกรรม (Falade และ Adeniyi, 2021) ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้ใช้เครื่องเป่าลมร้อนในการผลิตมะเขือเทศราชินีแห้ง

ตารางที่ 7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาบรรจุภัณฑ์และการเก็บรักษาต่อการสูญเสียของไลโคปีน

ตัวอย่าง	วิธีการทดลอง	ผลการศึกษา	อ้างอิง
Tomato	บรรจุในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด	- การเก็บรักษาที่นานขึ้น ที่อุณหภูมิ	Li
Hot Pot	ได้แก่	25 และ 37 °C มีผลต่อการลดลงของ	และคณะ
Sauce	PET/PE,PET/AL/EAA/PE	ค่า L*, a*, a*/b* และปริมาณไลโคปีน	(2018)
	- เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0, 25, และ 37 °C เป็นเวลา 0, 30, 60, 90 และ 120 วัน	- HMF เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา	
		- การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำและบรรจุภัณฑ์ที่มีการแพร่ผ่านของ O ₂ ต่ำสามารถลดการสูญเสียปริมาณไลโคปีน	
ฝรั่งชมพู	บรรจุในบรรจุภัณฑ์ 3 ชนิด	- ความชื้น ปริมาณน้ำอิสระและ Tg	Shishir
ผงบอบพ่น	ได้แก่ LDPE, Laminated	เพิ่มขึ้นเมื่อ ระยะในการเก็บรักษา	และคณะ
ฝอย	OPP (OPP/MPET/LLDPE)	เพิ่มขึ้น	(2017)
	บรรจุสุญญากาศ และ Laminated PET	- ความแตกต่างของสีเพิ่มขึ้นเมื่อระยะการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น	
	(PET/MPET/LLDPE) บรรจุสุญญากาศ	- ปริมาณไลโคปีนลดลงในระหว่างการเก็บรักษาโดยอย่างยิ่งในสภาวะที่มี	
	เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 25 °C เป็นเวลา 10 สัปดาห์	ออกซิเจน ในบรรจุภัณฑ์ LDPE	

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์เครื่องมือ และสารเคมี

อุปกรณ์และเครื่องมือ

- กล้องถ่ายภาพ (Nikon รุ่น 1J5, Japan)
- เครื่องวัดสี Color Flex EZ Spectrophotometer (Hunter lab, Reston, VI, USA)
- เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง (analytical balance รุ่น BP 221S, Sartorius AG, Inc, Germany)
- เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง (analytical balance รุ่น TE 3102S, Sartorius AG, Inc, Germany)
- เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (benchtop water activity meter รุ่น AQUALAB 4TE , METER Group, Inc, USA)
- เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Digital refractometer)
- เวอร์เนียคาลิปเปอร์ (Vernier Calipers)
- เครื่องโม่โมจีไนเซอร์ (homogenizer รุ่น T 25 digital ULTRA-TURRAX® / IKA)
- เครื่องปั่น (รุ่น MT-SL200 บริษัท มาสเตอร์ ฟูดส์อิลีเมนต์ จำกัด, ประเทศไทย)
- เครื่อง kitchen Aid (รุ่น KHH326WH บริษัท ทิพย์ธนาพร จำกัด, ประเทศไทย)
- เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด (รุ่น IDDRY0002 บริษัท ไอ ดี โกลบอล คอร์ปอเรชั่น จำกัด, ประเทศไทย)
- ตู้อบลมร้อน (Hot air dryer, Binder รุ่น FD260, BINDER GmbH (Headquarters), Germany)
- ตู้แช่แข็ง (conventional freezer, รุ่น SF – PC697, บริษัท พานาโซนิค แอ็พไลแอนซ์โคลด์เซน (ประเทศไทย) จำกัด, ประเทศไทย)
- เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (thermos recorder, TANDD รุ่น TR-72nw,T&D Corporation, Japan)
- เครื่องบด (รุ่น PG25 บริษัท เบ็ลท์ แอนด์ แบริงส์ จำกัด, ประเทศไทย)
- ไม้พายกวนขนม
- กระดาษไขอบขนม (Non-stick baking paper)
- กะละมังสแตนเลส
- ถาดสะเด็ดน้ำ

- มีดหั่น
- ตะแกรงร่อนขนาด 400 ไมครอน
- ถังอะลูมิเนียมฟอยล์ ขนาด กว้าง 23 เซนติเมตร ยาว 35 เซนติเมตร หนา 14 ไมครอน
- แผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ ขนาด กว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 7.5 เมตร หนา 14 ไมครอน
- กระปุกโพลีเอทิลีนเทรฟทาเลต (LazStep 145-211, ประเทศไทย) ขนาด 145 มิลลิลิตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 65±0.6 มิลลิเมตร ความหนาของผนังกระปุก 4.2±0.6 มิลลิเมตร
- เครื่องปิดฝากระป๋อง (รุ่น 008-LZM06, ประเทศไทย)
- เครื่องเขย่าผสมสาร (vortex mixer, รุ่น Vortex-Genie 2 G560E, Scientific Industries, USA)
- เครื่องบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (Data logger, Graphtec รุ่น GL840-WV, Graphtec corporation, Japan)
- เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV/Vis spectrophotometer, รุ่น UV-1800, Shimadzu, Japan)
- เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (high performance liquid chromatography, รุ่น Shimadzu model RF-20 prominence PDA, degassing unit (DGU-20A3R); LC20AD, Shimadzu, Japan)
- คอลัมน์ C18 (5C18-MS-II, COSMOSIL, Japan) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.6 ไมครอน x 150 มิลลิลิตร
- พีเอชมิเตอร์ (pH meter, Mettler-Toledo AG 8603 Schwerzenbach, Switzerland)
- บิวเรต (burette) ขนาด 50 มิลลิลิตร
- เครื่องระเหยสุญญากาศแบบหมุน (rotary evaporator, IKA รุ่น RV10, IKA®-Werke GmbH & CO. KG, Germany)
- อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) (ยี่ห้อ MEMMERT รุ่น MEM-1 WNB 7, GmbH & Co. KG, Germany)
- พิมพ์สแตนเลสทรงสี่เหลี่ยม ขนาด กว้าง 18 เซนติเมตร ยาว 18 เซนติเมตร และหนา 1 เซนติเมตร
- กระดาษกรอง เบอร์ 1 (whatman) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 110 มิลลิเมตร ความหนา 180 ไมโครเมตร (filter paper, circles 180 µm, Whatman, China)
- ปิเปต (Pipette)
- ปีกเกอร์ (Beaker)
- ลูกยางดูดสาร (Rubber Bulb)
- หลอดหยดสาร (Dropper)
- กรวยกรอง (Funnel)
- กรวยแยก (Separation Funnel)

- ขวดวัดปริมาตร (Volumetric Flask)
- ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer Flask)
- ขวดดูแรนสีชา ขนาด 250 มิลลิลิตร
- หลอดเซนติฟิวก์พลาสติกพร้อมฝาปิด ขนาด 50 มิลลิลิตร

สารเคมี

- สารมาตรฐานไลโคปีน เกรด HPLC (lycopene analytical standard, Sigma-Aldrich, Product of China MW=538.87g/mol, assay≥85.05% (HPLC))
- เมทานอลเกรด AR (absolute methanol AR 99.9%, RCI Labscan, Thailand)
- เมทานอลเกรด HPLC (absolute methanol HPLC 99.9%, RCI Labscan, Thailand)
- อะซิโตนไนไตรล์เกรด HPLC (absolute acetonitrile HPLC 99.9%, RCI Labscan, Thailand)
- เฮกเซนเกรด AR (hexanes AR 99.0%, RCI Labscan, Thailand)
- เฮกเซนเกรด HPLC (absolute hexanes HPLC 99.0%, RCI Labscan, Thailand) 798613360
- Ethanol AR (Ethanol AR 99.0%, RCI Labscan, Thailand)
- Acetone AR (Acetone AR 99.0%, RCI Labscan, Thailand)
- Petroleum Ether AR (Petroleum Ether AR 99.0%, RCI Labscan, Thailand)
- น้ำกลั่น (distilled water, Vaniqua, Thailand)
- น้ำกลั่นสำหรับวิเคราะห์ HPLC
- กรดอะซิติก
- โพรตีนถั่วเหลืองไอโซเลต ปริมาณโปรตีนร้อยละ 90 (ยี่ห้อ KC บริษัท กรุงเทพเคมี ประเทศไทย)
- แชนแทนกัม Formula :C₅H₁₂O₅, pH 6.0-8.0 (ยี่ห้อ KC บริษัท กรุงเทพเคมี ประเทศไทย)

3.2 วัตถุประสงค์

มะเขือเทศราชินีสดตักเกรดของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนตำบลดอนตูม มีลักษณะดังนี้คือ ขนาดของผลมะเขือเทศใหญ่ หรือเล็กเกินไป รูปร่างของผลบิดงอ และสีของเปลือกแดงไม่สม่ำเสมอ จำนวน 50 กิโลกรัม ซึ่งจากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนตำบลดอนตูม อำเภอดอนตูม จังหวัดนครปฐม เส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของผลมะเขือเทศราชินีตักเกรดเท่ากับ 19.3 ± 4.82 และ 27.8 ± 5.86 มิลลิเมตร ตามลำดับ น้ำหนักต่อผลเท่ากับ 6.41 ± 2.81 กรัม คัดเลือกเฉพาะผลที่ไม่มีโรคและรอย

เจาะของแมลง เปลือกผลมีสีแดงไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 เก็บเกี่ยวในระหว่างเดือนมกราคม ถึง กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2565 ทำการขนส่งมายังห้องปฏิบัติการและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 - 7 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 2 - 3 วันก่อนนำมาผลิตเป็นผงมะเขือเทศราชินี ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 มะเขือเทศราชินีที่ล้างและสะอาดดีแล้ว

3.3 การผลิตผงมะเขือเทศราชินีด้วยวิธีการทำแห้งแบบโพรแมต

นำมะเขือเทศราชินีสดมาล้างและสะอาดดีแล้ว ผ่าครึ่งผล แล้วนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่น เติร์ยมครึ่งละ 5 กิโลกรัม เติม SPI ร้อยละ 10 (w/w) เพื่อทำให้เกิดโฟมและแซนแทนกัม ร้อยละ 1 (w/w) เพื่อให้โฟมมีความคงตัว คนให้เข้ากันด้วยไม้พาย จากนั้นตีโฟมด้วยเครื่อง kitchen Aid ระดับความเร็วสูงสุด (220 rpm) เป็นเวลา 7 นาที เกลี่ยโฟมลงให้เต็มพิมพ์ที่มีขนาด กว้าง 18 เซนติเมตร ยาว 18 เซนติเมตร หนา 1 เซนติเมตร นำไปทำแห้งในตู้อบลมร้อนแบบถาด ที่อุณหภูมิ 58.9 ± 3.3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง จนกระทั่งผลิตภัณฑ์แห้งมีปริมาณความชื้นประมาณร้อยละ 10 - 11 บดให้เป็นผงด้วยเครื่องบด เป็นเวลา 2 นาที ร่อนผงมะเขือเทศราชินีผ่านตะแกรงร่อนขนาด 400 ไมครอน และทำการบรรจุในถุงซิปปอยล์เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส จนกระทั่งนำไปใช้ในการศึกษาขั้นต่อไป ดังภาพที่ 7-9

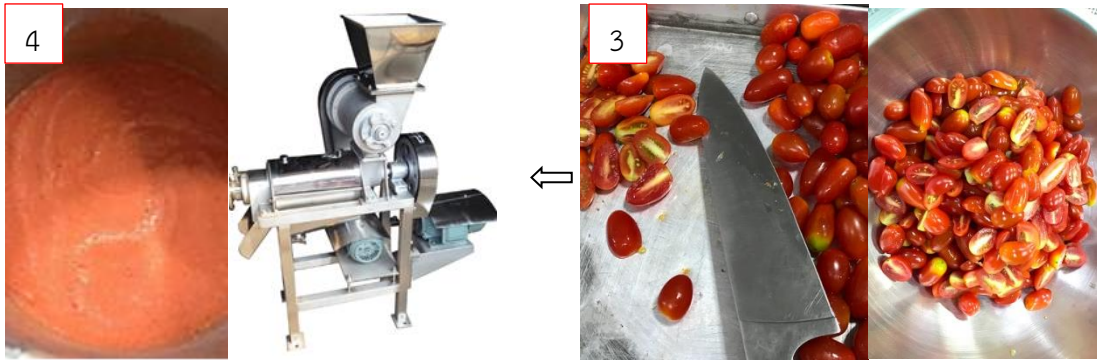


มะเขือเทศราชินี 5 กิโลกรัม



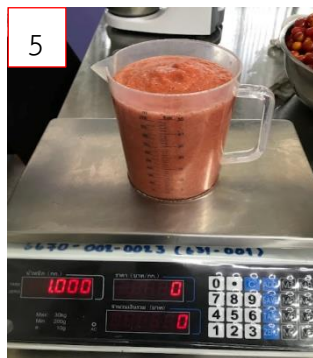
ล้างและผึ่งให้สะอาดดีแล้ว





ปั่นด้วยเครื่องปั่นละเอียด

ผ่าครึ่งผลเป็น 2 ซีก



ชั่งน้ำหนักครึ่งละ 1 กิโลกรัม



เติม SPI ร้อยละ 10 และแซนแทนกัมร้อยละ 1



เกลี่ยลงบนพิมพ์ขนาด

กว้าง 18 x ยาว 18 ซม. หนา 1 ซม.



ตีโหมด้วยเครื่อง kitchen Aid

นาน 7 นาที

ภาพที่ 7 การเตรียมผลิตภัณฑ์มะเขือเทศราชินีก่อนนำไปอบแห้ง



ภาพที่ 8 กระบวนการ ผลิตมะเขือเทศราชินีผงแบบโพลีอิมไนด์



ภาพที่ 9 กระบวนการบรรจุมะเขือเทศราชินีผง

3.4 การศึกษาสภาวะการเก็บรักษาต่อคุณภาพและปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศราชินีผง

ศึกษาผลของสภาวะการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพมะเขือเทศราชินีผงที่ 2 สภาวะ ได้แก่ 1) สภาวะที่โดนแสง (ไม่หุ้มอะลูมิเนียมฟอยล์ที่กระปุก) และ 2) สภาวะที่ไม่โดนแสง (หุ้มอะลูมิเนียมฟอยล์ที่กระปุก) ดังแสดงในภาพที่ 10 นำผงมะเขือเทศราชินีที่ได้จากข้อ 3.3 มาทำการผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันอย่างทั่วถึงและบรรจุปริมาณ 65.0 ± 0.1 กรัม ลงในกระปุกโพลีเอทิลีน เทเรพทาเลต ขนาด 145 มิลลิลิตร และปิดผนึกด้วยฝาอะลูมิเนียม โดยนำกระปุกบรรจุตัวอย่างที่หุ้มและไม่หุ้มอะลูมิเนียมฟอยล์ มาเรียงสลับกันบนชั้นวางตัวอย่าง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 ± 0.83 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 61.89 ± 6.41 ในห้องที่มีแสงตามธรรมชาติส่องตลอดในช่วงกลางวัน ทำการสุ่มตัวอย่างในวันที่ 0, 3, 10, 17, 24, ..., 122 วัน (ทุก 7 วัน) สภาวะละ 3 กระปุก เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีต่อไป



ภาพที่ 10 ลักษณะการวางกระปุกมะเขือเทศราชินีผงในสภาวะโดนแสงและไม่โดนแสง

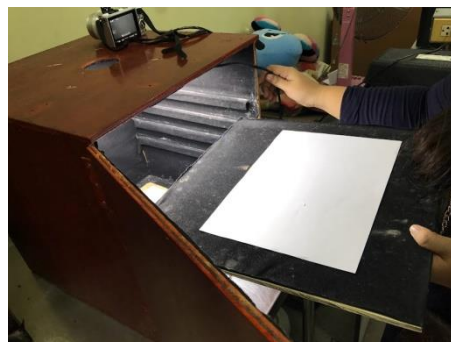
3.4.1. การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของมะเขือเทศราชินีสดและมะเขือเทศราชินีผง

วิเคราะห์คุณภาพของมะเขือเทศราชินีสดและมะเขือเทศราชินีผงที่ผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 0, 3, 10, 17, 24, ..., 122 วัน (ทุก 7 วัน) มาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมี ดังนี้

3.4.1.1 ภาพถ่ายและลักษณะปรากฏผลมะเขือเทศราชินีสดและมะเขือเทศราชินีผง

ทำการถ่ายภาพ โดยใช้กล้องถ่ายภาพยี่ห้อ Nikon รุ่น 1J5 เลือกใช้ auto modes ในการถ่ายภาพ โดยวางผลิตภัณฑ์ในกล้องถ่ายภาพทรงสี่เหลี่ยมมุมฉาก โดยบุผนังด้วยผ้ากำมะหยี่สีดำ (ความสูงจากเลนส์กล้องถึงผลิตภัณฑ์ 20 เซนติเมตร) ตั้งถ่ายภาพขนาด กว้าง 38.5 เซนติเมตร สูง

40.0 เซนติเมตร ลึก 38.0 เซนติเมตร มีแหล่งกำเนิดแสงคือ DAI-ICHI ชุดหลอดคอมไฟเพดานแบบ LED กำลังไฟฟ้า 24 วัตต์ แรงดันไฟฟ้า 220-240 โวลต์ ดังแสดงในภาพที่ 11



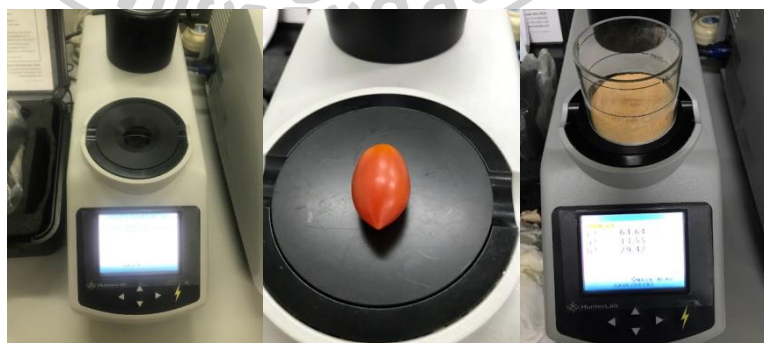
ภาพที่ 11 อุปกรณ์ที่ใช้ในการถ่ายภาพลักษณะปรากฏของมะเขือเทศราชินีผงบแบบโฟมแมต

3.4.1.1.1 ค่าสี วิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่องวัดสี (Hunter lab, Reston, VI, USA) ระบบ CIE L^* , a^* , b^* มี Pulsed Xenon Lamp ชนิด D65 เป็นแหล่งกำเนิดแสง ทำการวัดค่าสีของมะเขือเทศราชินีสดจำนวน 10 ผล วัดตำแหน่งตรงกลาง 1 ตำแหน่งต่อผล ส่วนมะเขือเทศราชินีผงบที่ผ่านการเก็บรักษาในวันต่างๆ ทำการบรรจุผงบมะเขือเทศราชินีลงในแก้วควอตซ์จำนวน 15 กรัม และวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ดังแสดงในภาพที่ 12 จากนั้นนำค่า L^* , a^* และ b^* มาคำนวณค่า chroma (C^*), hue angle (h°) และ ΔE ดังสมการที่ 1, 2 และ 3

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad \text{สมการที่ 1}$$

$$H^\circ = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad \text{สมการที่ 2}$$

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad \text{สมการที่ 3}$$



ภาพที่ 12 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดสีของมะเขือเทศราชินีสดและมะเขือเทศราชินีผงบ

3.4.1.1.2 ขนาดของผลมะเขือเทศราชินี ทำการสุ่มผลมะเขือเทศราชินีมา วัดความกว้าง ความยาว และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของผลมะเขือเทศราชินีโดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ จำนวน 10 ผล โดยลักษณะการวัดแสดงดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 อุปกรณ์ที่ใช้ในวัดขนาดของมะเขือเทศราชินีสด

3.4.1.1.3 น้ำหนักของผลมะเขือเทศราชินีสด ทำการสุ่มผลมะเขือเทศราชินีมาชั่งน้ำหนักของผลมะเขือเทศราชินีโดยใช้เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่งจำนวน 10 ผล โดยลักษณะการชั่งแสดงดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 อุปกรณ์ที่ใช้ในการชั่งน้ำหนักของมะเขือเทศราชินีสด

3.4.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของมะเขือเทศราชินีสดและมะเขือเทศราชินีผง

3.4.2.1 สุ่มตัวอย่างผลมะเขือเทศราชินีสด ทำการหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ เก็บไว้ในปิ๊กเกอร์ ใช้ฟิล์มพลาสติกปิดฝาไว้กันความชื้นระเหยออก และสุ่มมะเขือเทศราชินีผงจากข้อ 3.3 จำนวน 3 ซ้ำ ต่อครั้ง

3.4.2.1.1 ปริมาณความชื้น (moisture content) ชั่งน้ำหนักมะเขือเทศราชินีสดและมะเขือเทศราชินีผงที่เตรียมไว้จากข้อ 3.4.1.2.1 ตัวอย่างซ้ำละ 3 กรัม บรรจุในกระป๋อง

อะลูมิเนียม (moisture can) สำหรับหาปริมาณความชื้น (นำกระป๋องอะลูมิเนียม ไปอบไล่ความชื้น ด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง จากนั้นนำมาวางในโถดูดความชื้น) ใช้ที่คืบ คีบกระป๋องอะลูมิเนียม วางที่เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง บันทึกน้ำหนักเริ่มต้นของกระป๋องอะลูมิเนียมก่อนใส่ตัวอย่าง จากนั้นใช้ช้อนตักตัวอย่างปริมาณ 3 ± 0.05 กรัมลงในกระป๋องอะลูมิเนียมบันทึกน้ำหนักรวม อุปกรณ์ในและวิธีการการชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณความชื้นดังแสดงในภาพที่ 15 นำกระป๋องอะลูมิเนียมที่บรรจุตัวอย่างไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดปิดฝากระป๋องอะลูมิเนียมพร้อมตัวอย่างหลังอบ วางทิ้งไว้ให้เย็นในโถลบลมร้อนซิลิกาเจล 20 - 30 นาทีและนำกระป๋องอะลูมิเนียมที่บรรจุตัวอย่างไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง บันทึกข้อมูลน้ำหนักแห้งหลังอบ นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาค่าปริมาณความชื้น (AOAC, 1999) ดังแสดงใน สมการที่ 4

$$MC (\%) = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100 \quad \text{สมการที่ 4}$$

เมื่อ MC หมายถึง ปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์)

W_i หมายถึง น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

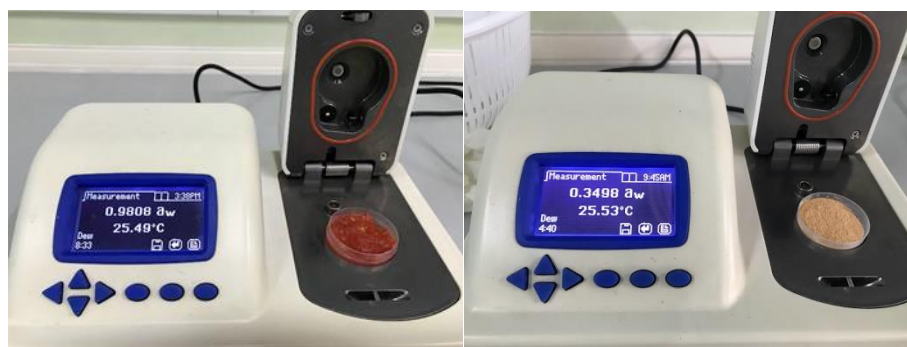
W_f หมายถึง น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)



ภาพที่ 15 อุปกรณ์ที่ใช้และวิธีการการชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณความชื้น (moisture content)

3.4.2.1.2 ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (water activity; a_w) วิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอกติวิตีของมะเขือเทศราชินีสด และมะเขือเทศราชินีผึ่งที่ผ่านการเก็บรักษาที่ระยะเวลาต่างๆ ด้วยเครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกติวิตี (AQUALAB 4TE, METER Group, WA, USA) (ดังแสดงในภาพที่ 16) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส วิเคราะห์ 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง โดยการบรรจุมะเขือเทศราชินีสดและมะเขือ

เทศราชินีผงที่เตรียมไว้จากข้อ 3.4.1.2.1 ประมาณ 3 กรัม ลงในถ้วยสำหรับวิเคราะห์หาอวตอร์แอคติวิตีจากนั้นวางถ้วยในช่องวางตัวอย่างและปิดหัววัดตามบนของของใส่ตัวอย่างลงและบันทึกค่า



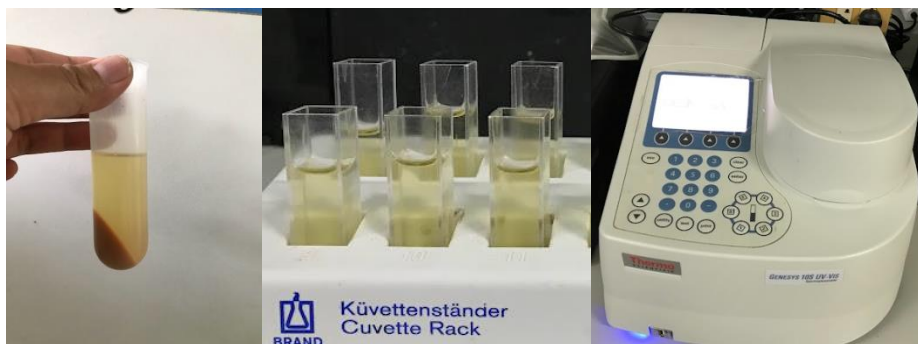
ภาพที่ 16 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าอวตอร์แอคติวิตีของมะเขือเทศราชินีสดและมะเขือเทศราชินีผง

3.4.2.1.3 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) นำน้ำมะเขือเทศราชินีมาวิเคราะห์ความเป็นกรด - ด่าง ด้วย pH-meter ก่อนการใช้งานเครื่องมือที่ใช้ผ่านการเทียบมาตรฐานด้วยน้ำยาสอบเทียบ (pH Buffer Solution) ที่มีค่า pH 2, 4, 7 และ 10 โดยล้างทำความสะอาดพีเอชอิเล็กโทรด (pH electrode) ด้วยน้ำกลั่นก่อนและหลังการใช้งาน แต่ละส่วนวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

3.4.2.1.4 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solids; TSS) นำตัวอย่างปั่นละเอียดนำมาวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด โดยในแต่ละส่วนวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ตักเนื้อมะเขือเทศราชินีปั่นละเอียดกรองผ่านผ้าขาวบาง 2 ชั้นด้วยการบีบคั้น นำน้ำมะเขือเทศราชินีที่ได้หยดลงบนมาตรดัชนีหักเหแสง (refractometer) โดยมาตรดัชนีหักเหแสงจะถูกทำความสะอาด และเทียบมาตรฐานด้วยน้ำกลั่น ก่อนการวิเคราะห์

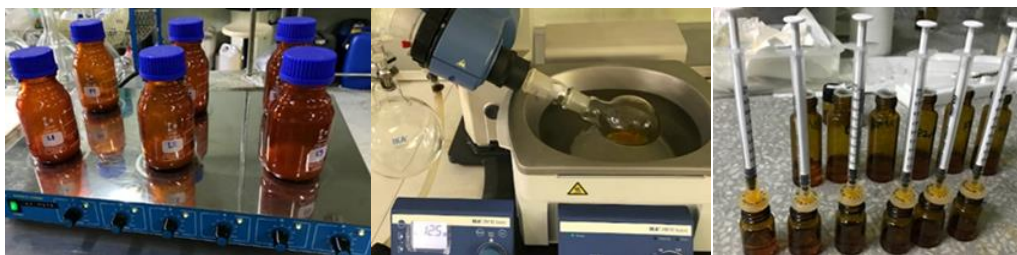
3.4.2.1.5 ดัชนีการเกิดสีน้ำตาล (browning index; BI)

โดยดัดแปลงวิธีของ Baloch และคณะ (1973) นำตัวอย่างมะเขือเทศราชินีผงจำนวน 1.5 กรัม มาสกัดด้วย acetic acid ร้อยละ 2 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ (Ultra Turrax T25 basic, IKA, Germany) เป็นเวลา 15 วินาที วางไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที จากนั้นนำไปแยกตะกอนด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง (Sorvall RC6 Plus, Thermo Scientific, MA, USA) ที่ 8,000 rpm นาน 15 นาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส รินส่วนใสลงบนกระดาษ Whatman เบอร์ 1 และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV/vis spectrophotometer (Genesys 10s, Thermo Fisher Scientific, MA, USA) โดยใช้ acetic acid ร้อยละ 2 เป็น Blank ในการวิเคราะห์ค่าดูดกลืนแสง วิเคราะห์ 3 ซ้ำต่อตัวอย่างดังแสดงในภาพที่ 17



ภาพที่ 17 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลของมะเขือเทศราชินีผง

3.4.2.1.6 วิเคราะห์ปริมาณไลโคปีน โดยใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีชนิดเหลวประสิทธิภาพสูง (High performance liquid chromatography; HPLC) ดัดแปลงวิธีของ Barba และคณะ (2006) ซึ่งมะเขือเทศราชินีสดปั่นละเอียด 10.00 ± 0.01 กรัม และมะเขือเทศราชินีผง 5.00 ± 0.01 กรัม ลงในขวดแก้วสีชาขนาด 250 มิลลิลิตร ทำการสกัดตัวอย่างมะเขือเทศราชินีด้วยสารละลาย hexane: acetone: ethanol อัตราส่วน 50:25:25 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร กวนโดยใช้ magnetic stirrer ใส่แท่งแม่เหล็กกวนสาร หมุนที่ความเร็ว 500 รอบต่อนาที นาน 30 นาที กรองสารสกัดด้วยกระดาษ Whatman เบอร์ 1 ในกรวยแยกสารสีชาขนาด 500 มิลลิลิตรปิดฝากรวยแยกทิ้งไว้ ทำการสกัดซ้ำด้วยสารสกัดอีก 2 ซ้ำ ครั้งละ 25 มิลลิลิตร (รอบละ 30 นาที) หรือจนกว่ามะเขือเทศราชินีผงไม่มีสี เติมน้ำกลั่นปริมาตร 15 มิลลิลิตร ลงในกรวยแยกสีชาที่บรรจุสารสกัดตัวอย่างเขย่าเพื่อเร่งการสกัดและไล่อากาศออก นานประมาณ 30 วินาที และรอให้ของเหลวแยกชั้นเป็นเวลา 10 นาที สังเกตเห็นชั้นบนเป็นของเหลวสีเหลืองและชั้นล่างเป็นของเหลวสีขุ่น เก็บชั้นสีเหลืองในขวดก้นกลม (round bottom flask) ขนาด 100 มิลลิลิตร นำสารสกัดที่ได้ไปทำการระเหยด้วยเครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน (RV 10, IKA, Germany) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความเร็ว 120-125 รอบต่อนาที นาน 15 - 20 นาที หรือจนกว่าสารสกัดจะมีลักษณะแห้ง ล้างตัวอย่างที่ถูกระเหยจนแห้งด้วย hexane (HPLC grade) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร โดยการเขย่าและกลั่นวนไป - มาให้สีเหลืองที่ติดอยู่ตามผนังขวดก้นกลมออกจนหมด แบ่ง hexane ในการล้างทั้งหมด 3 ครั้ง (ครั้งละ 3 - 4 มิลลิลิตร) ใส่ในขวดเก็บสารละลายสีชาขนาด 10 มิลลิลิตรปิดจุกยางและฝาเกลียวให้แน่นติดป้ายระบุรายละเอียดชุดการทดลองและจำนวนซ้ำ (3 ซ้ำ) เก็บในตู้แช่อุณหภูมิต่ำ - 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1- 5 วันก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีชนิดเหลวประสิทธิภาพสูง (High Performance Liquid Chromatography ; HPLC) ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำต่อชุดการทดลองในขั้นตอนต่อไป อุปกรณ์ในการสกัดไลโคปีนในมะเขือเทศราชินีผงดังแสดงในภาพที่ 18



ภาพที่ 18 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสกัดไลโคปีน

การวิเคราะห์สารสกัดมะเขือเทศราชินีและสารมาตรฐานไลโคปีนด้วยวิธี HPLC สารสกัดจากข้อ 3.4.1.2.6 นำไปกรองผ่าน Nylon Syringe Filters ที่มีขนาด 0.45 ไมครอน ก่อนนำไปวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีชนิดเหลวประสิทธิภาพสูง (High Performance Liquid Chromatography : HPLC) (Shimadzu, Japan) คอลัมน์ C18 (5C18-MS-II, COSMOSIL, Japan) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.6 ไมครอน x 150 มิลลิเมตร photodiode array detector ในการวิเคราะห์ควบคุมอุณหภูมิคอลัมน์ที่ 30 องศาเซลเซียส สารสกัดมะเขือเทศราชินีที่ฉีดเข้าเครื่อง HPLC ในแต่ละครั้งใช้ปริมาตร 20 ไมโครลิตร ระบบการชะโดยใช้ตัวชะชนิดเดียวกัน มีปริมาตรคงที่ (isocratic) ตลอดการวิเคราะห์ การวิเคราะห์ 1 ครั้งใช้เวลา 45 นาที ติดตามเฟสเคลื่อนที่ประกอบด้วยสารละลายเมทานอล (methanol) และสารละลายอะซิโตนไนไตรล์ (acetonitrile) ในอัตราส่วน 90:10 ใช้อัตราการไหลที่ 1.0 มิลลิเมตรต่อวินาที ติดตามสัญญาณโครมาโตแกรมที่ 475 นาโนเมตร เทียบกับกราฟมาตรฐานไลโคปีนที่ความเข้มข้น 6 ระดับคือ 10, 20, 40, 60, 80 และ 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิเมตร คำนวณพื้นที่ใต้พีคของสารละลายมาตรฐานในแต่ละความเข้มข้นมาสร้างสมการเส้นตรง แสดงในหน่วยของไมโครกรัมต่อมิลลิเมตร จากนั้นหาปริมาณสารไลโคปีนจากสารสกัดมะเขือเทศราชินี โดยนำพื้นที่ใต้กราฟที่ได้จากตัวอย่างมะเขือเทศราชินี ไปแทนค่าในสมการเส้นตรง $y = 53307x - 181092$ และรายงานในหน่วย มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง วิเคราะห์ 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง

3.5 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

วิเคราะห์ค่าทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 23 วิเคราะห์เปรียบเทียบคุณภาพทางเคมีและปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศราชินีผึ่งโดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบแพททอเรียระหว่าง 2 ปัจจัยคือสภาวะการเก็บรักษามะเขือเทศราชินีผึ่งในสภาวะที่โดนและไม่โดนแสง (2 ระดับ) กับระยะเวลาการเก็บรักษา (19 ระดับ) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของมะเขือเทศราชินีสด

มะเขือเทศราชินีสดที่ใช้ศึกษามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 19.30 ± 4.82 และความยาว 27.8 ± 5.86 มิลลิเมตรต่อผล น้ำหนักผลเฉลี่ยเท่ากับ 6.41 ± 2.81 กรัมต่อผล มะเขือเทศราชินีสดมีผิวสีแดง ซึ่งมีค่า L^* , a^* , b^* , chroma และ hue angle เท่ากับ 28.76 ± 1.28 , 23.37 ± 1.73 , 31.05 ± 2.64 , 38.92 ± 2.43 และ 52.97 ± 3.00 ตามลำดับ พบว่ามะเขือเทศราชินีสดมีองค์ประกอบของน้ำเป็นส่วนใหญ่ซึ่งมีค่า MC เท่ากับร้อยละ 93.88 ± 0.23 และ a_w เท่ากับ 0.9812 ± 0.00 ตามลำดับ ค่า TSS และ pH เท่ากับ 6.73 ± 0.66 °Brix และ 5.33 ± 0.07 ตามลำดับ ส่วนปริมาณไลโคปีนมีค่าเท่ากับ 5.17 ± 0.91 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งมีปริมาณไลโคปีนใกล้เคียงกับการศึกษาของ (Demiray และคณะ, 2013) ที่พบว่าปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศราชินีสดมีค่า 3.05 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง

สมบัติทางกายภาพและเคมีของมะเขือเทศราชินีสดที่ใช้ในการศึกษา แสดงดังตารางที่ 8

คุณภาพ	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
เส้นผ่านศูนย์กลางของผล (มม.)	19.30 ± 4.82	
ความยาวของผล (มม.)	27.80 ± 5.86	
น้ำหนักของผลมะเขือเทศราชินี (กรัมต่อผล)	6.41 ± 2.81	
ค่าสี	L^*	28.76 ± 1.35
	a^*	23.37 ± 1.83
	b^*	32.81 ± 2.78
	Chroma	38.92 ± 2.55
	Hue angle	52.97 ± 3.16
ปริมาณความชื้น (ร้อยละฐานเปียก)	93.88 ± 0.23	
ค่าวอเตอร์แอกติวิตี ($T=25$ °C)	0.9812 ± 0.00	
ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (°Brix)	6.73 ± 0.66	
พีเอช (pH)	5.33 ± 0.07	
ปริมาณไลโคปีน (mg/g dry matter)	5.17 ± 0.92	

4.2 คุณภาพทางกายภาพและเคมีของมะเขือเทศราชินีผงวันที่ 0

สำหรับมะเขือเทศราชินีผงที่ผ่านการทำให้แห้งด้วยวิธีโฟมแมตก่อนการเก็บรักษามีค่า L^* , a^* , b^* , chroma, hue angle, a^*/b^* เท่ากับ 64.35 ± 0.03 , 17.78 ± 0.45 , 29.09 ± 0.48 , 34.09 ± 0.63 , 58.56 ± 0.28 และ 0.61 ± 0.01 ตามลำดับ โดยค่า a^*/b^* เป็นดัชนีชี้วัดความสัมพันธ์ของการลดลงของความเป็นสีแดง (Johnson และ Clydesdale, 1982) สีของผงมะเขือเทศราชินีแสดงค่าสีแดงส้ม ค่า MC เท่ากับร้อยละ 10.21 ± 0.08 และ a_w ของผงเริ่มต้นเท่ากับ 0.315 ± 0.002 ตามลำดับ Idris และคณะ (2013) ระบุว่ามะเขือเทศผงที่ดีควรมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.2 - 0.4 และค่า MC อยู่ในช่วงร้อยละ 12 - 15 ผงต้องไม่เกาะกันเป็นก้อน ค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล (browning index; BI) ของผงเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 0.67 ± 0.01 และปริมาณไลโคปีน (lycopene content) มีค่าเท่ากับ 0.87 ± 0.19 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 คุณภาพทางกายภาพและเคมีของมะเขือเทศราชินีผงวันที่ 0 (วิเคราะห์ 3 ซ้ำ)

คุณภาพ	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ค่าสี	
L^*	64.79 ± 0.54
a^*	17.78 ± 0.45
b^*	29.09 ± 0.48
Chroma	34.90 ± 0.63
Hue angle	58.56 ± 0.28
a^*/b^*	0.61 ± 0.01
ปริมาณความชื้น (ร้อยละฐานเปียก)	10.21 ± 0.08
ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี ($T=25^\circ\text{C}$)	0.3147 ± 0.00
ค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล	0.67 ± 0.01
ปริมาณไลโคปีน (mg/g dry matter)	0.87 ± 0.19

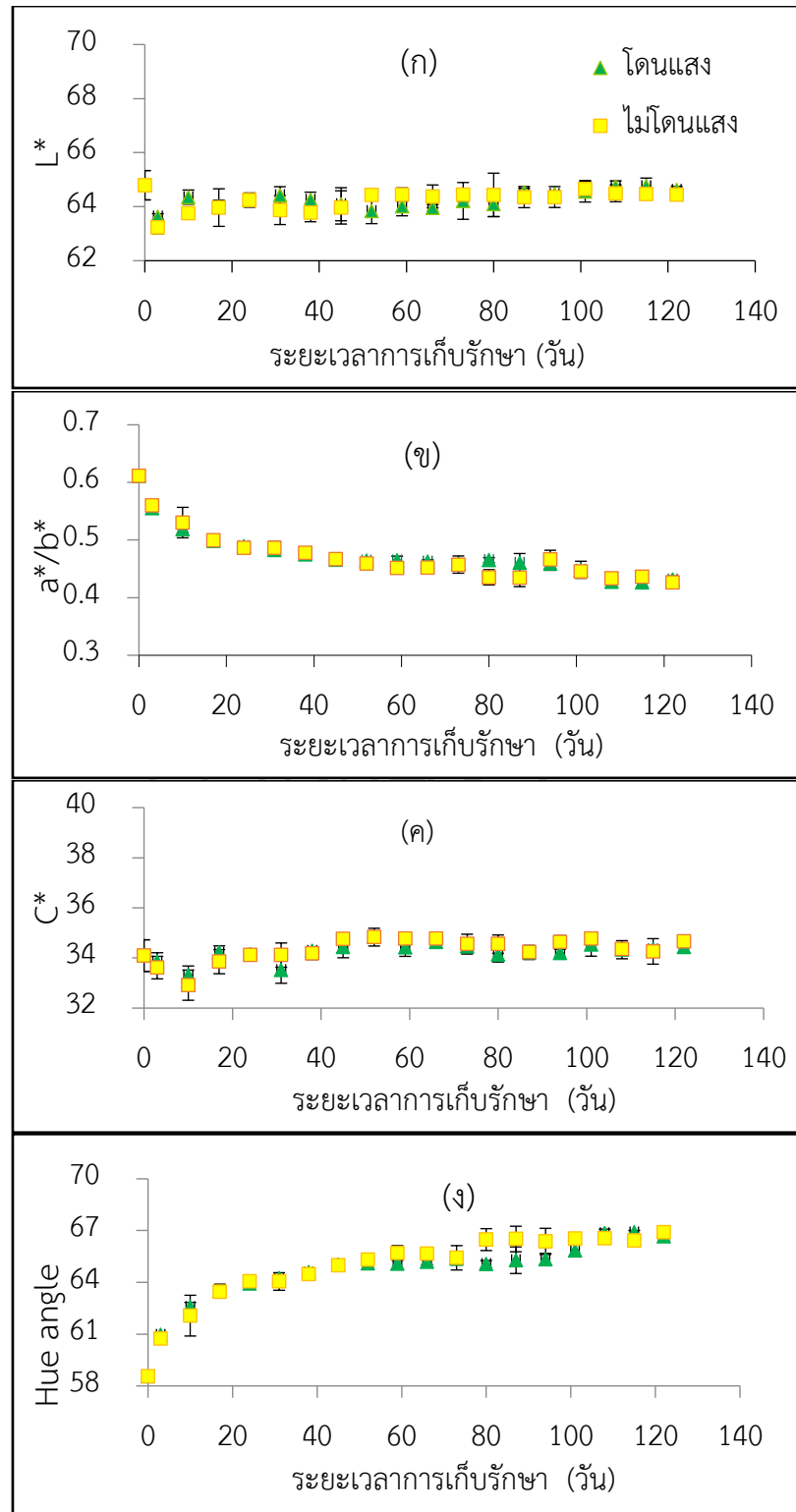
จากตารางที่ 8 และ 9 แสดงให้เห็นว่าการลดลงของค่าปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศราชินีผงเกิดขึ้นเนื่องจากการเติม SPI ซึ่งเป็นสารก่อโฟมร้อยละ 10 และแซนแทนกัมร้อยละ 1 ลงไปในกระบวนการตีโฟมก่อนการทำให้แห้ง ดังนั้นปริมาณของมะเขือเทศราชินีผงที่นำมาวัดปริมาณไลโคปีน

จึงมีส่วนผสมของ SPI และแซนแทนกัมปนอยู่มาก ปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศผงที่วิเคราะห์ได้มีค่าใกล้เคียงกับการทดลองของ กานดาวิดี และ จิรภา (2556) ซึ่งพบว่ามะเขือเทศผงผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยและมีการเติมมอลโตเด็คทรีนร้อยละ 5 มีปริมาณไลโคปีนเท่ากับ 0.65 มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง

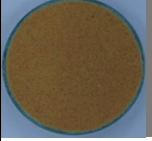
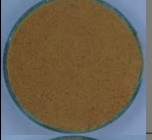
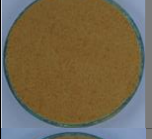
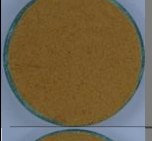
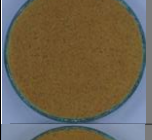
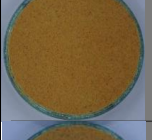
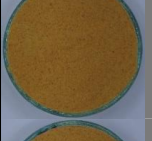
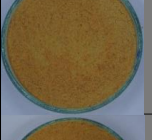


4.3. ผลของสภาวะและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อสีและลักษณะปรากฏของมะเขือเทศราชินี

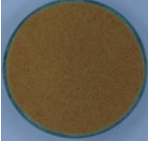

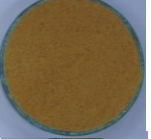
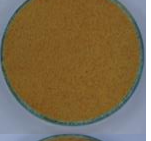
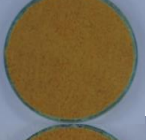
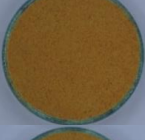
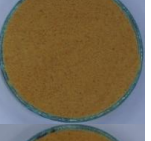
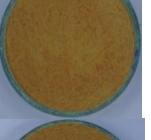
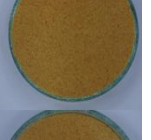

ภาพที่ 19 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเก็บรักษามะเขือเทศราชินีผงเป็นระยะเวลา 122 วัน มะเขือเทศราชินีผงมีแนวโน้มของค่า a^*/b^* ลดลง แสดงว่าผงของมะเขือเทศราชินีมีสีแดงลดลง ซึ่งค่า a^*/b^* สามารถระบุได้ถึงสีที่ชัดเจนของสีแดงในผลิตภัณฑ์ (Idris และคณะ, 2013) ส่วน L^* , chroma และ hue angle มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยค่าสี L^* , chroma, hue angle, และ a^*/b^* มีค่าอยู่ระหว่าง 63.23 - 64.76, 32.91 - 34.84, 58.56 - 66.90 และ 0.43 - 0.61 ตามลำดับ

จากการสังเกตลักษณะปรากฏด้านสีพบการเปลี่ยนสีของมะเขือเทศราชินีผงที่มีสีแดงซีดจางลงเล็กน้อยเท่านั้นทั้งในสภาวะที่โดนแสง และสภาวะที่ไม่โดนแสง เนื่องจากระยะเวลาการเก็บรักษาที่ไม่ได้ยาวนานมากและผลิตภัณฑ์เกิดการสัมผัสแสงบริเวณผนังกระปุกเป็นส่วนใหญ่ ทำให้เมื่อทำการผสมผงตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์ค่าสีจึงไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของทั้ง 2 สภาวะ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาเท่ากัน อย่างไรก็ตามการลดลงของสีแดงสัมพันธ์กับการลดลงของไลโคปีนที่เกิดจากปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชันซึ่งมีผลต่อการลดลงของสีแดงของผลิตภัณฑ์ และปฏิกิริยาออกซิเดชัน และจะทำให้เกิดการแตกตัวของโมเลกุลเกิดเป็นอะซิโตน (acetone) เมทิลเฮปทีโนน (methylheptenone) ลาวูลินิก (levulinic) และอัลดีไฮด์ (aldehyde) เป็นต้น ลักษณะปรากฏของมะเขือเทศราชินีผงที่ผ่านการเก็บรักษาในสภาวะที่โดนแสงเปรียบเทียบกับสภาวะที่ไม่โดนแสงระหว่างวันที่ 0 และวันที่ 122 มีสีจางลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าโดยภาพของมะเขือเทศราชินีผงแสดงในภาพที่ 20



ภาพที่ 19 ผลของสภาวะการเก็บรักษาต่อคุณภาพด้านสีของผงมะเขือเทศราชินีที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0 - 122 วัน; L* (ก) a*/b* (ข) C* (ค) และ Hue angle (ง)

ระยะเวลา การเก็บรักษา	วันที่ 0	วันที่ 10	วันที่ 24	วันที่ 38	วันที่ 52	วันที่ 66	วันที่ 80	วันที่ 94	วันที่ 108	วันที่ 122
โดนแสง										
	$\Delta E=2.96$ ± 0.27	$\Delta E=4.78$ ± 0.04	$\Delta E=5.91$ ± 0.11	$\Delta E=8.42$ ± 0.87	$\Delta E=7.78$ ± 0.39	$\Delta E=6.26$ ± 0.81	$\Delta E=6.73$ ± 1.03	$\Delta E=9.42$ ± 1.73	$\Delta E=9.42$ ± 1.73	$\Delta E=9.42$ ± 1.31

ระยะเวลา การเก็บรักษา	วันที่ 0	วันที่ 10	วันที่ 24	วันที่ 38	วันที่ 52	วันที่ 66	วันที่ 80	วันที่ 94	วันที่ 108	วันที่ 122
ไม่โดนแสง										
	$\Delta E=3.55$ ± 0.70	$\Delta E=4.90$ ± 0.18	$\Delta E=5.65$ ± 0.68	$\Delta E=8.70$ ± 1.14	$\Delta E=9.00$ ± 0.56	$\Delta E=9.74$ ± 2.17	$\Delta E=8.49$ ± 2.04	$\Delta E=8.93$ ± 0.67	$\Delta E=8.93$ ± 0.67	$\Delta E=10.69$ ± 0.35

ภาพที่ 20 ผลของสภาวะการเก็บรักษาต่อลักษณะปรากฏและ ΔE ของมะเขือเทศราชินีผงที่ระยะเวลาเก็บรักษาที่ 0 - 122

4.4 ผลของสภาวะและเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอกติวิตี้และปริมาณความชื้น

ค่า a_w และ MC ของมะเขือเทศราชินีผงที่เก็บรักษาในสภาวะโดนแสงและสภาวะที่ไม่โดนแสงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 122 วัน แสดงดังตารางที่ 10 โดยค่า a_w อยู่ในช่วง 0.315 - 0.348 และค่า MC อยู่ในช่วงร้อยละ 10.21 - 12.93 แสดงว่าความชื้นในอากาศเกิดการแพร่เข้ามาภายในบรรจุภัณฑ์และผลิตภัณฑ์ดูดซับความชื้นเล็กน้อย ผงมะเขือเทศราชินีที่ได้มีคุณภาพดี และยังไม่เกิดการเกาะตัวเป็นก้อน Goula และคณะ (2006) รายงานว่าผงมะเขือเทศที่มีคุณภาพดีควรมีค่า a_w ในช่วง 0.2 - 0.4 และค่า MC อยู่ในช่วงร้อยละ 12-15 เพื่อลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและสามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น ผงไม่เกาะกันเป็นก้อน



ตารางที่ 10 ผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อค่าวอเตอร์แอกติวิตี้และปริมาณความชื้นของมะเขือเทศราชินีผงในสภาวะ โดินแสงเปรียบเทียบกับสภาวะที่ไม่โดนแสงที่ระยะเวลา 0 - 122 วัน

ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)	ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้		ปริมาณความชื้น (% mc)	
	โดนแสง	ไม่โดนแสง	โดนแสง	ไม่โดนแสง
0	0.3147 ± 0.00 ^{bc}	0.3147 ± 0.00 ^{abcde}	10.21 ± 0.08 ^b	10.21 ± 0.08 ^{bc}
3	0.3059 ± 0.01 ^a	0.3080 ± 0.0 ^a	9.81 ± 0.37 ^a	9.95 ± 0.47 ^{ab}
10	0.3136 ± 0.00 ^b	0.3121 ± 0.01 ^{abc}	9.70 ± 0.34 ^a	10.04 ± 0.38 ^{ab}
17	0.2990 ± 0.01 ^a	0.3143 ± 0.0 ^{abcd}	9.10 ± 0.06 ^d	9.60 ± 0.15 ^e
24	0.3134 ± 0.00 ^{bc}	0.3090 ± 0.00 ^{ab}	9.90 ± 0.02 ^a	9.79 ± 0.10 ^a
31	0.3227 ± 0.01 ^{cde}	0.3125 ± 0.00 ^{abc}	9.90 ± 0.02 ^a	10.19 ± 0.18 ^{bc}
38	0.3246 ± 0.00 ^{de}	0.3111 ± 0.00 ^{ab}	10.56 ± 0.09 ^b	10.25 ± 0.06 ^b
45	0.3253 ± 0.00 ^{de}	0.3236 ± 0.0 ^{ef}	11.35 ± 0.09 ^d	12.07 ± 0.13 ^e
52	0.3266 ± 0.01 ^f	0.3222 ± 0.00 ^{def}	12.35 ± 0.13 ^e	12.17 ± 0.08 ^{ef}
59	0.3246 ± 0.00 ^{de}	0.3209 ± 0.00 ^{cdef}	12.41 ± 0.05 ^{efg}	12.49 ± 0.05 ^{fg}
66	0.3213 ± 0.01 ^{def}	0.3178 ± 0.00 ^{bcde}	12.65 ± 0.06 ^{gh}	12.67 ± 0.12 ^{gh}
73	0.3224 ± 0.00 ^{cde}	0.3232 ± 0.00 ^{def}	12.38 ± 0.09 ^{ef}	12.49 ± 0.03 ^{fg}
80	0.3257 ± 0.00 ^{de}	0.3283 ± 0.00 ^{fg}	12.53 ± 0.08 ^c	12.70 ± 0.04 ^{cd}
87	0.3478 ± 0.01 ^f	0.3425 ± 0.00 ^{gh}	12.52 ± 0.16 ^c	12.66 ± 0.06 ^d
94	0.3403 ± 0.00 ^f	0.3363 ± 0.00 ^{gh}	12.81 ± 0.09 ^h	12.47 ± 0.0 ^{fg}
101	0.3412 ± 0.00 ^f	0.3385 ± 0.00 ^h	12.62 ± 0.03 ^{fgh}	12.56 ± 0.05 ^{gh}
108	0.3458 ± 0.00 ^f	0.3447 ± 0.00 ^{hi}	12.78 ± 0.08 ^h	12.73 ± 0.06 ^{fg}
115	0.3479 ± 0.00 ^f	0.3473 ± 0.00 ⁱ	12.76 ± 0.01 ^h	12.82 ± 0.03 ^{fg}
122	0.3471 ± 0.00 ^f	0.3477 ± 0.00 ⁱ	12.83 ± 0.09 ^h	12.93 ± 0.02 ^h

ab,c,d,e,f,g,h,i หมายถึงตัวอักษรที่แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เปรียบเทียบในคอลัมน์เดียวกัน

อย่างไรก็ตาม ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ของ a_w และ MC ในผงมะเขือเทศราชินีในระหว่างการเก็บรักษาในสภาวะโดนแสงและสภาวะไม่โดนแสงภายหลังการเก็บรักษา

4.5 ผลของสภาวะและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล

ดัชนีการเกิดสีน้ำตาล (Browning index; BI) ในมะเขือเทศราชินีผงบดแสดงดังตารางที่ 11 ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.67 – 0.31 ในช่วงท้ายของการเก็บรักษามีค่า BI ลดลงทั้งสองสภาวะซึ่งอาจเกิดจากการลดลงของค่าสีแดงของไลโคปีนในมะเขือเทศราชินีผงบด (a^* และ a^*/b^*) ซึ่งสีแดงของไลโคปีนเกิดการดูดกลืนในย่านใกล้เคียงกับสารที่ก่อให้เกิดสีน้ำตาลที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร

ตารางที่ 11 ผลของสภาวะและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงดัชนีการเกิดสีน้ำตาลในสภาวะที่โดนแสงเปรียบเทียบกับสภาวะที่ไม่โดนแสงที่ระยะเวลา 0 - 122 วัน

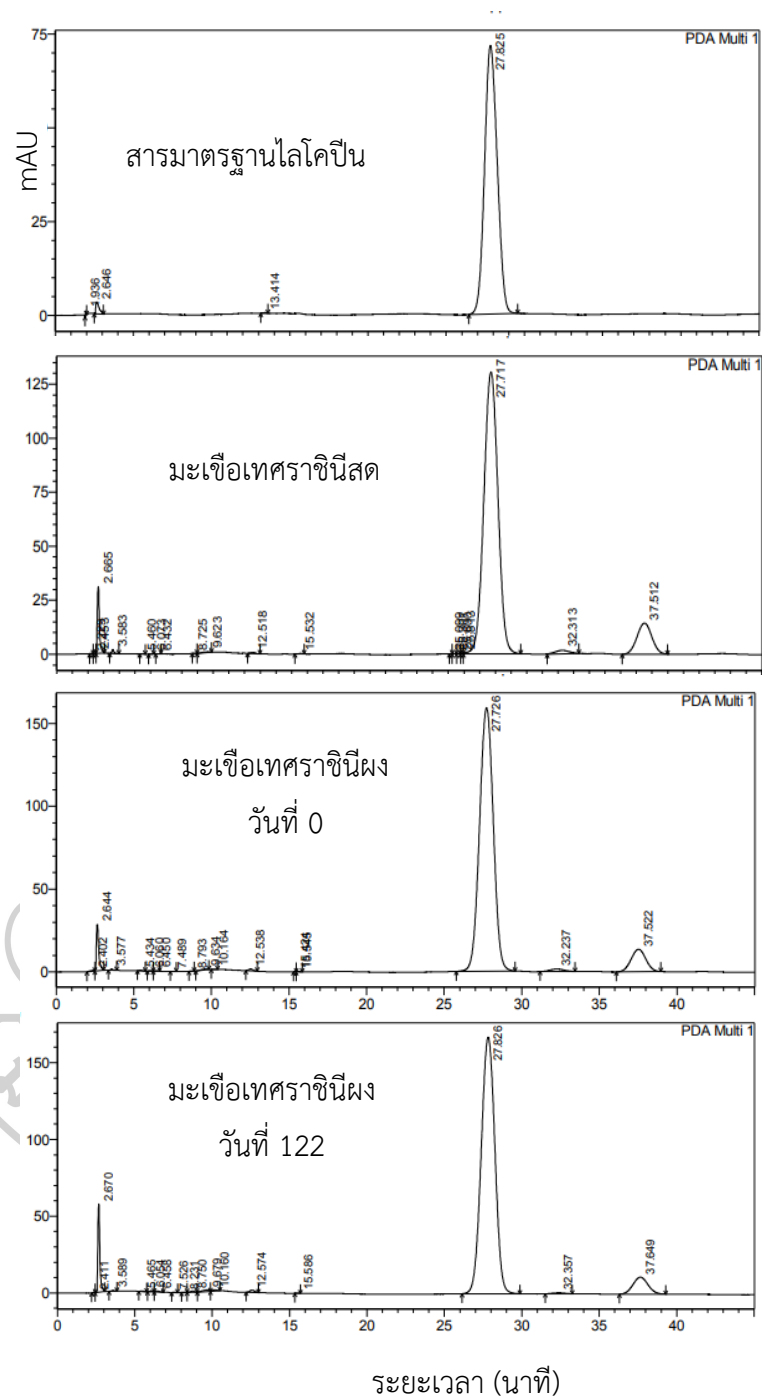
ดัชนีการเกิดสีน้ำตาลในมะเขือเทศราชินีผงบด (ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร) ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)	โดนแสง	ไม่โดนแสง
0	0.67 ± 0.01 ^{ab}	0.67 ± 0.07 ^a
3	0.52 ± 0.05 ^{ef}	0.61 ± 0.05 ^{abc}
10	0.55 ± 0.11 ^{cdef}	0.62 ± 0.00 ^{ab}
17	0.63 ± 0.02 ^{abcd}	0.58 ± 0.03 ^{bc}
24	0.55 ± 0.04 ^{def}	0.57 ± 0.02 ^{bc}
31	0.46 ± 0.01 ^{fg}	0.47 ± 0.04 ^{de}
38	0.42 ± 0.05 ^{gh}	0.48 ± 0.00 ^d
45	0.54 ± 0.02 ^{ef}	0.58 ± 0.06 ^{bc}
52	0.53 ± 0.11 ^{cd}	0.53 ± 0.02 ^{cd}
59	0.52 ± 0.05 ^{ef}	0.49 ± 0.02 ^d
66	0.58 ± 0.03 ^{bcde}	0.59 ± 0.01 ^{bc}
73	0.59 ± 0.05 ^{bc}	0.59 ± 0.01 ^{bc}
80	0.64 ± 0.08 ^{abc}	0.64 ± 0.07 ^{ab}
87	0.64 ± 0.02 ^{abc}	0.61 ± 0.06 ^{abc}
94	0.33 ± 0.04 ⁱ	0.31 ± 0.02 ^g
101	0.35 ± 0.04 ^h	0.36 ± 0.05 ^{fg}
108	0.33 ± 0.03 ⁱ	0.36 ± 0.03 ^{fg}
115	0.33 ± 0.01 ⁱ	0.35 ± 0.02 ^{fg}
122	0.37 ± 0.02 ^{hi}	0.41 ± 0.07 ^{ef}

a,b,c,d,e,f,g,h,i, หมายถึงตัวอักษรที่แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เปรียบเทียบในคอลัมน์เดียวกัน

ผลการทดลองมีความสัมพันธ์กับค่า L^* และค่า H° ที่เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 19) อย่างไรก็ตามค่า BI ระหว่างการเก็บรักษา 0-122 วัน ของทั้งสองสภาวะการเก็บรักษาไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$) Goula และคณะ (2006) พบว่าความชื้นในผลิตภัณฑ์อาหารต่ำกว่าร้อยละ 15 จะลดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ของผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากในมะเขือเทศราชินีมีความชื้นค่อนข้างน้อย ดังนั้นการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ จึงเกิดขึ้นช้า และจากในการทดลองนี้ใช้ระยะเวลาในการเก็บรักษามะเขือเทศราชินีผึ่งเพียง 122 วัน

4.6. ผลของสภาวะและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อปริมาณไลโคปีน

จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC แสดงให้เห็นว่าฟิคของไลโคปีนขึ้นที่เวลา 27 นาที ตัวอย่างโครมาโตแกรมของไลโคปีนในมะเขือเทศราชินีสดและมะเขือเทศราชินีผึ่งในระหว่างการเก็บรักษาแสดงดังภาพที่ 21 ปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศราชินีผึ่งมีค่าระหว่าง 0.43 - 0.87 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 12) พบว่า ระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อการลดลงของปริมาณไลโคปีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในทั้งสองสภาวะการเก็บรักษา และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสภาวะโดนแสงและไม่โดนแสง ณ เวลาเดียวกันพบว่าปริมาณไลโคปีนไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$) การลดลงของปริมาณไลโคปีนมีความสัมพันธ์กับการลดลงของค่า a^*/b^* สังเกตจากช่วงแรกของการเก็บรักษา 0 - 24 วัน ปริมาณไลโคปีนลดลงอย่างมาก ทั้งนี้อาจเกิดจากปฏิกิริยาไอโซเมโรเซชัน ที่สามารถย้อนกลับ ไป-มา ได้ระหว่าง all-trans-lycopene กับ cis-lycopene แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้นออกซิเจนอิสระที่อยู่ในบรรจุภัณฑ์ถูกใช้ไป ในระหว่างวันที่ 38 - 122 การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจึงเกิดได้น้อยลงและปริมาณไลโคปีนจึงเปลี่ยนแปลงน้อยลงเช่นกัน การศึกษาของ Li และคณะ (2018) และ Shishir และคณะ (2017) รายงานว่าการสูญเสียของไลโคปีนผลิตภัณฑ์มะเขือเทศเป็นผลเกี่ยวเนื่องมาจากออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ อย่างไรก็ตามเมื่อเวลาผ่านไปโครงสร้าง cis - isomers อาจจะสามารถเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับไปเป็นรูป trans - isomer ทำให้ปริมาณไลโคปีนเพิ่มขึ้นอีกครั้งและมีบางส่วนที่ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับได้จึงอาจเกิดการสลายตัวเป็น อะซีโตน, เลวูลินิก, อัลดีไฮด์, และเมทิลเฮปทีโนน (Srivastava และ Srivastava, 2015)



ภาพที่ 21 ตัวอย่างโครมาโตแกรมของสารมาตรฐานไลโคปีน มะเขือเทศราชินีสดและมะเขือเทศราชินีผงที่เก็บรักษาวันที่ 0 และ 122

ตารางที่ 12 ผลของระยะเวลาและสภาวะในการเก็บรักษาต่อปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศราชินีผงที่ระยะเวลา 0 -122 วัน

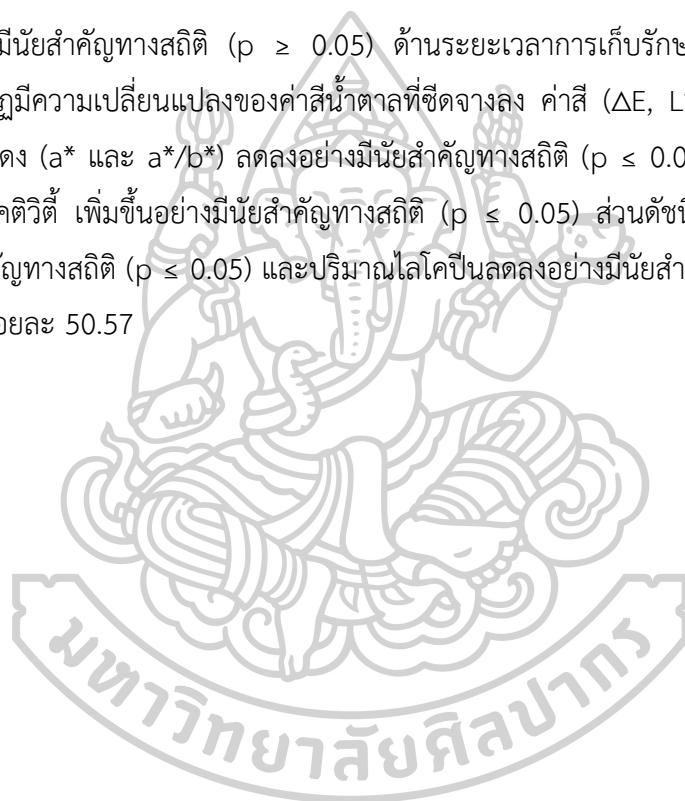
ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)	ปริมาณไลโคปีน (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	โดนแสง	ไม่โดนแสง
0	0.87 ± 0.19 ^a	0.87 ± 0.19 ^a
3	0.25 ± 0.03 ^g	0.28 ± 0.05 ^h
10	0.29 ± 0.00 ^{efg}	0.26 ± 0.02 ^h
17	0.31 ± 0.03 ^{efg}	0.31 ± 0.01 ^{fg}
24	0.29 ± 0.07 ^{fg}	0.30 ± 0.03 ^{gh}
31	0.39 ± 0.05 ^{def}	0.45 ± 0.03 ^{def}
38	0.45 ± 0.09 ^{bcd}	0.38 ± 0.09 ^{fg}
45	0.51 ± 0.03 ^{bc}	0.56 ± 0.02 ^{bc}
52	0.47 ± 0.05 ^{bcd}	0.53 ± 0.01 ^{bcde}
59	0.50 ± 0.06 ^{bcd}	0.54 ± 0.03 ^{bcd}
66	0.50 ± 0.04 ^{bcd}	0.61 ± 0.05 ^b
73	0.56 ± 0.03 ^b	0.53 ± 0.01 ^{bcde}
80	0.39 ± 0.04 ^{de}	0.40 ± 0.00 ^f
87	0.48 ± 0.03 ^{bcd}	0.60 ± 0.03 ^b
94	0.39 ± 0.03 ^{def}	0.42 ± 0.02 ^{ef}
101	0.47 ± 0.02 ^{bcd}	0.52 ± 0.02 ^{bcde}
108	0.43 ± 0.04 ^{cd}	0.46 ± 0.01 ^{def}
115	0.47 ± 0.04 ^{bcd}	0.44 ± 0.05 ^{cdef}
122	0.43 ± 0.03 ^{bc}	0.46 ± 0.06 ^{cdef}

ab,c,d,e,f,g, หมายถึงตัวอักษรที่แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เปรียบเทียบในคอลัมน์เดียวกัน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

การเก็บรักษาผงมะเขือเทศราชินีที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีโฟมแมตในกระปุกโพลีเอทิลีน เทเรพทาเลต ที่มีการหุ้มด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ที่กระปุก (ไม่โดนแสง) และ ไม่มีการหุ้มด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ที่กระปุก (โดนแสงในช่วงเวลากลางวัน) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 122 วัน พบว่าในสภาวะการเก็บรักษาทั้งสองสภาวะ ด้านลักษณะปรากฏ ค่าสี (L^* , a^* , b^* , C^* , Hue angle, และ a^*/b^*) ปริมาณความชื้น และค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ ดัชนีการเกิดสีน้ำตาล และปริมาณไลโคปีน ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ด้านระยะเวลาการเก็บรักษา 0 - 122 วันพบว่ ลักษณะปรากฏมีความเปลี่ยนแปลงของค่าสีน้ำตาลที่ซีดจางลง ค่าสี (ΔE , L^* , b^* , C^* , Hue $^\circ$) มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าสีแดง (a^* และ a^*/b^*) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนดัชนีการเกิดสีน้ำตาล ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และปริมาณไลโคปีนลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยลดลงถึงร้อยละ 50.57





ภาคผนวก ก

1. การหาปริมาณความชื้นฐานเปียก

$$MC_{wb} = \left(\frac{W_i - W_t}{W_i} \right) \times 100$$

เมื่อ MC_{wb} หมายถึง ปริมาณความชื้นฐานเปียกในหน่วยเปอร์เซ็นต์

W_i หมายถึง น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

W_t หมายถึง น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

2. การหาปริมาณความชื้นฐานแห้ง

$$MC_{db} = 100 \times \left(\frac{MC_i}{100 - MC_i} \right)$$

เมื่อ MC_{db} หมายถึง ปริมาณความชื้นฐานแห้ง (เปอร์เซ็นต์)

MC_i ความชื้นที่เวลา t



ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ค่าทางกายภาพและเคมี

1. วัดค่าสี

วัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสี (Hunter lab, Reston, VI, USA) ระบบ CIE L^* , a^* , b^* มี Pulsed Xenon Lamp ชนิด D65 เป็นแหล่งกำเนิดแสง ทำการวัดค่าสีของมะเขือเทศราชินีสดจำนวน 10 ผล วัดตำแหน่งตรงกลาง 1 ตำแหน่งต่อผล ส่วนมะเขือเทศราชินีผึ่งที่ผ่านการเก็บรักษาในวันต่าง ๆ โดยบรรจุผงลงในแก้วควอตซ์จำนวน 15 กรัม และวิเคราะห์ 3 ซ้ำ จากนั้นนำค่า L^* , a^* และ b^* มาคำนวณค่า chroma (C^*), hue angle (h°) และ ΔE ดังสมการด้านล่าง

L^* ใช้กำหนดค่าความสว่าง (Lightness)

$$L = 0 \text{ สีที่ได้จะมีดำเป็นสีดำ}$$

$$L = 100 \text{ สีที่ได้จะสว่างเป็นสีขาว}$$

a^* ใช้กำหนดสีแดง หรือสีเขียว

$$a \text{ เป็น + วัดที่มีสีออกแดง}$$

$$a \text{ เป็น - วัดที่มีสีออกเขียว}$$

b^* ใช้กำหนดสีเหลือง หรือสีน้ำเงิน

$$b \text{ เป็น + วัดที่มีสีออกเหลือง}$$

$$b \text{ เป็น - วัดที่มีสีออกน้ำเงิน}$$

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

ความอิ่มตัว (chroma หรือ saturation) เป็นเทอมที่ระบุความสดของสีหรือความบริสุทธิ์ของสี (saturation หรือ vividness) หากสีอิ่มตัวน้อยหรือไม่สดใสจะเรียกว่า สีตุ่น (dull color) การระบุสีด้วย 3 เทอมนี้ พัฒนาขึ้นเป็นระบบสีหรือสเกลสี (color scale) ที่เรียกว่า Munsell System

$$H^\circ = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right)$$

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

เมื่อ hue angle = 90° แสดงว่าเป็นสีเหลือง

hue angle = 180° แสดงว่าเป็นสีเขียว

hue angle = 270° แสดงว่าเป็นสีน้ำเงิน

hue angle = 0° แสดงว่าเป็นสีแดง

การวัดความแตกต่างของสีตัวอย่างกับตัวอย่างมาตรฐาน ที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือ ระบบ CIE ดั้งรูป และระบบ CMC ซึ่งสามารถหาได้จากค่าความแตกต่างระหว่างค่าความสว่าง, ความเป็นสีแดง - เขียว และความเป็นสีเหลือง - น้ำเงิน ดังนี้คือ

$\Delta L^* = L^*$ ของสีมะเขือเทศราชินีผงเริ่มต้น - L^* ของมะเขือเทศราชินีผงที่เปลี่ยนไป

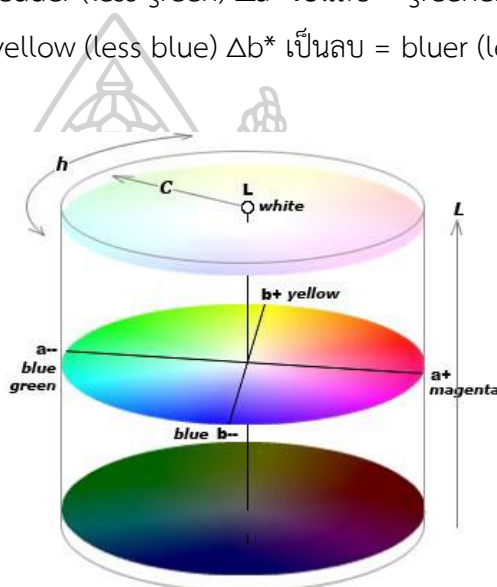
$\Delta a^* = a^*$ ของสีมะเขือเทศราชินีผงเริ่มต้น - a^* ของมะเขือเทศราชินีผงที่เปลี่ยนไป

$\Delta b^* = b^*$ ของสีมะเขือเทศราชินีผงเริ่มต้น - b^* ของมะเขือเทศราชินีผงที่เปลี่ยนไป

ถ้า ΔL^* เป็นบวก = lighter ΔL^* เป็นลบ = darker

Δa^* เป็นบวก = redder (less green) Δa^* เป็นลบ = greener (less red)

Δb^* เป็นบวก = yellow (less blue) Δb^* เป็นลบ = bluer (less yellow)



ภาพที่ 22 เรขาคณิตของค่าสีในระบบ CIE L*a*b*

2. การวัดปริมาณความชื้นด้วยวิธี Hot air oven (AOAC, 1999)

2.1 การเตรียมตัวอย่าง

2.1.1 มะเขือเทศราชินีสด สุ่มตัวอย่างในชุดการทดลอง มาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ เก็บใส่ในบีกเกอร์ปิดคลุมบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์

2.1.2 มะเขือเทศราชินีผง สุ่มตัวอย่างมะเขือเทศราชินีอบแห้งที่มาจากผลการผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน 3 จุด เก็บไว้ในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์

2.1.3 นำกระป๋องอะลูมิเนียม (moisture can) ไปอบไล่ความชื้น ด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105°C นาน 3 ชั่วโมง จากนั้นนำมาวางในโถดูดความชื้นไม่ต่ำกว่า 30 นาที

2.2 วิธีวิเคราะห์

2.2.1 ชั่งน้ำหนักมะเขือเทศราชินีสดและมะเขือเทศราชินีผึ่ง ตัวอย่างซ้ำละ 3 กรัม บรรจุในกระป๋องอะลูมิเนียม สำหรับหาปริมาณความชื้น โดยบันทึกน้ำหนักเริ่มต้นของกระป๋องอะลูมิเนียมก่อนใส่ตัวอย่าง และกระป๋องอะลูมิเนียมรวมน้ำหนักตัวอย่าง

2.2.2 นำกระป๋องอะลูมิเนียมที่บรรจุตัวอย่างไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 °C นาน 24 ชั่วโมง

2.2.3 เมื่อครบเวลาปิดฝากระป๋องอะลูมิเนียมพร้อมตัวอย่างหลังอบ ทิ้งให้เย็นในโหลบรรจุซิลิกาเจล 20 - 30 นาที

2.2.3 นำกระป๋องอะลูมิเนียมที่บรรจุตัวอย่างไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง นำข้อมูลที่ได้ มาคำนวณหาค่าปริมาณความชื้นดังสมการด้านล่าง

$$MC(\%) = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100$$

เมื่อ MC หมายถึง ปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์)

W_i หมายถึง น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

W_f หมายถึง น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

3. ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (water activity; a_w)

วิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ด้วยเครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (AQUALAB 4TE , METER Group, WA, USA) โดยนำมะเขือเทศราชินีสดที่หั่นละเอียด และมะเขือเทศราชินีผึ่งที่ผ่านการเก็บรักษาที่ระยะเวลาต่าง ๆ ประมาณ 3 กรัม ลงในถาดสำหรับวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้จากนั้นวางถาดสำหรับวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ที่บรรจุตัวอย่างในช่องใส่ตัวอย่างและปิดหัววัดลงตามบนของช่องใส่ตัวอย่างและอ่านค่า

4. การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solids; TSS)

ก่อนทำการวิเคราะห์ทุกครั้งต้องทำการเทียบมาตรฐานกับน้ำกลั่นก่อนซึ่งต้องอ่านค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้เท่ากับ 0 ตักตัวอย่างมะเขือเทศราชินีสดเตรียมไว้ในบีกเกอร์ วางลงบนผาขาวบางที่มีความหนา 2 ชั้น จากนั้นบีบลงบนมาตรฐานวัดดัชนีหักเหแสงแบบดิจิตอล และกดอ่านค่า

5. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

นำน้ำมะเขือเทศราชินีสดที่เตรียมไว้มาวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด - ด่างด้วย pH - meter ก่อนการใช้งานเครื่องมือที่ใช้ผ่านการเทียบมาตรฐานด้วยน้ำยาสอบเทียบ (pH Buffer Solution) ที่มี

ค่า pH 2, 4, 7 และ 10 โดยล้างทำความสะอาดพีเอชอิเล็กโทรด (pH electrode) ด้วยน้ำกลั่นก่อน และหลังการใช้งาน

6. การวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนทั้งหมด (Lycopene content)

6.1 การเตรียมสารมาตรฐานไลโคปีน

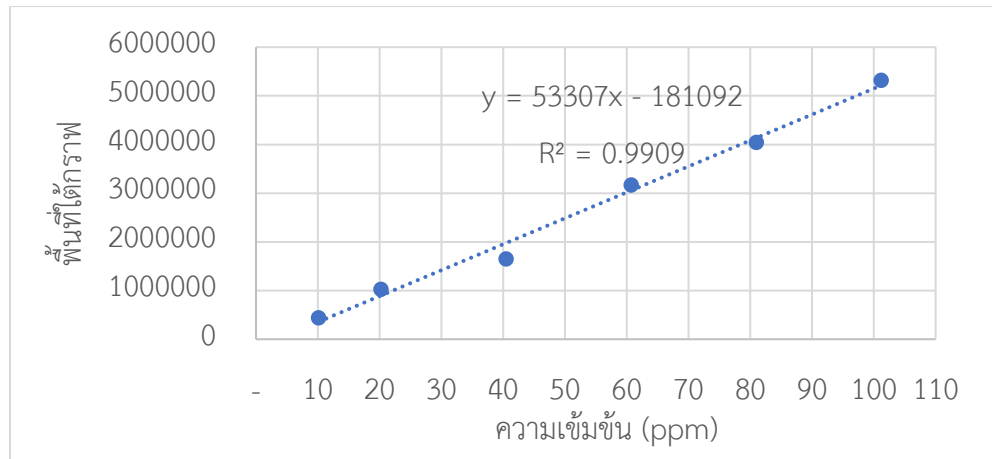
6.1.1 เตรียมสารละลายไลโคปีน 100 ppm โดยการชั่งสารมาตรฐานไลโคปีน 1 มิลลิกรัมด้วยเครื่องชั่ง 5 ตำแหน่งในขวดปรับปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากนั้นบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน ละลายด้วยเฮกเซนบริสุทธิ์ 99.99% และปรับปริมาตรให้เท่ากับ 10 มิลลิลิตร เขย่าโดยเครื่องปั่น ตกตะกอนสาร 20 วินาที ทำการเจือจางสารละลายไลโคปีน (Serial dilution) ตามความเข้มข้น

6.1.2 เตรียมสารละลายไลโคปีนความเข้มข้น 10, 20, 40, 60, และ 80 ppm จากสารละลายมาตรฐานไลโคปีนความเข้มข้น 100 ppm ดังแสดงใน ตารางที่ 13

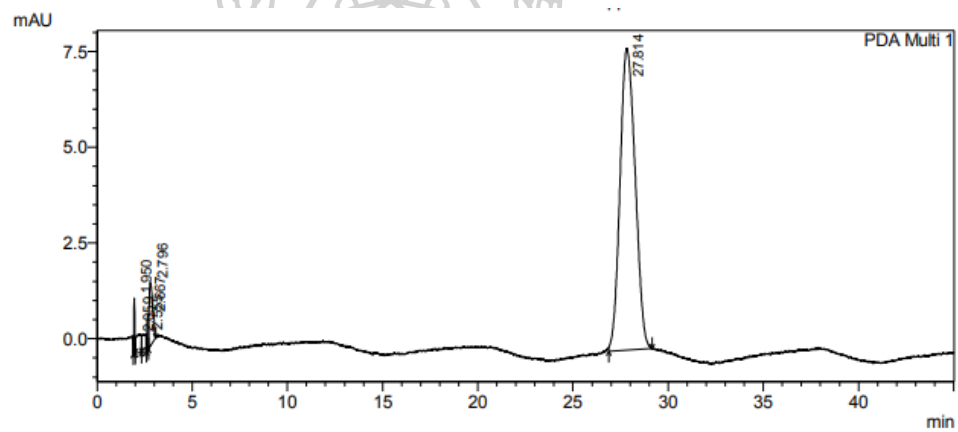
ตารางที่ 13 ปริมาตรสารมาตรฐานไลโคปีน (ppm) ที่ใช้ในการสร้างกราฟมาตรฐาน

สารมาตรฐานไลโคปีน		
ความเข้มข้น (ppm)	ความเข้มข้นที่แท้จริง	ปริมาตรสารละลายไลโคปีน (มิลลิลิตร)
10	10.12	1
20	20.24	2
40	40.48	4
60	60.72	6
80	80.96	8
100	101.20	10

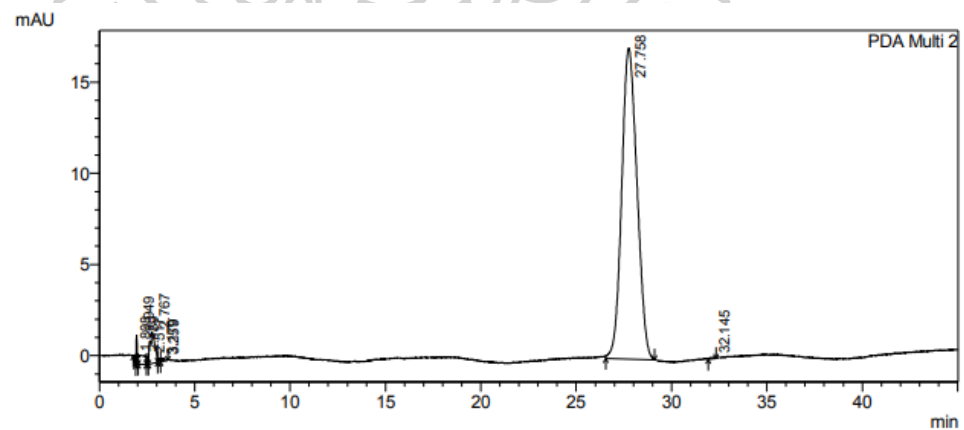
นำไปวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนด้วยเครื่องโครมาโทกราฟฟีของเหลวสมรรถนะสูง โดยวิเคราะห์พื้นที่ใต้กราฟ (area) ของสารละลายมาตรฐานแต่ละความเข้มข้นจากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างพื้นที่ใต้กราฟกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไลโคปีน (ppm) ดังแสดงใน ภาพที่ 23 และโครมาโตแกรมของสารมาตรฐานไลโคปีน ความเข้มข้น 10, 20, 40, 60, 80 และ 100 ppm แสดงในภาพที่ 24-29



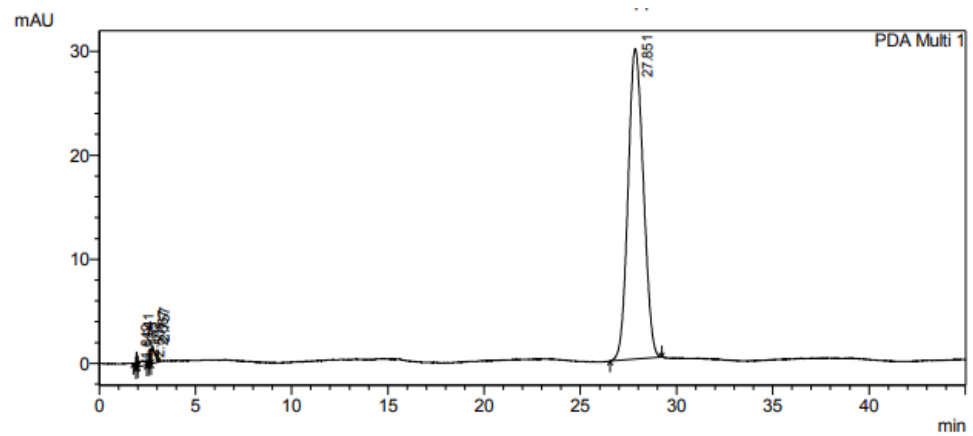
ภาพที่ 23 กราฟมาตรฐานไลโคปีนที่ความเข้มข้น 10, 20, 40, 60, 80 และ 100 ppm



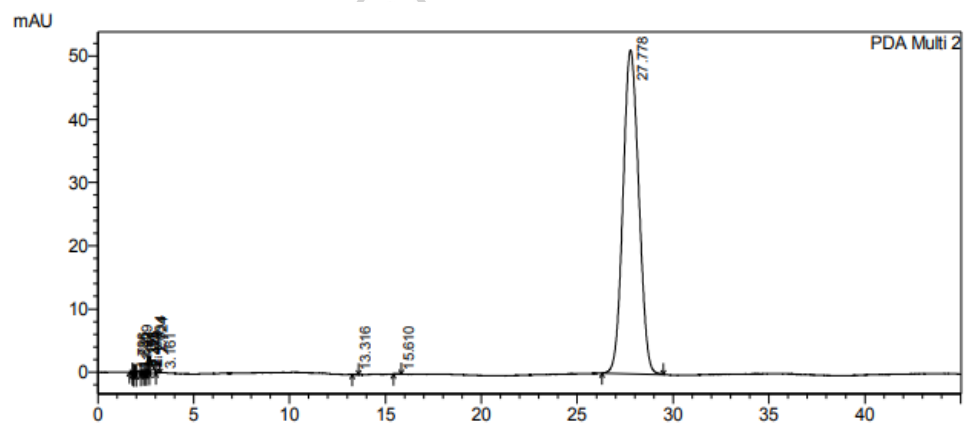
ภาพที่ 24 โครมาโตแกรมของสารมาตรฐานไลโคปีน ความเข้มข้น 10 ppm



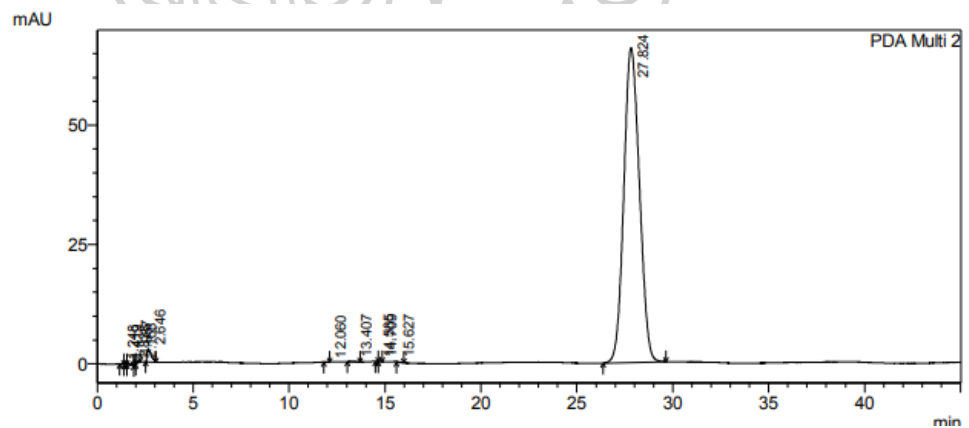
ภาพที่ 25 โครมาโตแกรมของสารมาตรฐานไลโคปีน ความเข้มข้น 20 ppm



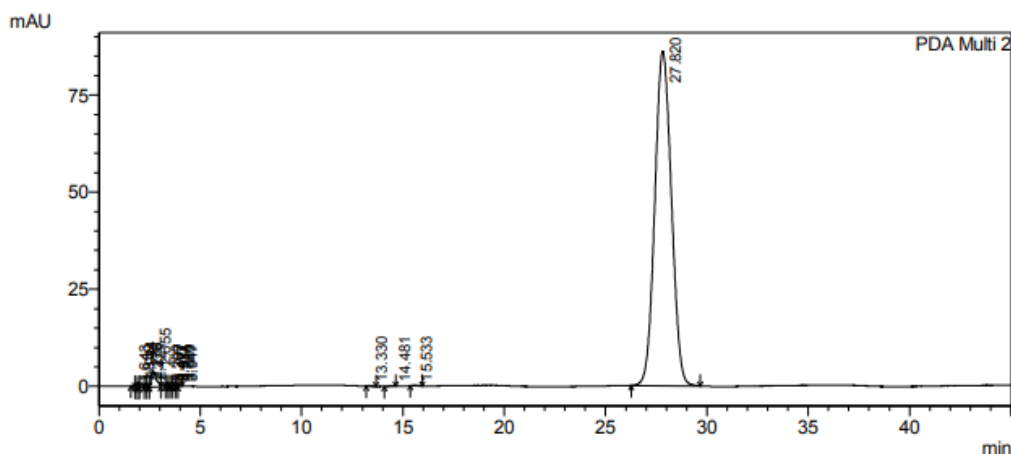
ภาพที่ 26 โครมาโตแกรมของสารมาตรฐานไลโคปีน ความเข้มข้น 40 ppm



ภาพที่ 27 โครมาโตแกรมของสารมาตรฐานไลโคปีน ความเข้มข้น 60 ppm



ภาพที่ 28 โครมาโตแกรมของสารมาตรฐานไลโคปีน ความเข้มข้น 80 ppm



ภาพที่ 29 โครมาโตแกรมของสารมาตรฐานไลโคปีน ความเข้มข้น 100 ppm

6.2 วิเคราะห์ตัวอย่างด้วยวิธี HPLC

6.2.1 นำสารสกัดมะเขือเทศราชินีสดและมะเขือเทศราชินีผงที่ผ่านการทำแห้งแบบโพรมแมต ไปกรองผ่าน Nylon Syringe Filters ที่มีขนาด 0.45 ไมครอน

6.2.2 วิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนที่ผ่านการกรอง ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟฟีชนิดเหลวประสิทธิภาพสูง (High Performance Liquid Chromatography : HPLC)

6.2.3 ใช้เข็มดูดสารสกัดไลโคปีนปริมาตร 20 ไมโครลิตร ก่อนฉีดสารควรรัดฟองอากาศในเข็มฉีดออกให้หมด

6.2.4 การวิเคราะห์ 1 รอบใช้เวลา 45 นาที

6.3 ตัวอย่างการคำนวณไลโคปีนทั้งหมด

จากกราฟมาตรฐานไลโคปีนได้สมการเส้นตรงคือ

$$y = 53307x - 181092$$

y คือพื้นที่พีคที่ความยาวคลื่น 475 นาโนเมตร

x แทนความเข้มข้นของสารมาตรฐานไลโคปีน

แทนค่าดูดกลืนแสงที่วัดได้ลง ($y = 4668906$) ในสมการเส้นตรง

$$4668906 = 53307x - 181092$$

มีการ dilution 1:1 ในสารสกัดเข้มข้นอีก 1 ครั้งดังนั้น จึงนำ 2 มาคูณความเข้มข้นเริ่มต้น

$$X = (4668906 + 181092) / 53946 * 2$$

$$X = 179.81 \text{ ppm (179.81 มิลลิกรัม/ลิตร)}$$

ดังนั้น ในสารสกัด 1,000 มิลลิลิตร มีปริมาณไลโคปีน 179.81 มิลลิกรัม

ในสารสกัด 10 มิลลิลิตร มีไลโคปีน $179.81 / 1000 * 10 = 1.80$ มิลลิกรัม

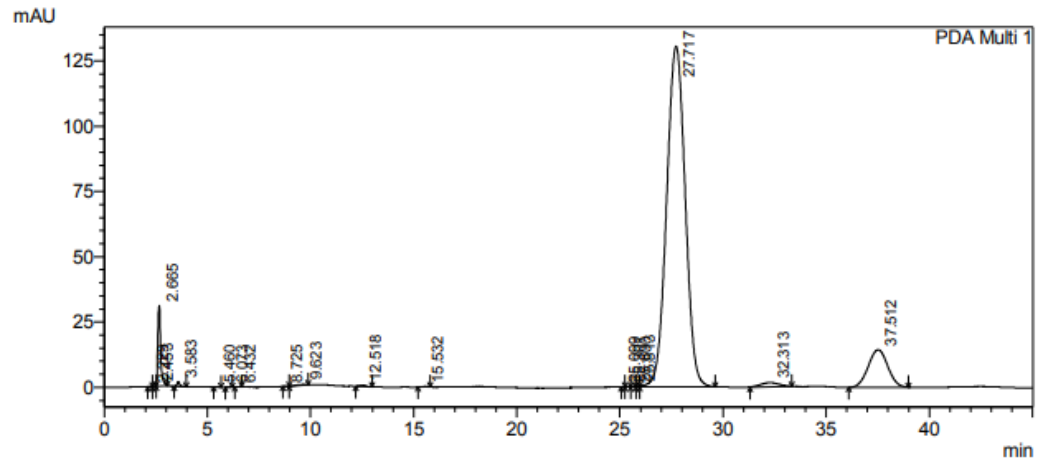
เนื่องจากสารสกัด 10 มิลลิลิตร สกัดจากตัวอย่าง 5.0012 กรัม โดยตัวอย่างมีความชื้นร้อยละ 10.90

ปริมาณของแข็งของตัวอย่างแห้งมีค่า $5.0012 * 89.10 / 100 = 4.46$ กรัม

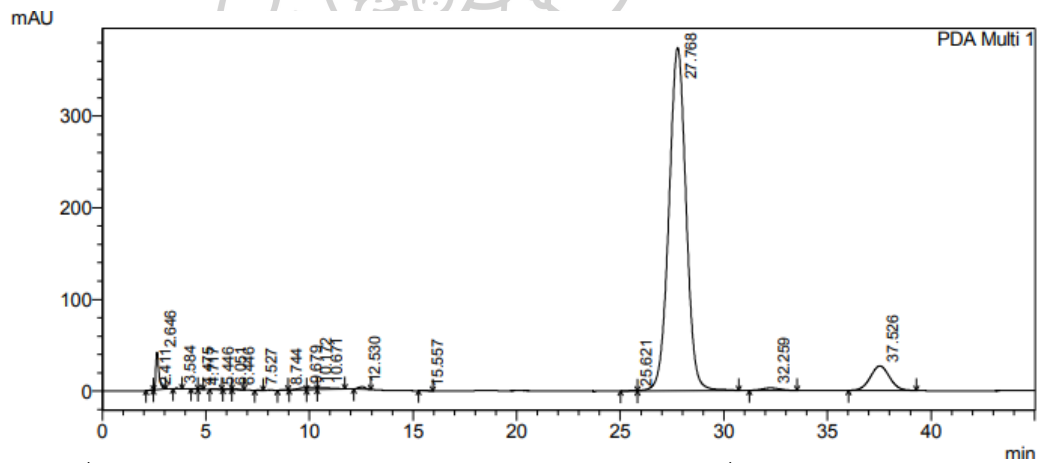
นั่นคือในตัวอย่างของแข็ง 4.46 กรัม มี โลโคปิ่น 1.80 มิลลิกรัม

ดังนั้นปริมาณโลโคปิ่นในตัวอย่างผงคือ $1.80/4.46 = 0.40$ mg/g dry matter

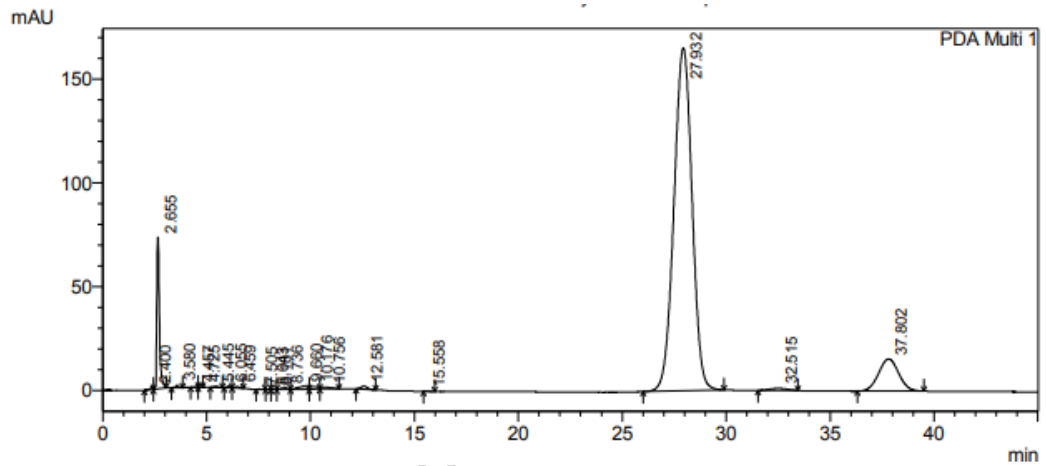
โดยโครมาโตแกรมของโลโคปิ่นในมะเขือเทศราชินีสด มะเขือเทศราชินีผง วันที่ 0 มะเขือเทศราชินีผงในสภาวะที่ไม่โดนแสงและโดนแสง วันที่ 31 และมะเขือเทศราชินีผงในสภาวะที่ไม่โดนแสงและโดนแสง วันที่ 122 ดังแสดงใน ภาพที่ 30-35



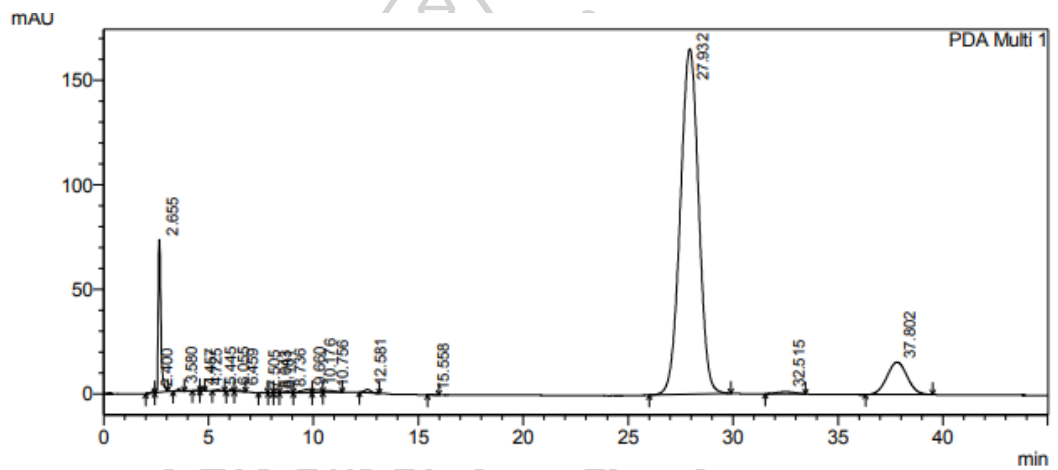
ภาพที่ 30 โครมาโตแกรมของโลโคปิ่นในมะเขือเทศราชินีสด



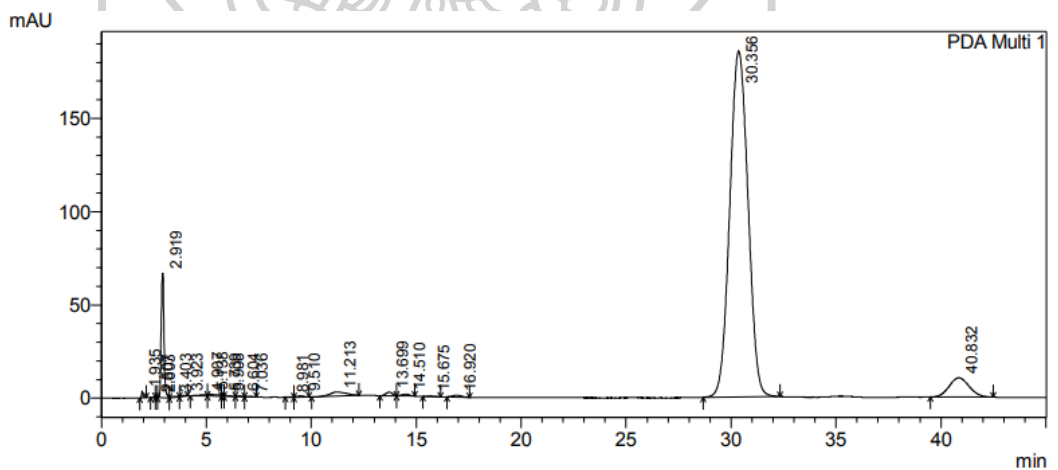
ภาพที่ 31 โครมาโตแกรมของโลโคปิ่นในมะเขือเทศราชินีผง วันที่ 0



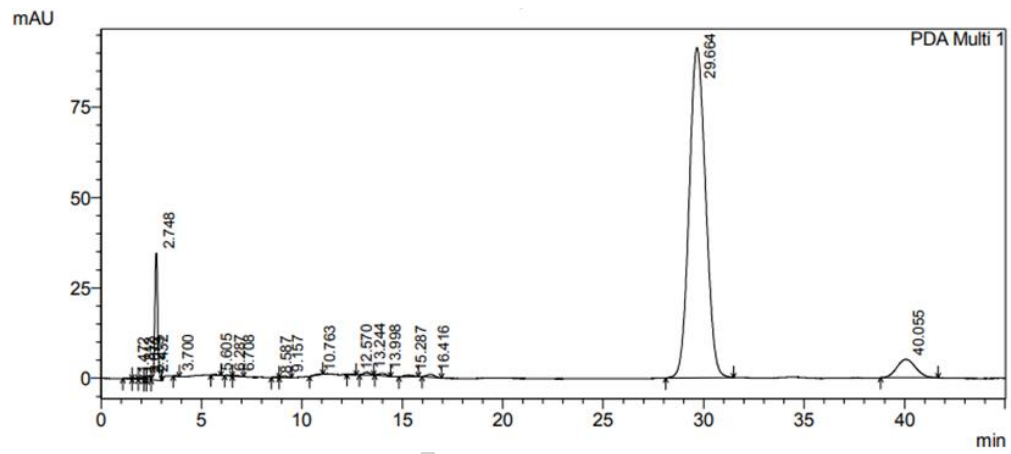
ภาพที่ 32 โครมาโตแกรมของไลโคปีนในมะเขือเทศราชินีผงในสถานะที่ไม่โดนแสง วันที่ 31



ภาพที่ 33 โครมาโตแกรมของไลโคปีนในมะเขือเทศราชินีผงในสถานะที่โดนแสง วันที่ 31



ภาพที่ 34 โครมาโตแกรมของไลโคปีนในมะเขือเทศราชินีผงในสถานะที่โดนแสง วันที่ 122



ภาพที่ 35 โครมาโตแกรมของไลโคปีนในมะเขือเทศราชินีผงในสถานะที่ไม่โดนแสง วันที่ 122



ภาคผนวก ค

ตารางที่ 14 ค่าการวิเคราะห์สถิติ ระยะเวลาการเก็บรักษาต่อค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของมะเขือเทศราชินี
ผงในสภาวะ ที่โดนแสงเปรียบเทียบกับสภาวะที่ไม่โดนแสงที่ระยะเวลา 0 - 122 วัน

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.021 ^a	37	.001	18.816	.000
Intercept	12.069	1	12.069	409756.587	.000
conditions	6.246E-5	1	6.246E-5	2.120	.149
day	.020	18	.001	36.888	.000
con * day	.001	18	4.922E-5	1.671	.064
Error	.002	76	2.946E-5		
Total	12.092	114			
Corrected Total	.023	113			

ตารางที่ 15 ค่าการวิเคราะห์สถิติ ระยะเวลาการเก็บรักษาต่อปริมาณความชื้น (MC) ของมะเขือเทศ
ราชินีผงในสภาวะ ที่โดนแสงเปรียบเทียบกับสภาวะที่ไม่โดนแสงที่ระยะเวลา 0 - 122 วัน

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	162.684 ^a	37	4.397	144.596	.000
Intercept	15145.118	1	15145.118	498065.322	.000
con	.013	1	.013	.415	.521
day	162.085	18	9.005	296.130	.000
con * day	.586	18	.033	1.071	.397
Error	2.311	76	.030		
Total	15310.112	114			
Corrected Total	164.995	113			

ตารางที่ 16 ค่าการวิเคราะห์สถิติ ระยะเวลาการเก็บรักษาต่อปริมาณไลโคปีนของมะเขือเทศราชินีผง
ในสภาวะ ที่โดนแสงเปรียบเทียบกับสภาวะที่ไม่โดนแสงที่ระยะเวลา 0 - 122 วัน

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
--------	----------------	----	-------------	---	------

Corrected Model	2.072 ^a	37	.056	16.338	.000
Intercept	24.021	1	24.021	7009.032	.000
con	.012	1	.012	3.385	.070
day	1.995	18	.111	32.342	.000
con * day	.065	18	.004	1.053	.415
Error	.260	76	.003		
Total	26.354	114			
Corrected Total	2.332	113			

ตารางที่ 17 ค่าการวิเคราะห์สถิติ ระยะเวลาการเก็บรักษาต่อดัชนีการเกิดสีน้ำตาล ของมะเขือเทศราชินีผงในสภาวะ ที่โดนแสงเปรียบเทียบกับสภาวะที่ไม่โดนแสงที่ระยะเวลา 0 - 122 วัน

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1.598 ^a	37	.043	21.155	.000
Intercept	30.447	1	30.447	14916.393	.000
conditions	3.544E-6	1	3.544E-6	.002	.967
day	1.497	18	.083	40.753	.000
con * day	.100	18	.006	2.732	.001
Error	.155	76	.002		
Total	32.199	114			
Corrected Total	1.753	113			

รายการอ้างอิง

- Abar, L., Vieira, A. R., Aune, D., Stevens, C., Vingeliene, S., Navarro Rosenblatt, D. A., . . . Norat, T. (2016). Blood concentrations of carotenoids and retinol and lung cancer risk: an update of the WCRF–AICR systematic review of published prospective studies. *Cancer Medicine*, 5(8), 2069-2083.
- Ali, M. Y., Sina, A. A., Khandker, S. S., Neesa, L., Tanvir, E. M., Kabir, A., . . . Gan, S. H. (2021). Nutritional composition and bioactive compounds in tomatoes and their impact on human health and disease: A Review. *Foods*, 10(1). doi:10.3390/foods10010045
- Alkanan, Z. T., Al-Hilphy, A. R. S., Altemimi, A. B., Mandal, R., & Pratap-Singh, A. (2021). Comparison of quality characteristics of tomato paste produced under ohmic-vacuum combination heating and conventional heating. *Applied Food Research*, 1(2), 100014. doi:<https://doi.org/10.1016/j.afres.2021.100014>
- Anguelova, T., & Warthesen, J. (2000). Lycopene Stability in Tomato Powders. *Journal of Food Science*, 65(1), 67-70. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb15957.x>
- AOAC, A. o. o. a. c. (1999). Association of official analytical chemists. *Official methods of analysis*, 2(44), 22-23.
- Ax, K., Mayer-Miebach, E., Link, B., Schuchmann, H., & Schubert, H. (2003). Stability of lycopene in oil-in-water emulsions. *Engineering in Life Sciences*, 3(4), 199-201. doi:<https://doi.org/10.1002/elsc.200390028>
- Baloch, A. K., Buckle, K. A., & Edwards, R. A. (1973). Measurement of non-enzymic browning of dehydrated carrot. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 24(4), 389-398. doi:<https://doi.org/10.1002/jsfa.2740240406>
- Barba, A. I. O., Hurtado, M. C., Mata, M. C. S., Ruiz, V. F., & Tejada, M. L. S. d. (2006). Application of a UV-vis detection-HPLC method for a rapid determination of lycopene and β -carotene in vegetables. *Food Chemistry*, 95(2), 328-336. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.02.028>
- Başaran, N., Bacanlı, M., & Ahmet Başaran, A. (2017). Chapter 28 - Lycopenes as antioxidants in gastrointestinal diseases. In J. gracia-sancho & J. Salvadó (Eds.),

Gastrointestinal Tissue (pp. 355-362): Academic Press.

- Bhat, N. A., Wani, I. A., & Hamdani, A. M. (2020). Tomato powder and crude lycopene as a source of natural antioxidants in whole wheat flour cookies. *Heliyon*, 6(1), e03042. doi:<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e03042>
- Black, H. S., Boehm, F., Edge, R., & Truscott, T. G. (2020). The benefits and risks of certain dietary carotenoids that exhibit both anti- and pro-oxidative mechanisms-a comprehensive review. *Antioxidants (Basel)*, 9(3). doi:10.3390/antiox9030264
- Blasco, L., Vinas, M., & Villa, T. (2011). Proteins influencing foam formation in wine and beer: The role of yeast. *International microbiology : the official journal of the Spanish Society for Microbiology*, 14, 61-71. doi:10.2436/20.1501.01.136
- Bohn, T. (2019). Carotenoids and markers of oxidative stress in human observational studies and intervention trials: Implications for chronic diseases. *Antioxidants*, 8(6), 179. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2076-3921/8/6/179>
- Caparino, O. A., Tang, J., Nindo, C. I., Sablani, S. S., Powers, J. R., & Fellman, J. K. (2012). Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine 'Carabao' var.) powder. *Journal of Food Engineering*, 111(1), 135-148. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.01.010>
- de Cól, C. D., Tischer, B., Hickmann Flóres, S., & Rech, R. (2021). Foam-mat drying of bacaba (*Oenocarpus bacaba*): Process characterization, physicochemical properties, and antioxidant activity. *Food and Bioproducts Processing*, 126, 23-31. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.12.004>
- Demiray, E., Tulek, Y., & Yilmaz, Y. (2013). Degradation kinetics of lycopene, β - carotene and ascorbic acid in tomatoes during hot air drying. *LWT - Food Science and Technology*, 50(1), 172-176. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.06.001>
- Doymaz, İ. (2014). Drying kinetics and rehydration characteristics of convective hot-air dried white button mushroom slices. *Journal of Chemistry*, 2014, 453175. doi:10.1155/2014/453175
- Eyiler, E., & Oztan, A. (2011). Production of frankfurters with tomato powder as a natural additive. *LWT - Food Science and Technology*, 44(1), 307-311.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.07.004>

Falade, K. O., & Adeniyi, O. G. (2021). Instant soups from cowpea varieties using foam-mat drying. *LWT*, *151*, 112191. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112191>

Farooq, S., A. Rather, S., Gull, A., Ahmad Ganai, S., Masoodi, F. A., Mohd Wani, S., & Ganaie, T. A. (2020). Physicochemical and nutraceutical properties of tomato powder as affected by pretreatments, drying methods, and storage period. *International Journal of Food Properties*, *23*(1), 797-808.

doi:10.1080/10942912.2020.1758716

Gao, R., Xue, L., Zhang, Y., Liu, Y., Shen, L., & Zheng, X. (2022). Production of blueberry pulp powder by microwave-assisted foam-mat drying: Effects of formulations of foaming agents on drying characteristics and physicochemical properties. *LWT*, *154*, 112811. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112811>

Goula, A. M., & Adamopoulos, K. G. (2005). Stability of lycopene during spray drying of tomato pulp. *LWT - Food Science and Technology*, *38*(5), 479-487.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.07.020>

Goula, A. M., Adamopoulos, K. G., Chatzitakis, P. C., & Nikas, V. A. (2006). Prediction of lycopene degradation during a drying process of tomato pulp. *Journal of Food Engineering*, *74*(1), 37-46. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.02.023>

Hardy, Z., & Jideani, V. (2017). Critical reviews in food science and nutrition foam-mat drying technology: a review foam-mat drying technology: a review.

doi:10.1080/10408398.2015.102035

Idris, Y. M. A., Ibrahim, Y. A., & Mariod, A. A. (2013). Color of dehydrated tomato: effects of gum arabic. *International Journal of Food Properties*, *16*(4), 838-851.

doi:10.1080/10942912.2011.565535

Ilahy, R., Hdider, C., Lenucci, M. S., Tlili, I., & Dalessandro, G. (2011). Antioxidant activity and bioactive compound changes during fruit ripening of high-lycopene tomato cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis*, *24*(4), 588-595.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2010.11.003>

Imran, M., Ghorat, F., Ul-Haq, I., Ur-Rehman, H., Aslam, F., Heydari, M., . . . Rebezov, M. (2020). Lycopene as a natural antioxidant used to prevent human health disorders. *Antioxidants (Basel)*, *9*(8). doi:10.3390/antiox9080706

- Islam, M. S., Mohanta, H. C., Ismail, M. R., Rafii, M. Y., & Malek, M. A. (2013). Genetic variability and trait relationship in cherry tomato (*Solanum lycopersicum* L. var. *cerasiforme* (Dunal) A. Gray). *Bangladesh Journal of Botany*, 41(2), 163-167. doi:10.3329/bjb.v41i2.13443
- Johnson, J., & Clydesdale, F. M. (1982). Perceived sweetness and redness in colored sucrose solutions. *Journal of Food Science*, 47(3), 747-752. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1982.tb12706.x>
- Kadam, D. M., & Balasubramanian, S. (2011). Foam mat drying of tomato juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 35(4), 488-495. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2010.00492.x>
- Kadam, D. M., Rai, D. R., Patil, R. T., Wilson, R. A., Kaur, S., & Kumar, R. (2011). Quality of fresh and stored foam mat dried mandarin powder. *International Journal of Food Science & Technology*, 46(4), 793-799. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02559.x>
- Kadam, D. M., Wilson, R. A., Kaur, S., & Manisha. (2012). Influence of foam mat drying on quality of tomato powder. *International Journal of Food Properties*, 15(1), 211-220. doi:10.1080/10942911003763701
- Kandasamy, P., Varadaraju, N., Kalemullah, S., & Maladhi, D. (2014). Optimization of process parameters for foam-mat drying of papaya pulp. *Journal of Food Science and Technology*, 51(10), 2526-2534. doi:10.1007/s13197-012-0812-y
- Kaur, R., Kaur, K., & Ahluwalia, P. (2020). Effect of drying temperatures and storage on chemical and bioactive attributes of dried tomato and sweet pepper. *LWT*, 117, 108604. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108604>
- Kmiecik, K., & Dziembowska, I. (2018). The influence of selected active substances on the functioning of the visual system.
- Kumar, P. S., Keran, D. A., Pushpavalli, S., Shiva, K. N., & Uma, S. (2022). Effect of cellulose and gum derivatives on physicochemical, microstructural and prebiotic properties of foam-mat dried red banana powder. *International Journal of Biological Macromolecules*, 218, 44-56. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.07.071>
- Lahoz, I., Leiva-Brondo, M., Martí, R., Macua, J. I., Campillo, C., Roselló, S., & Cebolla-

- Cornejo, J. (2016). Influence of high lycopene varieties and organic farming on the production and quality of processing tomato. *Scientia Horticulturae*, 204, 128-137. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.03.042>
- Lee, M. T., & Chen, B. H. (2002). Stability of lycopene during heating and illumination in a model system. *Food Chemistry*, 78(4), 425-432. doi:[https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00146-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00146-2)
- Lefranc, F., Tabanca, N., & Kiss, R. (2017). Assessing the anticancer effects associated with food products and/or nutraceuticals using in vitro and in vivo preclinical development-related pharmacological tests. *Seminars in Cancer Biology*, 46, 14-32. doi:<https://doi.org/10.1016/j.semcancer.2017.06.004>
- Li, H., Zhang, J., Wang, Y., Li, J., Yang, Y., & Liu, X. (2018). The effects of storage conditions on lycopene content and color of tomato hot pot sauce. *International Journal of Analytical Chemistry*, 2018, 1273907. doi:10.1155/2018/1273907
- Liang, X., Ma, C., Yan, X., Liu, X., & Liu, F. (2019). Advances in research on bioactivity, metabolism, stability and delivery systems of lycopene. *Trends in Food Science & Technology*, 93, 185-196. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.08.019>
- Liu, F., Cao, X., Wang, H., & Liao, X. (2010). Changes of tomato powder qualities during storage. *Powder Technology*, 204(1), 159-166. doi:<https://doi.org/10.1016/j.powtec.2010.08.002>
- Mayeaux, M., Xu, Z., King, J. M., & Prinyawiwatkul, W. (2006). Effects of cooking conditions on the lycopene content in tomatoes. *Journal of Food Science*, 71(8), C461-C464. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00163.x>
- Mühlbauer, W., & Müller, J. (2020). Chapter 6.3 - Tomato (*Solanum lycopersicum* L.). In W. Mühlbauer & J. Müller (Eds.), *Drying Atlas* (pp. 195-205): Woodhead Publishing.
- Mulyadi, A., Kumalaningsih, S., & Aswari, A. (2012). Process engineering of drying milk powder with foam mat drying method, a study of the effect of the concentration and types of filler. *Journal of Basic and Applied Research International*, 2, 3588-3592.
- Ozcelik, M., Ambros, S., Morais, S. I. F., & Kulozik, U. (2020). Storage stability of dried

- raspberry foam as a snack product: Effect of foam structure and microwave-assisted freeze drying on the stability of plant bioactives and ascorbic acid. *Journal of Food Engineering*, 270, 109779.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109779>
- Qadri, O. S., Osama, K., & Srivastava, A. K. (2020). Foam mat drying of papaya using microwaves: Machine learning modeling. *Journal of Food Process Engineering*, 43(6), e13394. doi:<https://doi.org/10.1111/jfpe.13394>
- Ramadhany, P., Pramana, A. F., Febiola, A., & Handoko, T. (2021a). The Influence of glycerol monostearate concentration and storage condition on tomato powder's contents using foam mat drying method. *Reaktor Chemical Engineering Journal*, 10. doi:10.14710/reaktor.21.1.1-10
- Ramadhany, P., Pramana, A. F., Febiola, A., & Handoko, T. (2021b). The influence of glycerol monostearate concentration and storage condition on tomato powder's contents using foam mat drying method. *Reaktor Chemical Engineering Journal*, 10. doi:10.14710/reaktor.21.1.1-10
- Ranveer, R. C., Patil, S. N., & Sahoo, A. K. (2013). Effect of different parameters on enzyme-assisted extraction of lycopene from tomato processing waste. *Food and Bioproducts Processing*, 91(4), 370-375.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.fbp.2013.01.006>
- Sabarez, H. (2021). 3.04 - Advanced drying technologies of relevance in the food Industry. In K. Knoerzer & K. Muthukumarappan (Eds.), *Innovative Food Processing Technologies* (pp. 64-81). Oxford: Elsevier.
- Sangamithra, A., Venkatachalam, S., John, S. G., & Kuppaswamy, K. (2015). Foam mat drying of food materials: a review. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 3165-3174. doi:<https://doi.org/10.1111/jfpp.12421>
- Sarker, M. S. K., Hannan, M. A., Quamruzzaman, Ali, M. A., & Khatun, H. (2014). Storage of tomato powder in different packaging materials. *International Journal of Agricultural Technology*, 10, 595-605.
- Shah, N., Wong, T., Deak, N., Staerk, D., & Kerr, P. (2012). 14 - Use of biotechnology to enhance soy protein ingredients. In R. F. Wilson (Ed.), *Designing Soybeans for 21st Century Markets* (pp. 255-275): AOCS Press.

- Sharma, S. K., & Le Maguer, M. (1996). Kinetics of lycopene degradation in tomato pulp solids under different processing and storage conditions. *Food Research International*, 29(3), 309-315. doi:[https://doi.org/10.1016/0963-9969\(96\)00029-4](https://doi.org/10.1016/0963-9969(96)00029-4)
- Shi, J., Dai, Y., Kakuda, Y., Mittal, G., & Xue, S. J. (2008). Effect of heating and exposure to light on the stability of lycopene in tomato purée. *Food Control*, 19(5), 514-520. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2007.06.002>
- Shishir, M. R. I., Taip, F. S., Saifullah, M., Aziz, N. A., & Talib, R. A. (2017). Effect of packaging materials and storage temperature on the retention of physicochemical properties of vacuum packed pink guava powder. *Food Packaging and Shelf Life*, 12, 83-90. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2017.04.003>
- Song, X., Luo, Y., Ma, L., Hu, X., Simal-Gandara, J., Wang, L.-S., . . . Chen, F. (2021). Recent trends and advances in the epidemiology, synergism, and delivery system of lycopene as an anti-cancer agent. *Seminars in Cancer Biology*, 73, 331-346. doi:<https://doi.org/10.1016/j.semcancer.2021.03.028>
- Souza, A. L. R., Hidalgo-Chavez, D. W., Pontes, S. M., Gomes, F. S., Cabral, L. M. C., & Tonon, R. V. (2018). Microencapsulation by spray drying of a lycopene-rich tomato concentrate: Characterization and stability. *LWT*, 91, 286-292. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.053>
- Srivastava, S., & Kulshrestha, K. (2013). Nutritional content and significance of tomato powder. *Annals of Arid Zone* 52(2): 121-124, 2013, 52, 121-124.
- Srivastava, S., & Srivastava, A. K. (2015). Lycopene; chemistry, biosynthesis, metabolism and degradation under various abiotic parameters. *Journal of Food Science and Technology*, 52(1), 41-53. doi:10.1007/s13197-012-0918-2
- Suet Li, T., Sulaiman, R., Rukayadi, Y., & Ramli, S. (2021). Effect of gum Arabic concentrations on foam properties, drying kinetics and physicochemical properties of foam mat drying of cantaloupe. *Food Hydrocolloids*, 116, 106492. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106492>
- Tan, S., Ke, Z., Chai, D., Miao, Y., Luo, K., & Li, W. (2021). Lycopene, polyphenols and antioxidant activities of three characteristic tomato cultivars subjected to two drying methods. *Food Chem*, 338, 128062. doi:10.1016/j.foodchem.2020.128062
- Thuwapanichayanan, R., Prachayawarakorn, S., & Soponronnarit, S. (2012). Effects of

foaming agents and foam density on drying characteristics and textural property of banana foams. *LWT*, 47(2), 348-357.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.01.030>

Udendi, J., Loughman, J., Loskutova, E., & Byrne, H. J. (2022). Raman spectroscopy of carotenoid compounds for clinical applications—a review. *Molecules*, 27(24), 9017. Retrieved from <https://www.mdpi.com/1420-3049/27/24/9017>

University of Rochester Medical Center Rochester. (2023) Encyclopedia. nutrition facts. cherry tomatoes. เข้าถึงเมื่อ 20 ตุลาคม. เข้าถึงได้จาก <https://shorturl.at/joAXY>

Valenzuela, C., & Aguilera, J. M. (2013). Aerated apple leathers: effect of microstructure on drying and mechanical properties. *Drying Technology*, 31(16), 1951-1959. doi:10.1080/07373937.2013.803979

Wood, L. G., Garg, M. L., Powell, H., & Gibson, P. G. (2008). Lycopene-rich treatments modify noneosinophilic airway inflammation in asthma: proof of concept. *Free radical research*, 42(1), 94-102.

Xu, S., Pegg, R. B., & Kerr, W. L. (2016). Physical and chemical properties of vacuum belt dried tomato powders. *Food and Bioprocess Technology*, 9(1), 91-100. doi:10.1007/s11947-015-1608-7

Yaping, Z., Suping, Q., Wenli, Y., Zheng, X., Hong, S., Side, Y., & Dapu, W. (2002). Antioxidant activity of lycopene extracted from tomato paste towards trichloromethyl peroxy radical. *Food Chemistry*, 77(2), 209-212. doi:[https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(01\)00339-9](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00339-9)

กานดาวิ, โ., และ จิรภา, พ. (2556). ผลของสายพันธุ์มะเขือเทศและวิธีการสกัดไลโคปีนต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของมะเขือเทศผง. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. ปีที่ 36 ฉบับที่ 4 ตุลาคม - ธันวาคม 2556, 4.

นิรมล, ธ., จิราพร, จ., และ ปองรุ่ง, จ. (2558). การศึกษาผลของสารสกัดมะเขือเทศราชินีต่อความสามารถในการรักษาโรคความจำเสื่อม. คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา.

วัฒน์ศักดิ์ มาจำปา. (2549). การวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศด้วยเทคนิคไฮเพอร์ฟอร์แมนซ์ ลิกวิดโครมาโตกราฟี. บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระเจ้าเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระเจ้าเกล้าพระนครเหนือ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2565). มะเขือเทศ. ข้อมูลเศรษฐกิจเกษตร. เข้าถึงเมื่อ 20 มิถุนายน.

เข้าถึงได้จาก <https://shorturl.at/oDEIU>





ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางศิริพันธ์ แสงมณี
วุฒิการศึกษา	ปี 2546 สำเร็จการศึกษา วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่
ผลงานตีพิมพ์	ศิริพันธ์ แสงมณี, นิโบล โกมลสิงห์ และ บุศราภรณ์ มหาโยธี. 2565. ผลของสภาวะการเก็บรักษาต่อคุณภาพด้านสีและปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศผงที่ผลิตด้วยการทำแห้งแบบโฟมแมต. การประชุมวิชาการระดับชาติครั้งที่ 19 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน วันที่ 8 - 9 ธันวาคม 2565

