



อิทธิพลการทำแห้งโดยใช้เทคนิคโฟมแม่ตอคุณสมบัติมะเขือเทศผง



โดย
นางสาวกมลวัลย์ แดงมาดี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร









อิทธิพลการทำแห้งโดยใช้เทคนิคโฟมแม่ทต่อคุณสมบัติมะเขือเทศผง



โดย
นางสาวกมลวัลย์ แดงมาดี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

INFLUENCE OF FOAM MAT DRYING ON QUALITY OF TOMATO POWDER.



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for Master of Science (FOOD TECHNOLOGY)
Department of FOOD TECHNOLOGY
Graduate School, Silpakorn University
Academic Year 2022
Copyright of Silpakorn University

หัวข้อ อธิปถการทําแห่งโดยใช้เทคนิคโพมแมทต่อคุณสมบัตินะเชื้อเทศ
พง
โดย นางสาวกมลวัลย์ แดงมาดี
สาขาวิชา เทคโนโลยีอาหาร แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุศรากรณ์ มหาโยธี

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

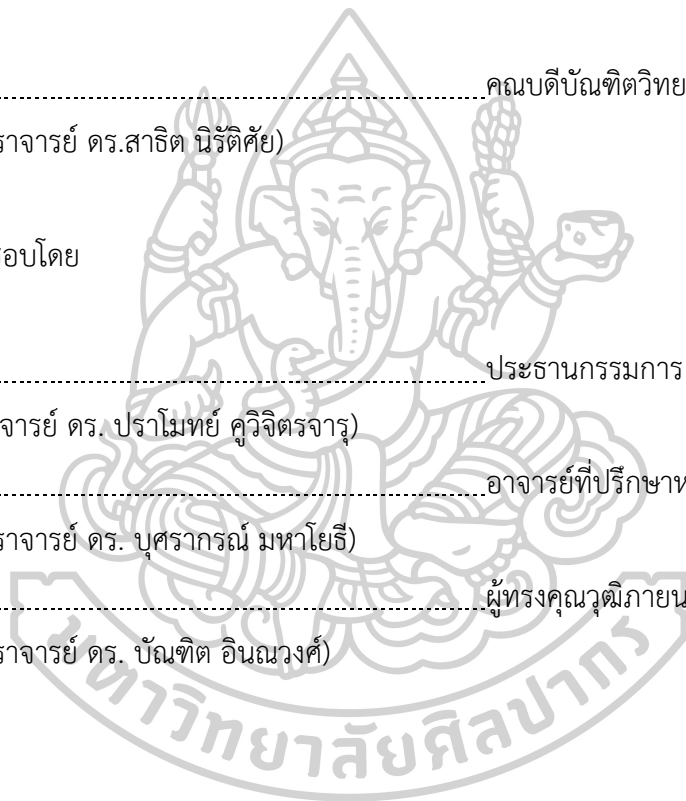
.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย (ผู้รักษาการแทน)
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาธิต นีรัตน์ชัย)

พิจารณาเห็นชอบโดย

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ คูวิจิตรจางู)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุศรากรณ์ มหาโยธี)

.....ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต อินนวงศ์)



61403202 : เทคโนโลยีอาหาร แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโทบัณฑิต

คำสำคัญ : เทคนิคการทำแห้งแบบโม่แม่ท, มะเขือเทศ, ไลโคปีน

นางสาว กมลวัลย์ แดงมาตี: อิทธิพลการทำแห้งโดยใช้เทคนิคโม่แม่ทต่อคุณสมบัติมะเขือเทศผง อาจารย์ที่
ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุศราภรณ์ มหาโยธี

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการผลิตมะเขือเทศผงด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบโม่แม่ทรวมกับการใช้ตู้อบแห้งลมร้อนแบบภาคโดยใช้สารก่อให้เกิดโม่ที่ชนิดและความเข้มข้นของสารที่ก่อให้เกิดโม่แตกต่างกัน 4 ชนิด 2 ระดับความเข้มข้น โดยชนิดของสารที่ก่อให้เกิดโม่ที่ศึกษา ได้แก่ โปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลท (Soy protein isolate, SPI) โปรตีนข้าว (Rice protein, RP) โปรตีนถั่วลันเตา (Pea protein, PP) และกลีเซอริลโมโนสเตียเรท (Glycerol Monostearate, GMS) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 5 และที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 10 ร่วมกับสารให้ความคงตัวคือ แขนแทนกัม (Xanthan gum, XG) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 (ต่อปริมาณเนื้อมะเขือเทศ) โดยมะเขือเทศสดมีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้เท่ากับ 7.30 ± 0.21 ดีโม่เนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียดที่ใช้ความเร็วสูงสุด 13,200 รอบต่อนาที ศึกษาการขยายตัวของโม่ ความคงตัวของโม่ และความหนาแน่นของโม่ พบว่าที่ SPI และ PP ที่ระดับความเข้มข้น 10% ให้ค่าการขยายของโม่มะเขือเทศที่สูงกว่าชนิดอื่นๆ มีค่า 127.17 ± 2.48 และ $152.12 \pm 1.22\%$ ตามลำดับ และให้ค่าความหนาแน่นของโม่ที่ 0.31 ± 0.02 และ 0.30 ± 0.01 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ และให้ความคงตัวมากถึง 97% เมื่อศึกษาจลนพลศาสตร์การทำแห้งของโม่มะเขือเทศที่ใช้ตู้อบแห้งลมร้อนแบบภาคที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส พบว่าโม่มะเขือเทศที่เตรียมโดยใช้ SPI และ PP ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 มีเวลาในการทำแห้งที่เร็วกว่าการใช้ RP และ GMS โดยใช้เวลา 510 นาที และพบว่าสมการ Page มีความเหมาะสมที่สุดในการอธิบายการทำแห้งโม่มะเขือเทศ นอกจากนี้โม่มะเขือเทศที่ใช้ SPI และ PP ที่ระดับความเข้มข้น 10% พบว่ามีค่า L^* ที่สูง 64.30 และ 63.04 ตามลำดับ และมีปริมาณไลโคปีนมากกว่าการใช้ RP และ GMS มีค่า 64.30 และ 63.04 mg/g dry basis จากการทดลองครั้งนี้พบว่าอิทธิพลของชนิดและความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโม่ ส่งผลให้สีของมะเขือเทศผงมีสีที่สว่างขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโม่เพิ่มขึ้น และยังพบว่าปริมาณไลโคปีนและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมีปริมาณเพิ่มขึ้นอีกด้วย ดังนั้นจากการทำการทดลองครั้งนี้พบว่าการใช้ SPI และ PP เป็นสารก่อให้เกิดโม่เป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตมะเขือเทศผงด้วยตู้อบแห้งลมร้อนแบบภาคที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

61403202 : Major (FOOD TECHNOLOGY)

Keyword : Foam-mat drying, Tomato, Lycopene

MISS KAMONWAN DANGMADEE : INFLUENCE OF FOAM MAT DRYING ON QUALITY OF TOMATO POWDER. THESIS ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR BUSARAKORN MAHAYOTHEE

The objective of this study was to evaluate the feasibility to produce tomato powder using various foam-mat together with hot air drying, Four foaming agents at 2 concentrations were used. The type of foaming agents were soy protein isolate (SPI), rice protein (RP), pea protein (PP), and glyceryl monostearate (GMS) at 5% and 10% concentration, at xanthan gum was applied as foam stabilizer at a concentration of 1% (of fresh tomato puree). Tomato puree was prepared from fresh fruits with total soluble solid (TSS) of $7.30 \pm 0.21^\circ\text{Brix}$ using a hand mixer for 5 min at 13,200 rpm. It was found that SPI and PP at 10% concentration resulted in good foaming performances with 127.17 ± 2.48 and 152.12 ± 1.22 % foam expansion, respectively, and more than 97% foam stability were found, The foam densities were 0.31 ± 0.02 and 0.30 ± 0.01 g/cm³ for SPI and PP. For this study, the drying time for a sample of SPI and PP at a 10 % concentration were the shortest at 510 minute. The Page equation were suitable to describe the drying of the foam tomatoes. The samples of SPI and PP at 10 % showed higher L* values of 64.30 and 63.04, respectively, and higher lycopene content than those of RP and GMS. Therefore SPI and PP at concentrations of 5 and 10% are recommended of Lycopene content and antioxidant capacity of tomato powders form using SPI and PP higher than those of RP and GMS



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเนื่องด้วยความกรุณาจาก ผศ.ดร.บุศราภรณ์ มหาโยธี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษา กรอบความคิดและแนวทางในการทำวิจัย ตลอดจนการตรวจสอบเล่มวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ไปได้ด้วยดี

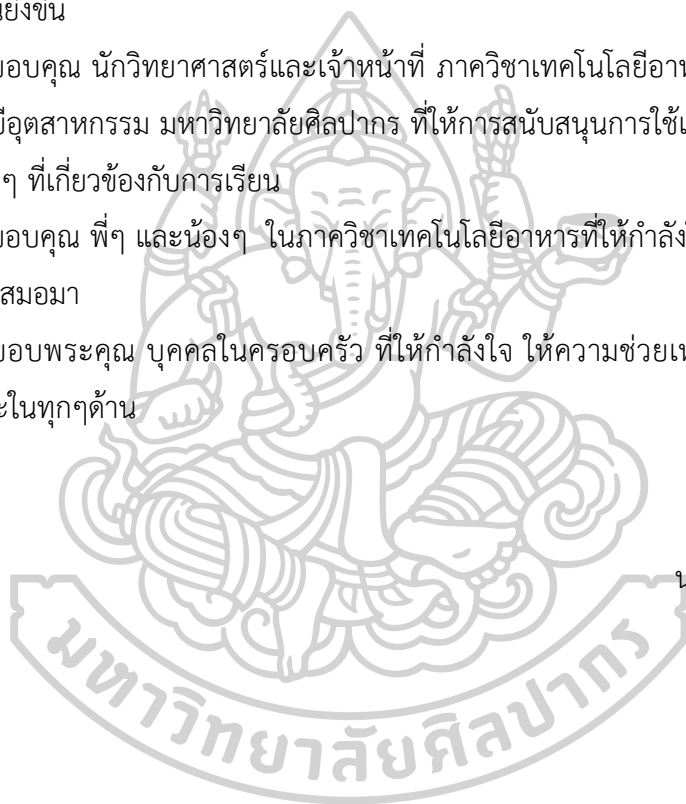
ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ คุวิจิตรจากรู และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต อินณวงศ์ เป็นอย่างสูงที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษา ตลอดจนการตรวจสอบเล่มวิทยานิพนธ์เพื่อให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ นักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ให้การสนับสนุนการใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ และงานธุรการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเรียน

ขอขอบคุณ พี่ๆ และน้องๆ ในภาควิชาเทคโนโลยีอาหารที่ทำให้กำลังใจ ให้ความช่วยเหลือ และการสนับสนุนเสมอมา

ขอขอบพระคุณ บุคคลในครอบครัว ที่ให้กำลังใจ ให้ความช่วยเหลือ การสนับสนุนในด้านการศึกษา และในทุกๆด้าน

นางสาว กมลวัลย์ แดงมาดี



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1	1
บทนำ.....	1
1.1. ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3. สมมติฐานของงานวิจัย.....	3
1.4. ขอบเขตของการศึกษา.....	4
บทที่ 2	6
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1. มะเขือเทศราชินี.....	6
2.2. สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ.....	7
2.2.1. ไลโคปีน.....	7
2.3. เทคนิคการทำแห้งแบบโฟมแมท.....	9
2.4. อิทธิพลของสารก่อให้เกิดโฟมและสารที่ทำให้โฟมคงตัวต่อคุณภาพของโฟมและผลิตภัณฑ์ผง.....	12
2.5. จลนพลศาสตร์การทำแห้ง (Drying kinetic).....	13

2.6. อิทธิพลของการทำแห้งของโคมต่อสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ.....	15
บทที่ 3	17
วิธีการดำเนินงานวิจัย	17
3.1. วัตถุประสงค์.....	17
3.1.1. วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการวิจัย	17
3.1.2. สารเคมี.....	19
3.1.3. เครื่องมือและอุปกรณ์	20
3.2. วิธีการทดลอง.....	21
3.2.1. การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของมะเขือเทศราชินีสด.....	21
3.2.2. การเตรียมเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียดแช่แข็ง	27
3.2.3. การเตรียมโคมมะเขือเทศ	28
3.2.4. การศึกษาอิทธิพลของชนิดและความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโคมต่อคุณสมบัติของโคม มะเขือเทศ.....	29
3.2.5. การศึกษาอิทธิพลของชนิดและความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโคมต่อจลนพลศาสตร์ การทำแห้งโคมมะเขือเทศด้วยตู้อบแห้งลมร้อนแบบถาด.....	30
3.2.6. การศึกษาอิทธิพลของชนิดและความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโคมต่อคุณลักษณะทาง กายภาพ และเคมีของมะเขือเทศผง	31
3.2.6. การวิเคราะห์ทางสถิติ	34
บทที่ 4	35
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	35
4.1. คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของมะเขือเทศราชินี	35
4.1.1. คุณสมบัติทางกายภาพ	35
4.1.2. คุณสมบัติทางเคมี	36
4.2. ผลการศึกษาอิทธิพลของชนิดและความเข้มข้นของสารที่ก่อให้เกิดโคมต่อคุณสมบัติของโคม มะเขือเทศ	37

4.3. ผลการศึกษาอิทธิพลของชนิดและความเข้มข้นของสารที่ก่อให้เกิดโฟมต่อจลนพลศาสตร์การ ทำแห้งของโฟมมะเขือเทศด้วยตู้อบแห้งลมร้อนแบบถาด.....	44
4.4. การศึกษาอิทธิพลของชนิด และความเข้มข้นของสารที่ก่อให้เกิดโฟมต่อคุณลักษณะทาง กายภาพและเคมีของมะเขือเทศผง	48
4.4.1. ผลการศึกษาลักษณะปรากฏ และค่าสีของมะเขือเทศผง.....	48
4.4.2. ผลการศึกษาดัชนีการละลายของมะเขือเทศผง	51
4.4.3. ผลการศึกษาปริมาณความชื้น และค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของมะเขือเทศผง	52
4.4.4. ผลของชนิดและความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟมต่อสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของ มะเขือเทศผง.....	53
สรุปผลการทดลอง.....	54
รายการอ้างอิง	55
ภาคผนวก.....	60
ประวัติผู้เขียน.....	86



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการใช้เทคนิคการทำแห้งแบบโคมเมท	3
ตารางที่ 2 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่พบในมะเขือเทศสด 100 กรัม	6
ตารางที่ 3 ปริมาณไลโคปีนในผักและผลไม้	7
ตารางที่ 4 ปริมาณไลโคปีนจากผลิตภัณฑ์ของมะเขือเทศ	9
ตารางที่ 5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งแบบชั้นบาง.....	14
ตารางที่ 6 ข้อมูลมะเขือเทศราชินีสดที่ใช้ในการทดลอง	18
ตารางที่ 7 ชนิดและความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโคมที่ใช้ในการทดลอง	29
ตารางที่ 8 คุณสมบัติทางกายภาพของมะเขือเทศราชินี	35
ตารางที่ 9 คุณสมบัติทางเคมีของเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียด.....	36
ตารางที่ 10 มะเขือเทศราชินีที่ระยะเวลาในการตีโคมต่างๆ ที่การใช้สารก่อให้เกิดโคม 4 ชนิด ที่ต่างกันที่ระดับความเข้มข้น 5%	40
ตารางที่ 11 มะเขือเทศราชินีที่ระยะเวลาในการตีโคมต่างๆ ที่การใช้สารก่อให้เกิดโคม 4 ชนิด ที่ต่างกันที่ระดับความเข้มข้น 10%	41
ตารางที่ 12 ผลของชนิดและความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโคมต่อคุณภาพโคมมะเขือเทศราชินี	41
ตารางที่ 13 ผลของชนิดและความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโคมต่อค่าสีและปริมาณความชื้นของโคมมะเขือเทศ.....	43
ตารางที่ 14 ค่าทางสถิติที่ได้จากการสร้างสมการการทำแห้งโคมมะเขือเทศด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	45
ตารางที่ 15 ผลของชนิดและความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโคมต่อค่าสีของมะเขือเทศผง	50
ตารางที่ 16 ดัชนีการละลาย และ % Yield ของมะเขือเทศผง.....	51
ตารางที่ 17 ค่าปริมาณความชื้น (Moisture content) และค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w).....	52
ตารางที่ 18 ปริมาณไลโคปีน และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH-assay	55

ตารางที่ 19 ปริมาณสารมาตรฐานโทรลอกซ์ (มิลลิลิตร) ที่ใช้ในกราฟมาตรฐาน 79



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 โครงสร้างของไลโคปีนในรูปแบบของ trans-configuration และ cis-isomer	8
ภาพที่ 2 กระบวนการทำแห้งด้วยเทคนิคโฟมแมท (Foam-mat drying).....	10
ภาพที่ 3 โครงสร้างของโฟม (Foam bubbles)	10
ภาพที่ 4 กระบวนการดูดซับ (adsorption) ที่ผิวหน้าระหว่างอากาศกับน้ำของโปรตีน	11
ภาพที่ 5 ลักษณะของมะเขือเทศราชินีที่ใช้ในการทดลอง	17
ภาพที่ 6 การเตรียมเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียด	22
ภาพที่ 7 การวัดขนาดของผลมะเขือเทศสด	22
ภาพที่ 8 การวิเคราะห์ค่าสีของเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียด	23
ภาพที่ 9 การวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้	24
ภาพที่ 10 ขั้นตอนการเตรียมเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียดสำหรับเตรียมตัวอย่างโฟมมะเขือเทศ	27
ภาพที่ 11 การเตรียมตัวอย่างโฟมมะเขือเทศที่เกิดจากการใช้สารก่อให้เกิดโฟมที่ชนิด และความเข้มข้นต่างกันเพื่อทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของโฟมมะเขือเทศ	28
ภาพที่ 12 ขั้นตอนการวิเคราะห์จลนพลศาสตร์การทำแห้งโฟมมะเขือเทศ.....	31
ภาพที่ 13 อิทธิพลของชนิดของสารก่อให้เกิดโฟมที่ระดับความเข้มข้น 5% และเวลาในการตีโฟมต่อคุณสมบัติโฟมมะเขือเทศราชินี (a) ความหนาแน่นของโฟมมะเขือเทศ และ (b) การขยายตัวของโฟมมะเขือเทศ.....	38
ภาพที่ 14 อิทธิพลของชนิดของสารก่อให้เกิดโฟมที่ระดับความเข้มข้น 10% และเวลาในการตีโฟมต่อคุณสมบัติโฟมมะเขือเทศราชินี (a) ความหนาแน่นของโฟมมะเขือเทศ และ (b) การขยายตัวของโฟมมะเขือเทศ	39
ภาพที่ 15 ลักษณะปรากฏของโฟมมะเขือเทศที่ชนิดและความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟมที่แตกต่างกัน.....	42

ภาพที่ 16 ตัวอย่างค่าอัตราส่วนความชื้นของโฟมมะเขือเทศที่ใช้ RP 5% กับระยะเวลาที่ใช้ในการทำ แห้งที่อุณหภูมิ 70°C ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและที่ได้จากสมการ Newton, Page และ Modified page.....	46
ภาพที่ 17 อัตราส่วนความชื้นของโฟมมะเขือเทศที่ทำแห้งด้วยตู้อบแห้งลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 70°C โดยการใช้สารที่ก่อให้เกิดโฟมได้แก่ SPI, RP, PP และ GMS ที่ความเข้มข้น 10%	47
ภาพที่ 18 ลักษณะปรากฏมะเขือเทศผงที่เตรียมได้จากวิธีการทำแห้งแบบโฟมแมทที่ใช้ชนิดและความ เข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟมต่างกันทำแห้งด้วยตู้อบแห้งลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 70 องศา เซลเซียส.....	49
ภาพที่ 19 ตัวอย่างโครมาโทแกรมของไลโคปีนที่วิเคราะห์ด้วยวิธี HPLC ที่ความยาวคลื่น 475 นาโน เมตร (a) สารมาตรฐานของไลโคปีนที่ความเข้มข้น 100 ppm (b) มะเขือเทศผงชุดควบคุม (c) มะเขือเทศผงที่เติม PP 10%	54
ภาพที่ 20 พฤติกรรมการทำแห้งของโฟมมะเขือเทศ (อัตราส่วนความชื้น % ฐานแห้ง) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส (a) พฤติกรรมการทำแห้งของโฟมมะเขือเทศด้วยสารก่อให้เกิดโฟมที่ 5% (b) พฤติกรรม การทำแห้งของโฟมมะเขือเทศด้วยสารก่อให้เกิดโฟมที่ 10%	64
ภาพที่ 21 พฤติกรรมการทำแห้งของเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียด	65
ภาพที่ 22 พฤติกรรมการทำแห้งของ (a) Soy protein Isolate 5% (b) Rice protein 5% (c) Pea protein 5% และ (d) Glyceryl monostearate 5%.....	66
ภาพที่ 23 พฤติกรรมการทำแห้งของ (a) Soy protein Isolate 10% (b) Rice protein 10% (c) Pea protein 10% และ (d) Glyceryl monostearate 10%	67
ภาพที่ 24 กราฟมาตรฐานสารละลายไลโคปีน.....	70
ภาพที่ 25 โครมาโทแกรมสารละลายมาตรฐานไลโคปีนที่ความเข้มข้น (a) 20 ppm (b) 40 ppm (c) 60 ppm (d) 80 ppm และ (e) 100 ppm.....	71
ภาพที่ 26 โครมาโทแกรมปริมาณไลโคปีนของ (a) เนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียด (ควบคุม) (b) ผงมะเขือ เทศ (ควบคุม).....	72
ภาพที่ 27 โครมาโทแกรมปริมาณไลโคปีนของโฟมมะเขือเทศที่สารก่อให้เกิดโฟมความเข้มข้น 5% (a) Soy protein Isolate (b) Rice protein (c) Pea protein และ (d) Glyceryl monostearate ...	73

ภาพที่ 28 โครมาโทแกรมปริมาณไลโคปีนของโพลีเมอร์ที่สารก่อให้เกิดโพลีเมอร์ความเข้มข้น 10% (a) Soy protein Isolate (b) Rice protein (c) Pea protein และ (d) Glyceryl monostearate	74
ภาพที่ 29 โครมาโทแกรมปริมาณไลโคปีนของมะเขือเทศผงที่สารก่อให้เกิดโพลีเมอร์ความเข้มข้น 5% (a) Soy protein Isolate (b) Rice protein (c) Pea protein และ (d) Glyceryl monostearate ...	75
ภาพที่ 30 โครมาโทแกรมปริมาณไลโคปีนของมะเขือเทศผงที่สารก่อให้เกิดโพลีเมอร์ความเข้มข้น 10% (a) Soy protein Isolate (b) Rice protein (c) Pea protein และ (d) Glyceryl monostearate ...	76
ภาพที่ 31 กราฟมาตรฐานโพลีฟีนอลที่ความเข้มข้นต่างๆในการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ (DPPH-assay) (a) ครั้งที่ 1 (b) ครั้งที่ 2 (c) ครั้งที่ 3 และ (d) ครั้งที่ 4	80
ภาพที่ 32 ความหนาแน่นของโพลีเมอร์ที่สกัดเป็นเวลา 0, 5, 10, 15 และ 20 นาที (a) ที่ระดับความเข้มข้น 5 และ (b) ที่ระดับความเข้มข้น 10	83
ภาพที่ 33 ความหนาแน่นของโพลีเมอร์ที่สกัดเป็นเวลา 0, 5, 10, 15 และ 20 นาที เทียบระหว่างระดับความเข้มข้นที่ 5% และ 10% (a) SPI (b) RP (c) PP และ (d) GMS	84
ภาพที่ 34 การขยายตัวของโพลีเมอร์ที่สกัดเป็นเวลา 5, 10, 15 และ 20 นาที (a) ที่ระดับความเข้มข้น 5 และ (b) ที่ระดับความเข้มข้น 10	85
ภาพที่ 35 การขยายตัวของโพลีเมอร์ที่สกัดเป็นเวลา 5, 10, 15 และ 20 นาที เทียบระหว่างระดับความเข้มข้นที่ 5% และ 10% (a) SPI (b) RP (c) PP และ (d) GMS	85

บทที่ 1

บทนำ

1.1. ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา

มะเขือเทศราชินี หรือเรียกว่ามะเขือเทศเชอร์รี่เมื่อผลสุกจะมีสีแดงทั้งผล รสชาติเปรี้ยวอมหวาน มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Solanum lycopersicum L. var. cerasiforme* เริ่มเก็บเกี่ยวได้เมื่อต้นมีอายุ 70-90 วัน ปัจจุบันประชากรส่วนใหญ่ในประเทศไทยประกอบอาชีพเกษตรกรรมมะเขือเทศเป็นพืชชนิดหนึ่งที่เกษตรกรนิยมปลูก โดยในปี 2563 พบว่ามีพื้นที่เพาะปลูกจำนวน 39,555 ไร่ มีผลผลิตมากถึง 132,650 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจและการเกษตร, 2562) ในเดือนสิงหาคม ปี 2563 พบว่ามีผู้ที่ประกอบอาชีพเกษตรกรรมมากถึง 12.13 ล้านคน (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2562) จากรายงานพบว่ามะเขือเทศมีสารต้านอนุมูลอิสระหลายชนิด เช่น แคโรทีนอยด์ กรดแอสคอร์บิก สารประกอบฟีนอลิก และ α -tocopherol ที่มีความสามารถช่วยป้องกันการเกิดโรคมะเร็ง และโรคหัวใจได้ (Raffo et al., 2002) ซึ่งไลโคปีนเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่พบมากในมะเขือเทศอยู่ในกลุ่มของแคโรทีนอยด์ โดยในมะเขือเทศมีไลโคปีนมากถึง 80% และยังทนต่อกระบวนการให้ความร้อนอีกด้วยยังเป็นการเพิ่มการดูดซึมของไลโคปีนอีกด้วย (Lenucci et al., 2006)

การทำแห้งเป็นวิธีที่เป็นที่นิยมอย่างมากในการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลทางการเกษตร หลักการทำแห้งเป็นการลดปริมาณน้ำในอาหารซึ่งน้ำเป็นองค์ประกอบที่พบมากในผักและผลไม้ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลให้เกิดการเสื่อมเสียจากปฏิกิริยาทางเคมี เช่น การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลและการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Iqbal, 2018) โดยปริมาณน้ำในอาหารที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสีย คือ น้ำที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ (Water activity: a_w) ดังนั้นผลิตภัณฑ์ของแห้งต้องมีค่าปริมาณน้ำอิสระไม่เกิน 0.6 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2558) จึงสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ การทำแห้งแบบลมร้อนด้วยตู้อบลมร้อนเป็นวิธีการที่นิยมมากในตลาดอุตสาหกรรม ดังนั้นจึงได้นำเทคนิคโฟมแม่ทมาประยุกต์ใช้กับตู้อบลมร้อน ซึ่งเทคนิคนี้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่ไวต่อความร้อน มีปริมาณน้ำตาลสูง หนืด เหนียว และผลิตภัณฑ์ที่ไม่สามารถใช้ spray dryer ได้ (Sangamithra et al., 2015)

หลักการของเทคนิคโฟมแม่ท คือ การทำให้เนื้อผักหรือผลไม้ปั่นละเอียดเกิดโฟมโดยการใช้สารก่อให้เกิดโฟม ได้แก่ สารจำพวกโปรตีน และ monoglycerides จากนั้นทำให้ระบบของโฟมเข้าสู่ระบบอิมัลชันระหว่างอากาศกับของเหลวโดยใช้สารให้ความคงตัว เช่น gum และ methylcellulose

เป็นต้น (Fernandes et al., 2013) ซึ่งจะทำให้โฟมคงตัวและไม่ยุบตัวระหว่างการอบแห้ง งานวิจัยที่ผ่านมาก็ศึกษาเกี่ยวกับการทำแห้งด้วยเทคนิคโฟมแมท แสดงในตารางที่ 1



ตารางที่ 1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้เทคนิคการทำแห้งแบบโพรหมเมท

ตัวอย่าง	Foaming agent/ Foam stabilizer	ผลการทดลอง	อ้างอิง
น้ำมะเขือเทศ	Carboxy methyl cellulose 0.00, 0.25, 0.50, 0.75 และ 1% โซ่ขาว 0.0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0% นมผง 0, 3, 5, 7 และ 9%	พบว่าความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟมแตกต่างกันไม่มีผลต่อปริมาณไลโคปีนซึ่งในผลิตภัณฑ์สุดท้ายซึ่งพบอยู่ที่ 24.08 - 27.52 กรัม/100กรัม	Kadam และคณะ (2012)
แคนตาลูป	โซ่ขาว 1, 2 และ 3% ร่วมกับ Xanthan gum 0.05, 0.12 และ 0.2% w/w	การเพิ่มความเข้มข้นของ Xanthan gum มีผลต่อทำให้ความหนาแน่นของโฟมเพิ่มขึ้นเนื่องจากความหนืดจะไปป้องกันการจับตัวของโปรตีนในระหว่างการทำโฟม	Salahi และคณะ (2015)
มะละกอ	Carboxy methyl cellulose (CMC) 1, 2 และ 3% Glyceryl monostearate (GMS) 1, 2 และ 3%	ตัวอย่างที่ใช้ CMC พบว่าการขยายตัวของโฟมอยู่ที่ 7.33 - 13.26% ซึ่งน้อยกว่า GMS ที่มีการขยายตัวมากถึง 19.40%	Vani และคณะ (2019)
มะละกอ	โซ่ขาว 5 - 20 % Xanthan gum 0-0.5%	ตัวอย่างที่มีการใช้ Xanthan gum ร่วมกับโซ่ขาวพบว่า การที่ยังเพิ่มความเข้มข้นของ Xanthan gum จะทำให้ความหนืดของตัวอย่างเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้การขยายตัวของโฟมลดลง	Abd El-Salam และคณะ (2020)

1.2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1. เพื่อศึกษาอิทธิพลของชนิดและความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟมต่อคุณสมบัติโฟมมะเขือเทศ

1.2.2. เพื่อศึกษาอิทธิพลของชนิดและความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟมต่อจลนพลศาสตร์การทำแห้งของโฟมมะเขือเทศด้วยตู้อบแห้งลมร้อนแบบถาด

1.2.3. เพื่อศึกษาอิทธิพลของชนิดและความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟมต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของมะเขือเทศผง

1.3. สมมติฐานของงานวิจัย

1.3.1. ชนิดและความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟม (foaming agent) ประเภท โปรตีน และ monoglycerides มีผลต่อการขยายตัวและความคงตัวของโฟมมะเขือเทศ

1.3.2.. ชนิดและความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟมมีผลต่อจลนพลศาสตร์การทำแห้งด้วยตู้อบแห้งลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 70°C เมื่อโฟมมะเขือเทศมีการขยายตัวสูงจะส่งผลให้เกิดการระเหยน้ำออกจากอาหารได้เร็วขึ้น

1.3.3. ชนิดและความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟมมีผลต่ออัตราการแห้งของโฟมและนำส่งต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและความสามารถในการต้านสารอนุมูลอิสระของมะเขือเทศผง

1.4. ขอบเขตของการศึกษา

1. งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 ตอน

1.1. เพื่อศึกษาอิทธิพลของชนิดและความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟมต่อคุณสมบัติของโฟมมะเขือเทศ

1.2. เพื่อศึกษาอิทธิพลของชนิดและความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟมต่อจลนพลศาสตร์การทำแห้งโฟมมะเขือเทศด้วยตู้อบแห้งลมร้อนแบบถาด

1.3. เพื่อศึกษาอิทธิพลของชนิดและความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟมต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของมะเขือเทศผง

2. วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการทดลองตอนที่ 1.1. คือ มะเขือเทศราชินีจากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนตำบลดอนตูม คัดระดับความสุกที่มีสีแดงทั้งผล ทำการปั่นละเอียดให้เป็นเนื้อเดียวกัน (tomato puree) จากนั้นทำการศึกษาอิทธิพลของสารก่อให้เกิดโฟม 4 ชนิด คือ Soypro tein isolate (SPI) (ปริมาณโปรตีนร้อยละ 90), Rice protein (RP) (ปริมาณโปรตีนร้อยละ 80), Pea protein (PP) (ปริมาณโปรตีนร้อยละ 80) และ Glyceryl monostearate (GMS) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 10 ต่อน้ำหนักมะเขือเทศปั่นละเอียด ร่วมกับสารที่ทำให้โฟมคงตัว คือ แซนแทนกัม (xanthan gum, XG) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 ต่อน้ำหนักมะเขือเทศปั่นละเอียด จากนั้นทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของโฟม ได้แก่ ความคงตัวของโฟม (Foam stability) เป็นเวลา 30 นาที ความหนาแน่นของโฟม (Foam density) และการขยายตัวของโฟม (Foam expansion) ใช้ระยะเวลาในการตีโฟมที่ 5, 10, 15 และ 20 นาที ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3. วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการทดลองตอนที่ 1.2 ทำการเตรียมโฟมมะเขือเทศแบบเดียวกับการทดลองที่ 1.1 จากนั้นทำการศึกษาอิทธิพลของสารก่อให้เกิดโฟมต่อพฤติกรรมการทำแห้งของโฟมมะเขือเทศ ใช้ระยะเวลาในการตีโฟมที่ 5 นาที ด้วยความเร็ว 13,200 รอบ/นาที ทำการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส โดยทำการชั่งน้ำหนักทุกๆ 30 นาที ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ การทดลองขั้นตอนนี้ทำ 2 ซ้ำ

4. วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการทดลองตอนที่ 1.3. คือ โฟมมะเขือเทศ และมะเขือเทศผง ที่เตรียมจากการใช้สารที่ก่อให้เกิดโฟมที่ชนิดและความเข้มข้นต่างกัน แบ่งตามลักษณะทางกายภาพ ชนิด และความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟม คือ เนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียดทั้งผลพร้อมเปลือก โฟมมะเขือเทศมะเขือเทศผง ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 10 ต่อน้ำหนักมะเขือเทศปั่นละเอียด มะเขือเทศผง

5. วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของผงมะเขือเทศที่เตรียมตามขั้นตอนที่ 1.1. โดยวิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่องวัดสี (Hunter color laboratory)

6. ในการศึกษาขั้นตอนที่ 1.3. วิธีมาตรฐาน (reference methods) ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีน วิเคราะห์ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ตามวิธีของ Barba et และคณะ (2006)

7. ในการศึกษาขั้นตอนที่ 1.3. วิธีมาตรฐาน (reference methods) ที่ใช้ในการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ตัดแปลงจากวิธีของ Brand-Williams และคณะ (1995)



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1. มะเขือเทศราชินี

มะเขือเทศราชินีหรือเรียกอีกอย่างว่ามะเขือเทศเซอร์มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Solanum lycopersicum* L. Var. *cerasiforme* เป็นพืชที่อยู่ในวงศ์ solanaceae ผลเป็นผลเดี่ยวมีขนาดรูปร่างและสีต่างกันรูปร่างมีทั้งกลมหรือกลมรี เปลือกผลบางเป็นมันผลดิบมีสีเขียวหรือเขียวอมเทาเมื่อสุกจะมีสีเหลือง สีส้ม หรือสีแดง เนื้อภายในฉ่ำด้วยน้ำมีรสอมเปรี้ยวมีเมล็ดจำนวนมาก สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่พบในมะเขือเทศมีหลายชนิดที่ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น แคโรทีนอยด์ วิตามินซี สารประกอบฟีนอล และวิตามินอี เป็นต้น ในมะเขือเทศสดพบปริมาณไลโคปีนมากถึงร้อยละ 80 ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มของแคโรทีนอยด์ (Lenucci, 2006; Tonucci et al., 1995)

ตารางที่ 2 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่พบในมะเขือเทศสด 100 กรัม

ชนิดของสาร	ปริมาณที่พบ
โพแทสเซียม (มก.)	237
แอลฟาโทโคฟีรอล (มก.)	0.54
วิตามินอี (IU)	833
วิตามินซี (มก.)	12.7
โฟเลต (มคก.)	101
ไลโคปีน (มคก.)	2,573
ลูทีนและซีอาแซนทิน (มคก.)	1,860
ไฟโตฟลูอิน (มคก.)	820

ที่มา: Tonucci และคณะ (1995)

หมายเหตุ : มก. หมายถึง มิลลิกรัม
 มคก. หมายถึง ไมโครกรัม
 IU หมายถึง 1 IU วิตามินอี = 0.67 มก. ของ D-alpha-tocopherol, 0.9 มก. ของ DL-alpha-tocopherol และ 0.74 มก. ของ D-alpha-tocopheryl acetate

2.2. สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

2.2.1. ไลโคปีน

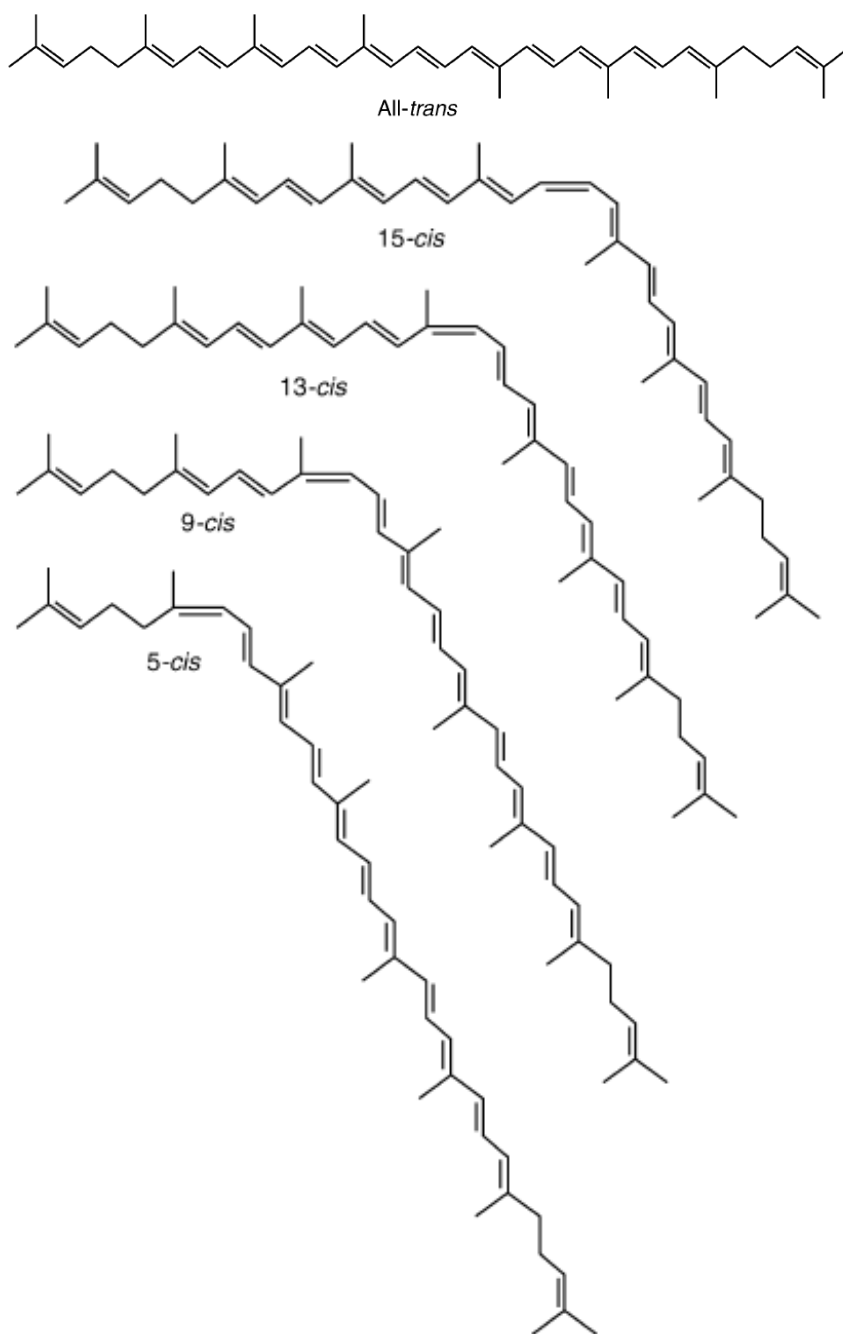
ไลโคปีนเป็นรงควัตถุที่ให้สีแดงในมะเขือเทศ และยังเป็นรงควัตถุที่ให้สีในผลไม้ต่างๆ ตารางที่ 3 แสดงปริมาณไลโคปีนที่พบในพืชชนิดต่างๆ (Shi & Maguer, 2000)

ตารางที่ 3 ปริมาณไลโคปีนในผักและผลไม้

ชนิด	ปริมาณไลโคปีน (mg/100g wet basis)
มะเขือเทศสด	0.72-20
แตงโม	2.3-7.2
ฝรั่ง (สีแดง)	5.23-5.50
เกรปฟรุ๊ต	0.35-3.36
มะละกอ	0.11-5.3
โรสฮิป	0.68-0.71
แครอท	0.65-0.78
ฟักทอง	0.38-0.46
มันหวาน	0.02-0.11
แอปเปิล	0.11-0.18
แอปริคอต	0.01-0.05

ที่มา: Shi และ Maguer (2000)

ไลโคปีนเป็นสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ จัดอยู่ในกลุ่มของสารประกอบแคโรทีนอยด์ที่มีโมเลกุลแบบ hydrogenated carotenoids derivative เป็นกลุ่มที่มีโมเลกุลประกอบด้วยสายไฮโดรคาร์บอนทำให้เป็นสารไม่มีขั้วและละลายได้ในไขมัน ซึ่งไลโคปีนเป็นรงควัตถุที่ให้สีแดงในมะเขือเทศ แตงโม ฝรั่ง (แดง) และฟักข้าว แต่ไม่พบในสัตว์ โครงสร้างของไลโคปีนประกอบด้วยพันธะคู่ 11 ตำแหน่ง สามารถแบ่งโครงสร้างทางเคมีได้ 2 แบบ คือ trans-configuration และแบบ cis-isomer (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 โครงสร้างของไลโคปีนในรูปแบบของ trans-configuration และ cis-isomer
ที่มา: Rao และคณะ (2006)

โดยในธรรมชาติจะพบไลโคปีนในรูปแบบ trans-configuration ซึ่งร่างกายมนุษย์จะสามารถดูดซึมไลโคปีนในรูปแบบของ cis-isomer ได้มากกว่าเพราะสามารถสลายและรวมตัวกับกรดน้ำดีได้ดี จากงานวิจัยทางการแพทย์พบว่าพบปริมาณไลโคปีนในรูปแบบของ cis-isomer ในร่างกายมนุษย์มากถึง 90% ซึ่งสามารถเกิดการเปลี่ยนจาก trans-configuration ไปเป็น cis-isomer ได้เนื่องจากกระบวนการให้ความร้อนและสัมผัสกับแสงสว่าง ตัวอย่างปริมาณไลโคปีนจากผลิตภัณฑ์จากมะเขือเทศต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปริมาณไลโคปีนจากผลิตภัณฑ์ของมะเขือเทศ

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณไลโคปีน ($\mu\text{g/g weight}$)
มะเขือเทศสด	8.8-42.0
มะเขือเทศปรุงสุก	37.0
Tomato sauce	62.0
Tomato paste	54.0-1500.0
Tomato soup (condensed)	79.9
Tomato powder	1126.3-1264.9
Tomato juice	50.0-116.0
Pizza sauce	127.1
Ketchup	99.0-134.4

ที่มา: Rao และคณะ (2006)

2.3. เทคนิคการทำแห้งแบบโฟมแมท

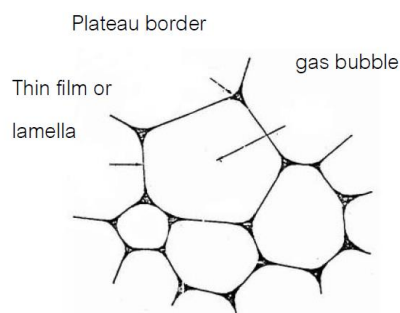
การทำแห้งเป็นกระบวนการที่ดึงน้ำออกจากอาหาร วัตถุประสงค์เพื่อการลดกิจกรรมของจุลินทรีย์และยืดอายุการเก็บรักษา และช่วยลดต้นทุนการบรรจุและการขนส่ง

เทคนิคการทำแห้งแบบโฟมแมทเป็นกระบวนการอบแห้งอาหารเหลวที่มีความหนืดสูง และอาหารกึ่งแข็งโดยผสมกับสารก่อให้เกิดโฟม (foaming agent) และ/หรือสารที่ให้ความคงตัว (foam stabilizer) เพื่อผลิตโฟมที่มีความเสถียรจากนั้นนำไปอบแห้งด้วยตู้อบแห้งลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิตั้งแต่ 50-80°C ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากโฟมแมทคือผลิตภัณฑ์ผง (ภาพที่ 2) โดยส่วนใหญ่ถูกนำมาเปรียบเทียบกับวิธี Freeze dry และ Spray dry ในด้านของต้นทุนที่ต่ำกว่า (Sangamithra และคณะ, 2015)




ภาพที่ 2 กระบวนการทำแห้งด้วยเทคนิคโฟมแมท (Foam-mat drying)
ที่มา: Javed Iqbal และคณะ (2008)

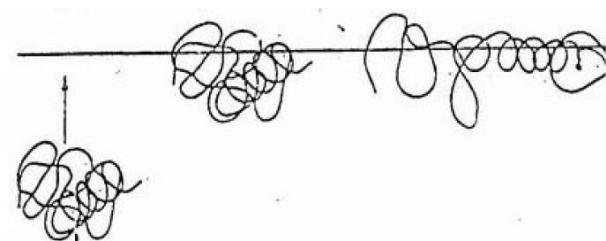
โฟมเป็นระบบคอลลอยด์ 2 เฟส คือ เฟสของเหลว (Aqueous phase) และเฟสอากาศ (Air phase) โดยที่ส่วนของเซลล์อากาศแยกออกจากกันโดยมีเยื่อบางเหลว ที่เรียกว่าฟิล์มบาง (Thin film) หรือ ลามेलลาร์ (Lamellar) ซึ่งฟิล์มบางเหล่านี้จะต่อกันเป็นโครงร่างตาข่ายของ Plateau borders แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 โครงสร้างของโฟม (Foam bubbles)
ที่มา: Szymanski และ Alanis (2019)

ขนาดของฟองอากาศที่กระจายอยู่ในระบบมีอิทธิพลต่อลักษณะปรากฏและสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหาร ถ้าฟองอากาศมีขนาดใหญ่ผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้จะมีลักษณะเนื้อสัมผัสเบาและมีรูพรุน แต่ถ้าเป็นฟองอากาศมีขนาดเล็กลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารที่ได้จะมีลักษณะเบาและเรียบ การทำให้เกิดฟองสามารถทำได้หลายวิธี เช่นการตีให้ขึ้นฟู การเขย่า การอัดอากาศ ซึ่งแต่ละวิธีส่งผลให้โฟมที่เกิดขึ้นมีลักษณะแตกต่างกัน เช่น ความสามารถในการเกิดโฟม (Foaming capacity) ซึ่งวัดจากปริมาตรของฟองที่เกิดขึ้น และแสดงเป็นค่าของเปอร์เซ็นต์ overrun และความคงตัวของโฟม (Foaming stability) ซึ่งวัดเวลาที่ใช้สำหรับการสลายตัว (Collapse) ของโฟม


 a.transport b.penetration c.reorganisation



ภาพที่ 4 กระบวนการดูดซับ (adsorption) ที่ผิวหน้าระหว่างอากาศกับน้ำของโปรตีน
ที่มา: Szymanski และ Alanis (2019)

จากภาพที่ 4 แสดงกระบวนการดูดซับที่ผิวหน้าระหว่างอากาศกับน้ำของโปรตีนโดยมี 3 ขั้นตอนหลักๆ

1. โปรตีนที่สามารถละลายได้จะเกิดการเคลื่อนที่ (transport) ไปยังผิวหน้าระหว่างอากาศกับน้ำ (air water interface)
2. โปรตีนที่เคลื่อนตัวมาที่ผิวหน้าเกิดการแทรกตัว (penetration) ระหว่างชั้นของอากาศกับน้ำทำให้ความเข้มข้นที่ผิวหน้าเพิ่มขึ้น แรงดึงผิวลดลง
3. โปรตีนจะเกิดการคลายตัว (unfolding) และจัดเรียงตัวใหม่ (reorganization) โดยหมู่ไฮโดรฟิลิก (hydrophilic groups) จะหันเข้าหาเฟสของเหลว (aqueous phase) และหมู่ไฮโดรโฟบิก (hydrophobic groups) หันเข้าหาเฟสอากาศ (air phase) สุดท้ายจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างพันธะพอลิเพปไทด์เพื่อสร้างเป็นฟิล์มหุ้มอากาศไว้ภายใน (จินดาพรรณ, 2548)

2.4. อิทธิพลของสารก่อให้เกิดโฟมและสารที่ทำให้โฟมคงตัวต่อคุณภาพของโฟมและผลิตภัณฑ์ผง

เทคนิคการทำแห้งแบบโฟมแม่เป็นกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ผงโดยใช้ร่วมกับตุ๋นแห้งลมร้อนแบบถาด ซึ่งก่อนจะเข้าสู่กระบวนการทำแห้งด้วยเทคนิคนี้ต้องใช้สารก่อให้เกิดโฟมร่วมกับสารที่ทำให้โฟมคงตัวเพื่อตีผลไม้หรือผักปั่นละเอียดให้เกิดโฟมที่มีความคงตัว โดยการเลือกใช้นชนิดและความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟมและสารที่ทำให้โฟมคงตัวส่งผลอย่างมากต่อคุณภาพของโฟมและผลิตภัณฑ์ผง

จากการศึกษาของ Ng และ Sulaiman (2018) การทำแห้งด้วยเทคนิคโฟมแม่ในบัตูรูทโดยใช้ไข่ขาวผง (egg albumen) และเจลาตินจากปลาเป็นสารก่อให้เกิดโฟมที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 10 ต่อน้ำหนักบัตูรูท เทโฟมให้มีความหนาอยู่ที่ 3 มิลลิเมตร ทำแห้งด้วยตุ๋นแห้งลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่าการใช้ไข่ขาวผงที่ความเข้มข้น 10% โฟมบัตูรูทมีการขยายตัวมากที่สุดที่ 87.78% ซึ่งเจลาตินช่วยให้เกิดการขยายตัวของโฟมได้ดีมากถึง 3 เท่า อีกทั้งยังพบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟมส่งผลให้ความหนาแน่นของโฟมลดลงและมีความคงตัวเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟมส่งผลให้ฟองอากาศในอาหารมีขนาดเล็ก และมีจำนวนมาก ให้ความหนาแน่นของฟิล์มบนผิวหน้าฟองอากาศกับอาหารเพิ่มขึ้นทำให้โฟมมีความคงตัวที่สูง และมีความหนาแน่นต่ำ

Xie และ Hettiarachchy (1998) ศึกษาอิทธิพลของแซนแทนกัม (Xanthan gum: XG) ต่อการเกิดโฟมของโปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลท (Soy protein Isolate: SPI) ในอัตราส่วน SPI 1 กรัม XG 0.1, 0.2, 0.3, 1, 2, 3 และ 5 กรัม พบว่าการใช้ XG เพียงอย่างเดียวไม่สามารถก่อให้เกิดโฟมได้แต่เมื่อนำมาใช้ร่วมกับ SPI พบว่าช่วยก่อให้เกิดโฟมที่ดีโดย XG เป็นตัวที่ทำให้ฟิล์มที่ผิวหน้าระหว่างฟองอากาศกับอาหารมีความยืดหยุ่นสูง โดยสรุปได้ว่าปริมาณการใช้ SPI:XG ที่เหมาะสมที่สุดคือ SPI 0.1% และ XG 0.2%

Kadam และ Balasubramanian (2011) ศึกษาการใช้ผงไข่ขาว (egg albumin) ที่ความเข้มข้น 0, 5, 10, 15 และ 20% ในน้ำมะเขือเทศมีความหนาของโฟมอยู่ที่ 2.5 มิลลิเมตร นำมาทำแห้งด้วยตุ๋นแห้งลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 60, 65 และ 70°C จากงานวิจัยพบว่าการใช้ความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟมที่ 10% ใช้เวลาในการขึ้นโฟมที่ 5 นาที มีความเหมาะสมที่สุดในการขึ้นโฟมมะเขือเทศ เมื่อนำมาทำแห้งที่อุณหภูมิที่ 60 และ 70°C ใช้เวลาในการทำแห้งอยู่ที่ 510 และ 450

นาที โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น (Effective moisture diffusivity: $Deff$) อยู่ในช่วง $2.026 \times 10^{-8} - 3.039 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$.

Sankat และ Castaigne (2004) ศึกษาการพฤติกรรมการทำแห้งของกล้วย โดยใช้ Glycerol monostearate (GMS) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5, 1 และ 2 ต่อน้ำหนักเนื้อกล้วย โปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลทที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 10 ต่อน้ำหนักเนื้อกล้วย วิปครีมทางการค้า (dream whip) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 10 ต่อน้ำหนักเนื้อกล้วย ใช้เจลาตินที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 3.5 และ 7 ต่อน้ำหนักเนื้อกล้วย เป็นสารก่อให้เกิดโฟม พบว่าเนื้อกล้วยสดที่ไม่มีการเติมสารก่อให้เกิดโฟมมีความหนาแน่นอยู่ที่ 0.93 กรัม/มิลลิลิตร เมื่อเทียบกับโฟมกล้วยที่มีการเติม SPI 10% ใช้ระยะเวลาในการตีโฟม 12 นาที พบว่ามีความหนาแน่นของโฟมกล้วยอยู่ที่ 0.5 กรัม/มิลลิลิตร ในส่วนของการใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟมนั้นพบว่า GMS ไม่มีคุณสมบัติในการเป็นสารก่อให้เกิดโฟม ในด้านของวิปครีมและเจลาตินสามารถก่อให้เกิดโฟมได้แต่ไม่เหมาะสำหรับการใช้เป็นสารก่อให้เกิดโฟม เมื่อศึกษาพฤติกรรมการทำแห้งด้วยตู้อบแห้งลมร้อนแบบถาดที่มีอุณหภูมิในการทำแห้ง 45 – 90°C พบว่าอัตราการทำแห้งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความหนาของโฟม และเมื่อทดลองศึกษาพฤติกรรมการทำแห้งโดยใช้ความเร็วลมที่ 0.62 – 1.03 m/s พบว่าความเร็วลมไม่มีผลต่ออัตราการทำแห้งของโฟมกล้วย

2.5. จลนพลศาสตร์การทำแห้ง (Drying kinetic)

การศึกษาจลนพลศาสตร์การทำแห้งในอาหารเป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นด้วยพารามิเตอร์การทำแห้งและกระบวนการทำแห้ง ซึ่งอุณหภูมิในการทำแห้ง ความเร็วลม และความหนาของชิ้นอาหาร มีอิทธิพลอย่างมากในกระบวนการทำแห้ง ดังนั้นจึงได้มีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อเพื่อศึกษาการทำแห้งแบบชั้นบาง (thin-layer drying) โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้นถูกแบ่งออกเป็น 3 ประเภท (1) แบบจำลองทางทฤษฎี (2) กึ่งเชิงประจักษ์ และ (3) เชิงประจักษ์ (Gaikwad et al., 2022)

ตามกฎข้อที่ 2 ของ Fick อธิบายไว้ว่าปริมาณความชื้นลดลงด้วยกลไกกระจายความชื้น ปริมาณความชื้นที่ถูกเปลี่ยนแปลงเป็นอัตราส่วนความชื้น (moisture ratio: MR) แสดงดังสมการต่อไปนี้

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e}$$

เมื่อ M_t , M_e และ M_0 คือปริมาณความชื้นที่เวลา t , ปริมาณความชื้นที่สมดุล และปริมาณความชื้นเริ่มต้นตามลำดับ

โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นิยมใช้ในการในการทำแห้งแบบชั้นบางทั่วไปมีอยู่ 6 แบบ ได้แก่ Lewis (Newton), Page, Modified page, Logarithmic, Two term และ Midilli แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งแบบชั้นบาง

ชื่อแบบจำลอง	แบบจำลอง	อ้างอิง
Lewis (Newton)	$MR = \exp(-kt)$	Roberts et al. (2008)
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	Mundada et al. (2010)
Modified page	$MR = \exp(-kt)^n$	Yaldiz et al. (2001)
Logarithmic	$MR = a \exp(-kt) + c$	Ertekin and Yaldiz (2004)
Two term	$MR = a \exp(-k_0 t) + b \exp(-k_1 t)$	Lee and Kim (2009)
Midilli	$MR = \exp(-kt) + bt$	Midilli et al. (2002)

ในการวิเคราะห์การถดถอยเพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination, R^2) สูงสุด ผลรวมข้อผิดพลาดกำลังสอง (sum of squares error, SSE) น้อยที่สุด และค่ารากที่สองคลาดเคลื่อนกำลังสองค่าเฉลี่ย (root mean square error, RMSE) น้อยที่สุด บ่งบอกว่าแบบจำลองใดเหมาะสมที่สุด แสดงดังสมการต่อไปนี้

$$R^2 = \frac{(\sum MR_{exp} \times \sum MR_{pre})^2}{\sum MR_{exp}^2 \times \sum MR_{pre}^2}$$

$$RMSE = \left[\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N MR_{exp,i} - MR_{pre,i} \right)^2 \right]^2$$

$$SSE = \sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2$$

เมื่อ N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด $MR_{exp,i}$ คือ อัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการทดลอง และ $MR_{pre,i}$ คือ อัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการทำนายโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์

2.6. อิทธิพลของการทำแห้งของโพลีเมอร์ต่อสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

Kadam (2012) ได้ศึกษาของชนิดและความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโพลีเมอร์ต่อปริมาณ โลโคป็นในมะเขือเทศ จากงานวิจัยมีการใช้คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส (carboxymethyl cellulose, CMC) ที่ความเข้มข้น 0.00, 0.25, 0.75 และ 1% นมผงที่ความเข้มข้น 0, 3, 5, 7 และ 9% และไข่ขาวผงที่ความเข้มข้น 0.0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0% ทำแห้งด้วยตู้อบแห้งลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 65, 75 และ 85°C พบว่าการใช้สารก่อให้เกิดโพลีเมอร์ที่ชนิดและความเข้มข้นแตกต่างกันไม่มีผลต่อปริมาณโพลีเมอร์ โดยพบปริมาณโพลีเมอร์ในช่วง 24.08 – 27.52 mg/100 g แต่พบว่าหากมีการใช้ อุณหภูมิในการทำแห้งที่สูงส่งผลให้ปริมาณโพลีเมอร์ในมะเขือเทศมีปริมาณที่น้อยกว่าการใช้ อุณหภูมิที่ต่ำในการทำแห้ง

Suet Li และคณะ (2021) ทำการศึกษาการใช้กัมอารบิกเป็นสารก่อให้เกิดโพลีเมอร์ที่ความเข้มข้น 0, 5, 10, และ 15% ในแคนตาลูป ทำแห้งด้วยตู้อบแห้งลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 55°C ความหนาของโพลีเมอร์ 3 มิลลิเมตร จากการรายงานพบว่าความเข้มข้นของกัมอารบิกไม่ส่งผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ แต่ส่งผลต่อการขยายตัว ความคงตัว และความหนาแน่นของ โพลีเมอร์แคนตาลูป อีกทั้งยังพบว่าการใช้กัมอารบิกที่ความเข้มข้น 10% มีการขยายตัวที่ดี และส่งผลให้ โพลีเมอร์มีความหนาแน่นน้อย และมีพฤติกรรมในการทำแห้งที่เร็ว เนื่องจากการขยายตัวของโพลีเมอร์ที่สูง สามารถช่วยเพิ่มอัตราการระเหยน้ำออกจากภายในอาหารได้ดี แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการศึกษานี้มี 3 สมการ ได้แก่ Page, Lewis และ Handerson-Pabis พบว่าสมการของ Page สามารถอธิบายขั้นตอนการทำแห้งด้วยวิธีโพลีเมอร์ของแคนตาลูปที่ดีที่สุดซึ่งให้ค่า R^2 สูงสุดอยู่ที่ 0.9894

Auisakchaiyoung, (2015) ได้ศึกษาอิทธิพลการใช้เมทิลเซลลูโลส (Methylcellulose: MC) ที่ความเข้มข้น 1, 1.5 และ 2% เป็นสารก่อให้เกิดโพลีเมอร์ในผักขาว ใช้ระยะเวลาในการตีโพลีเมอร์เป็นเวลา 0, 10, 20 และ 25 นาที มีความหนาของโพลีเมอร์อยู่ที่ 1, 2 และ 3 มิลลิเมตร ทำแห้งด้วยตู้อบแห้งลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80°C ด้วยความเร็ว 0.5 m/s พบว่าการใช้ MC ที่ความเข้มข้น 1.5% ใช้ระยะเวลาตีโพลีเมอร์ 25 นาที ส่งผลให้โพลีเมอร์ของผักขาวมีความคงตัวดีที่สุด อีกทั้งยังส่งผลให้เมื่อนำมาทำแห้งโดยให้โพลีเมอร์มีความหนาอยู่ที่ 1 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิ 70°C ใช้ระยะเวลาในการทำแห้งเพียง 60 นาที ซึ่งส่งผลให้ผักขาวที่ได้มีปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเป็นจำนวนมาก สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่พบในผักขาว เช่น โลโคป็น เบต้าแคโรทีน และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

Hossain และคณะ (2021) ทำการศึกษาการใช้ไข่ขาวผงเป็นสารก่อให้เกิดโพลีเมอร์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 3 - 7 ต่อน้ำหนักเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียด ร่วมกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxymethyl cellulose, CMC) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 5 ต่อน้ำหนักเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียด ทำแห้งด้วยตู้อบแห้งลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 60 - 70°C ในด้านของการใช้ระยะเวลาในการทำแห้งพบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของไข่ขาวผงและอุณหภูมิในการทำแห้งให้อยู่ที่ 70°C ส่งผลให้ใช้ระยะเวลาในการทำแห้งน้อยลงโดยใช้เวลาในการทำแห้งอยู่ที่ 13 ชั่วโมง เมื่อศึกษาอิทธิพลต่อคุณสมบัติทางชีวเคมี พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของไข่ขาวผงส่งผลให้ปริมาณของกรดแอสคอร์บิกและปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ลดลง แต่ส่งผลให้มีปริมาณ β -Carotene และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น ในด้านความเข้มข้นของ CMC พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ CMC ส่งผลให้กรดแอสคอร์บิก β -Carotene และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันกับส่งผลให้มีปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ในมะเขือเทศผงลดลง และสุดท้ายเมื่อพิจารณาจากอุณหภูมิพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้งส่งผลให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นแต่กลับส่งผลให้ปริมาณกรดแอสคอร์บิก ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ และ β -Carotene มีปริมาณลดลง จากรายงานดังกล่าวสรุปว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทำมะเขือเทศผงคือการใช้ไข่ขาวผงที่ความเข้มข้น 7% CMC 1% ทำแห้งที่อุณหภูมิ 60°C



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1. วัตถุดิบ

3.1.1. วัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัย

ในการวิจัยนี้แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ขั้นตอน ซึ่งวัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษา แต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

3.1.1.1. มะเขือเทศที่ใช้ในการทดลอง

มะเขือเทศราชินีที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ชื้อจากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนตำบลดอนตูม (แม่ฉุย) อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม โดยคัดเลือกมะเขือเทศราชินีที่มีสีแดงทั้งผลไม่มีตำหนิ (ภาพที่ 5) จากนั้นทำการขนส่งมายังห้องปฏิบัติการใช้ระยะเวลาในการเดินทาง 30 นาที ด้วยรถยนต์ที่ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยศิลปากร อำเภอมือง จังหวัดนครปฐม เมื่อมาถึงยังห้องปฏิบัติการทำการล้างด้วยน้ำสะอาดแล้วนำมาวัดขนาดด้วยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ และวิเคราะห์ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (total soluble solid) ชื้อมะเขือเทศมาจำนวน 3 รุ่น แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 6



ภาพที่ 5 ลักษณะของมะเขือเทศราชินีที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 6 ข้อมูลมะเขือเทศราชินีสดที่ใช้ในการทดลอง

ชุดการทดลอง	วันเดือนปีที่รับ	น้ำหนักมะเขือเทศ (กิโลกรัม)	ขนาดของมะเขือเทศราชินี กว้าง×ยาว (มิลลิเมตร)	ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (°Brix)	ชุดการทดลอง
1	10 กรกฎาคม 2564	10	15.60×25.06	7.5 ± 0.24	ศึกษาอิทธิพลของชนิด และความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโพลีฟอสเฟตของ 3 ซ้ำ
2	21 มิถุนายน 2565	15	17.31×25.96	7.3 ± 0.09	ศึกษาอิทธิพลของชนิด และความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโพลีฟอสเฟตของ 3 ซ้ำ
3	5 กรกฎาคม 2565	15	17.67×23.26	7.0 ± 0.00	ศึกษาอิทธิพลของชนิด และความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโพลีฟอสเฟตของ 2 ซ้ำ
					ศึกษาอิทธิพลของชนิด และความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโพลีฟอสเฟตของ 3 ซ้ำ

3.1.1.2. สารก่อให้เกิดโฟมและสารที่ช่วยให้โฟมคงตัว

สารก่อให้เกิดโฟมที่ศึกษาในการวิจัยครั้งนี้แบ่งออกเป็น 4 ชนิด ได้แก่ โปรตีนถั่วเหลือง ไอโซเลท (ปริมาณโปรตีน 90%) (Soy protein isolate: SPI) จากบริษัทกรุงเทพเคมีจำกัด (ประเทศไทย), โปรตีนข้าว (ปริมาณโปรตีน 80%) (Rice protein: RP) จากบริษัท Nutribiotic (USA), โปรตีน ถั่วลันเตา (ปริมาณโปรตีน 80%) (Pea protein: PP) จาก Nutravita eco product company limited (ประเทศไทย) และกลีเซอรอลโมโนสเตียเรท (Glycerol monostearate: GMS) จากบริษัท กรุงเทพเคมีจำกัด (ประเทศไทย) และสารช่วยให้โฟมคงตัว แซนแทนกัม (Xanthan gum: XG) จาก บริษัทกรุงเทพเคมีจำกัด (ประเทศไทย)

3.1.1.3. การเตรียมกลีเซอรอลโมโนสเตียเรท ดัดแปลงจากวิธีของ Falade และคณะ (2021)

เตรียมสารละลายกลีเซอรอลโมโนสเตียเรท โดยละลายกลีเซอรอลโมโนสเตียเรท 5 กรัม/น้ำ กลั่น 100 มิลลิลิตร และ 10 กรัม/น้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ในน้ำที่อุณหภูมิ 100°C จากนั้นซึ่ง กลีเซอรอลโมโนสเตียเรทที่ละลายแล้วที่ปริมาตร 15 และ 30 กรัม ใส่ลงในเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียด 300 กรัม ที่เตรียมจากความเข้มข้น 5% และ 10% ตามลำดับ

3.1.2. สารเคมี

1. น้ำกลั่น (distilled water, Vunique, Thailand)
2. เมทานอล เกรด HPLC (methanol, Better syndicate, Thailand)
3. เฮกเซน เกรด HPLC (hexane, Better syndicate, Thailand)
4. อะซีโตนไทรล์ เกรด HPLC (hexane, Better syndicate, Thailand)
5. เฮกเซน เกรด AR (hexane, Better syndicate, Thailand)
6. อะซีโตน เกรด AR (hexane, Better syndicate, Thailand)
7. เอทานอล เกรด AR (hexane, Better syndicate, Thailand)
8. สารมาตรฐาน Lycopene เกรด HPLC (Kuromanin chloride assay $\geq 85\%$, Sigma-Aldrich, Germany)
9. 6-hydroxy-2, 5, 7, 8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid (Trolox) (Sigma-Aldrich, Steinheim, Germany)
10. 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) (Sigma-Aldrich, Steinheim, Germany)

3.1.3. เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องชั่งน้ำหนักละเอียด 4 ตำแหน่ง (รุ่น BP 221S, Sartorius AG, Germany)
2. เครื่องชั่งน้ำหนักละเอียด 6 ตำแหน่ง (รุ่น AP125WD, Shimadzu, Japan)
3. เครื่องชั่งน้ำหนักหยาบ 2 ตำแหน่ง (Sartorius AG, Germany)
4. เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Digital refractometer)
5. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) แบบมีพัดลม (ยี่ห้อ Binder รุ่น FD53, Binder, Germany)
6. เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) (รุ่น PHM 210, Metro Lab, France)
7. เครื่องปั่นน้ำผลไม้ (ยี่ห้อ Philips รุ่น HR2115/02)
8. เครื่องปั่นผสมอาหาร (ยี่ห้อ Electrolux รุ่น E5HB1-59GG)
9. เวอร์เนียคาลิเปอร์ (Vernier Calipers)
10. เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ (homogenizer รุ่น T 25 digital ULTRA-TURRAX® / IKA)
11. เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) (ยี่ห้อ Hettich รุ่น Universal 16, Centrifuge, Germany)
12. เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกติวิตี (benchtop water activity meter รุ่น AQUALAB 4TE, METER Group, Inc., USA)
13. เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวความดันสูง (High Performance Liquid Chromatography: HPLC) (Shimadzu model RF-20 prominence PDA, degassing unit (DGU-20A3R); LC-20AD, Japan; heating box model T-120D, Thailand)
14. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV/Vis Spectrophotometer รุ่น Thermo scientific™ Genesys 10s, USA)
15. เครื่องวัดค่าสี (Hunter lab รุ่น Colorflex EZ, Hunter Associates Laboratory, Inc., USA)
16. เครื่องอัลตราโซนิก (Ultrasonic) (รุ่น 10 P, BANDELIN electronic GmbH & Co. KG, Germany)
17. เครื่องกวนสารละลาย (Magnetic stirrer) (ยี่ห้อ CAT รุ่น Topolino, IKA, Germany)
18. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) (ยี่ห้อ MEMMERT รุ่น MEM-1 WNB 7, GmbH & Co. KG, Germany)
19. คอลัมน์ Cosmosil 5 ไมโครเมตร C18 (2) 100 อังสตรอม ขนาด 150x4.6 มิลลิเมตร (column, Phenomenex, Torrance, USA)
20. กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 ขนาด 70 มิลลิเมตร (filter paper, circles 70 mm, Whatman, UK)

21. เครื่องระเหยตัวทำละลายแบบหมุน (rotary evaporator, รุ่น RV 10, IKA labortechnik, Co. Ltd., Germany)
22. เครื่องปั่นแบบมือถือ (blender รุ่น 600 วัตต์ HR2120, Royal Philips Electronics, Inc., Thailand)
23. ปั๊มสุญญากาศ (vacuum pump, รุ่น TC-501/v/, Sparmax, Taiwan)

3.2. วิธีการทดลอง

การศึกษานี้แบ่งการศึกษาเป็น 3 ส่วน ได้แก่ (1) การศึกษาอิทธิพลของชนิดและความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟมต่อคุณสมบัติของโฟมมะเขือเทศราชินี (2) การศึกษาอิทธิพลของชนิดและความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟมต่อพฤติกรรมการทำแห้งของโฟมมะเขือเทศราชินี (3) การศึกษาอิทธิพลของชนิดและความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟมต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1. การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของมะเขือเทศราชินีสด

ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพสำหรับผลมะเขือเทศแต่ละชุดการทดลอง โดยทำการวัดขนาดของผลมะเขือเทศ สำหรับค่าทางเคมีที่ทำการศึกษาได้แก่ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (total soluble solids, TSS) ความเป็นกรด - ด่าง (pH) ปริมาณกรดที่ไตเตรดได้ (titratable acidity, TA) ปริมาณความชื้น (Moisture content, MC) ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (Water activity, a_w) ปริมาณไลโคปีน (Lycopene content) และทำการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันในมะเขือเทศสดด้วยวิธี DPPH-assay ดังนี้

3.2.1.1. การเตรียมเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียด

นำมะเขือเทศมาล้างให้สะอาดจากนั้นทำการตัดแต่งตัดส่วนหัวออกแล้วผ่าเป็น 4 ซีก ปั่นละเอียดด้วยเครื่องปั่นอาหาร Philips รุ่น HR2117/02 ครั้งละ 1 กิโลกรัม ที่ความเร็วสูงสุดเบอร์ 4 เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นทำการสุมเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียดมาเพื่อทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ และเคมี ของเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียด (ภาพที่ 6) และนำเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียดเก็บแช่แข็งที่อุณหภูมิต่ำ -18°C เพื่อรอทำการทดลองขั้นต่อไป

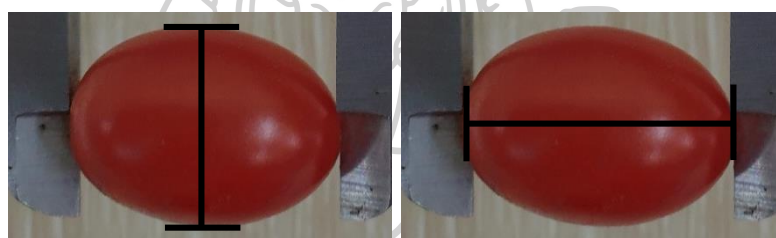


ภาพที่ 6 การเตรียมเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียด

3.2.1.2. การคุณสมบัติทางกายภาพ

3.2.1.2.1. ขนาดของผลมะเขือเทศสด

นำผลมะเขือเทศสดมาวัดขนาดด้านกว้างและด้านยาวด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ โดยการสุ่มวัดขนาดผลมะเขือเทศจำนวน 10 ผลต่อมะเขือเทศแต่ละชุดการทดลอง (ภาพที่ 7)



ความกว้าง

ความยาว

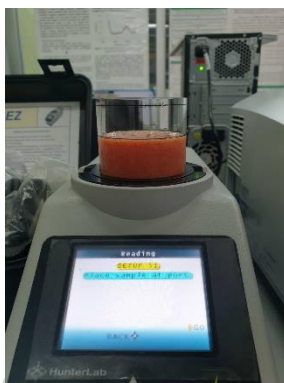
ภาพที่ 7 การวัดขนาดของผลมะเขือเทศสด

3.2.1.2.2. ค่าสี

เตรียมเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียดตามขั้นตอนที่ 3.2.1.1. ทำการวิเคราะห์ค่าสี โดยนำเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียดใส่ในภาชนะบรรจุตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ค่าสีวัดจากขีดด้านข้างของภาชนะ พารามิเตอร์สำหรับการวิเคราะห์คือ ค่า L^* , a^* และ b^* ด้วยเครื่องวัดสี (Hunter Lab) (รุ่น ColorFlex EZ, D65, USA) (ภาพที่ 8) โดยใช้ระบบ CIE L^* , a^* และ b^* โดยค่า L^* คือ ค่าความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0-100 ค่า a^* คือ สีแดง - สีเขียว $+a^*$ หมายถึง ทิศทางของสีแดง $-a^*$ หมายถึง ทิศทางของสีเขียว และ b^* คือ สีเหลือง - สีนํ้าเงิน โดย $+b^*$ หมายถึง ทิศทางของสีเหลือง และ $-b^*$ หมายถึง ทิศทางของสีนํ้าเงิน จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณค่า Chroma (C^*) และ hue angle (h°) ดังสมการ โดยทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำต่อเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียด

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

$$\text{hue angle} = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right)$$



ภาพที่ 8 การวิเคราะห์ค่าสีของเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียด

3.2.1.3. คุณสมบัติทางเคมี

3.2.1.3.1. ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (total soluble solids, TSS)

เตรียมเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียดตามขั้นตอนที่ 3.2.1.1. มากรองผ่านผ้าขาวบาง เพื่อแยกส่วนใสออกมา จากนั้นนำส่วนใสมาวิเคราะห์ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ ด้วยมาตรวัดดัชนีหักเห (Digital refractometer, รุ่น Pal 1, Atago Co.Ltd., Japan) ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง

3.2.1.3.2. ความเป็นกรด ต่าง (pH)

เตรียมเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียดตามขั้นตอนที่ 3.2.1.1. นำมาวิเคราะห์ความเป็นกรด - ต่าง ด้วยเครื่องวัด pH (pH meter) ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง

3.2.1.2.3. ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (Titratable acidity, TA)

เตรียมเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียดตามขั้นตอนที่ 3.2.1.1. ชั่งเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียดมา 5.0 ± 0.1 กรัม บันทึกน้ำหนัก จากนั้นเติมน้ำกลั่นจำนวน 100 มิลลิลิตร ทำการไตเตรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล และนำไปคำนวณหาค่า TA เทียบกับกรดซิตริก ทำการวิเคราะห์จำนวน 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง

3.2.1.3.4. ปริมาณความชื้น (Moisture content, MC)

เตรียมเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียดตามขั้นตอนที่ 3.2.1.1. สุ่มตัวอย่างมะเขือเทศมา 3 กรัม ใส่กระป๋องอลูมิเนียมสำหรับหาปริมาณความชื้น (moisture can) โดยเริ่มจากชั่งน้ำหนักเริ่มต้นของกระป๋องอลูมิเนียม จากนั้นทำการบรรจุเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียดแล้วอบด้วยตู้อบแห้งลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ แล้วชั่งน้ำหนักตัวอย่างสุดท้ายเพื่อคำนวณหาปริมาณความชื้นของตัวอย่างดังกล่าว (AOAC, 2000) โดยทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง

$$\text{ปริมาณความชื้น} = \frac{\text{ผลต่างของน้ำหนักก่อนอบและหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

3.2.1.3.5. ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (Water activity, a_w)

เตรียมเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียดตามขั้นตอนที่ 3.2.1.1. นำเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียดบรรจุลงในภาชนะสำหรับวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอกติวิตี จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องวอเตอร์แอกติวิตีที่อุณหภูมิ 25 ± 0.2 องศาเซลเซียส จำนวน 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง (ภาพที่ 9)



ภาพที่ 9 การวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอกติวิตี

3.2.1.3.6. ปริมาณไลโคปีน (Lycopene content) ดัดแปลงจาก Barba และคณะ (2006) ดังนี้

3.2.1.3.6.1. วิธีการสกัดตัวอย่าง

เตรียมเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียดตามขั้นตอนที่ 3.2.1.1. นำมะเขือเทศปั่นละเอียดมาวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (high Performance Liquid Chromatography, HPLC) เริ่มจากชั่งเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียด 10 ± 0.5 กรัม ด้วยเครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายผสมของ เฮกเซน ต่อ อะซิโตน ต่อ เอทานอล

(Hexane:acetone:ethanol) 50:25:25 ปริมาตรต่อปริมาตร จากนั้นทำการเติมสารละลายผสมลงในตัวอย่างเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียด โดยแบ่งการสกัดเป็น 3 ช่วง โดยช่วงที่ 1 เติมสารละลายผสม 40 มิลลิลิตร แล้วนำไปกวนด้วยเครื่องกวนสาร (Stirrer) เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง whatman no.4 ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วนำส่วนที่กรองได้ไปเทใส่กรวยแยกสีชา โดยในช่วงที่ 2 และ 3 ทำการเติมสารละลายผสม 30 มิลลิลิตร ลงในเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียด แล้วทำตามขั้นตอนในช่วงที่ 1 เมื่อสกัดครบ 3 รอบแล้วเติมน้ำกลั่นลงในกรวยแยกสีชาทำการเขย่า 4 - 5 ครั้ง ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที เมื่อครบ 10 นาที ให้ทำการเก็บส่วนใสด้านบนเพื่อนำไปเข้าเครื่องระเหย (rotary evaporator) โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการระเหยอยู่ที่ 40 องศาเซลเซียส อุณหภูมิ Cooling อยู่ที่ 15 องศาเซลเซียส ความเร็วในการหมุนขวดตัวอย่างอยู่ที่ 90 รอบต่อนาที (rpm) จากนั้นทำการชะตัวอย่างด้วย เฮกเซนเกรด HPLC 10 มิลลิลิตร แล้วนำตัวอย่างไปเก็บในขวดสีชาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เพื่อบรรเทาการวิเคราะห์ ทำการสกัด 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง

3.2.1.3.6.2. การเตรียมกราฟมาตรฐาน

เตรียมสารมาตรฐานของไลโคปีนที่ความเข้มข้น 20, 40, 60, 80 และ 100 ppm โดยชั่งสารมาตรฐานไลโคปีน 0.0010 ± 0.05 กรัม ด้วยเครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง ลงขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร โดยใช้เฮกเซนเกรด HPLC เป็นตัวทำละลาย สภาวะในการวิเคราะห์ของ HPLC ใช้ เมทานอล:อะซิโตนไนไตรล์ (90:10) เป็นเฟสเคลื่อนที่ใช้คอลัมน์ขนาด C_{18} อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ที่ความยาวคลื่น 475 นาโนเมตร อัตราการไหลอยู่ที่ 1 มิลลิลิตรต่อนาที จากนั้นนำค่าพื้นที่ใต้กราฟที่ได้ไปการสร้างกราฟมาตรฐาน

3.2.1.3.6.3. การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography, HPLC)

นำสารสกัดที่ได้จากขั้นตอนที่ 3.2.1.3.6.1. มาวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนก่อนการวิเคราะห์ นำตัวอย่างที่สกัดได้มาเจือจางด้วยเฮกเซนเกรด HPLC โดยปิเปตสารสกัดมา 1 มิลลิลิตร เจือจางด้วยเฮกเซน 9 มิลลิลิตร ทำการฉีดตัวอย่างด้วยสภาวะของ HPLC เดียวกับขั้นตอนที่ 3.2.1.3.6.2. จากนั้นนำพื้นที่ใต้กราฟที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณไลโคปีน ทำการทดลอง 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง

3.2.1.3.7. การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันในป่นละเอียดด้วยวิธี DPPH-assay ดัดแปลงจาก Brand-Williams และคณะ (1995)

3.2.1.3.7.1. เตรียมสารละลาย 2, 2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)

1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) ความเข้มข้น 6×10^{-5} M ชั่ง 0.0059 กรัม ด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ลงบีกเกอร์จากนั้นละลายด้วยเมทานอล 99.99% คนให้ละลายเทใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วทำการปรับปริมาตรด้วยเมทานอล โดยควบคุมไม่ให้สัมผัสแสง จากนั้นทำไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร

3.2.1.3.7.2. เตรียมกราฟมาตรฐานโทรลอกซ์สำหรับการวิเคราะห์ DPPH-assay

เตรียมสารละลายโทรลอกซ์โดยชั่งโทรลอกซ์ 0.0250 กรัม ด้วยเครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง ละลายด้วยเมทานอลใส่ในขวดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปรับความเข้มข้นให้ได้ 0, 20, 50, 100, 150 และ 250 ppm จากนั้นบีบเปิดสารโทรลอกซ์มา 0.1 มิลลิลิตร ทำปฏิกิริยากับ DPPH 3.9 มิลลิลิตร นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 10 วินาที ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 120 นาที จากนั้นวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยทำการทดลอง 2 ซ้ำต่อตัวอย่างเพื่อนำมาสร้างกราฟมาตรฐาน

3.2.1.3.7.3. วิธีการสกัด

เตรียมเนื้อมะเขือเทศป่นละเอียดตามขั้นตอนที่ 3.2.1.1. ชั่งเนื้อมะเขือเทศสดป่นละเอียดมา 3 ± 0.05 กรัม ด้วยเครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง ใส่ขวดสีชาขนาด 10 มิลลิลิตร จากนั้นแบ่งเติมเมทานอลเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 เติม 10 มิลลิลิตร และเติม 5 มิลลิลิตร ในช่วงที่ 2 และ 3 หลังจากเติมเมทานอลในแต่ละช่วงให้นำไปเข้าเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง whatman no.4 ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร หลังจากนั้นทำการปรับปริมาตรด้วยเมทานอลให้เป็น 25 มิลลิลิตร เก็บในขวดสีชาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ทำการสกัด 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง (ในแต่ละขั้นตอนควบคุมไม่ให้สัมผัสแสง)

3.2.1.3.7.4. การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระด้วย DPPH-assay

บีบเปิดสารสกัดที่เตรียมได้จากขั้นตอนที่ 3.2.1.3.7.3 มา 0.1 มิลลิลิตร ใส่ขวดสีชา แล้วทำปฏิกิริยากับ DPPH 3.9 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าสาร (Vortex mixer) เป็นเวลา 30 วินาที ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 120 นาที นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่

ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ในบางตัวอย่างทำการเจือจางโดยปิเปตสารสกัด 1 มิลลิลิตร เจือจางด้วยเมทานอล 4 มิลลิลิตร ทำการทดลอง 2 ซ้ำต่อตัวอย่าง

3.2.2. การเตรียมเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียดแช่แข็ง

นำมะเขือเทศราชินีมาล้างทำความสะอาดแล้วมาตัดแต่งโดยการตัดส่วนหัวออกและผ่าเป็น 4 ซีก จากนั้นนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นอาหาร Philips รุ่น HR2117/02 ที่ความเร็วสูงสุด speed เบอร์ 5 เป็นเวลา 5 นาที ชั่งเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียดใส่ถุงร้อนถุงละ 800 กรัม เก็บในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -18°C เพื่อรอทำการศึกษาขั้นต่อไป



ล้างทำความสะอาด ตัดแต่ง และผ่าเป็น 4 ซีก



ปั่นละเอียดด้วยเครื่องปั่นอาหาร Philips รุ่น HR2117/02 ที่ความเร็วสูงสุดเบอร์ 5 เป็นเวลา 5 นาที



บรรจุลงถุงซิปล็อคถุงละ 800กรัม นำไปเก็บไว้ในช่องแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปทดลองในขั้นตอนต่อไป

ภาพที่ 10 ขั้นตอนการเตรียมเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียดสำหรับเตรียมตัวอย่างโคมมะเขือเทศ

3.2.3. การเตรียมโฟมมะเขือเทศ

นำเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียดแช่แข็งที่เตรียมจากขั้นตอนที่ 3.2.2 มาละลายโดยตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นเติมสารก่อให้เกิดโฟมที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้แก่ SPI, RP, PP และ GMS ที่ระดับความเข้มข้น 5 และ 10% ต่อน้ำหนักเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียด ร่วมกับแซนแทนกัมที่ระดับความเข้มข้น 1% ต่อน้ำหนักเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียด (ตารางที่ 7) ที่ช่วยทำหน้าที่เป็นสารให้ความคงตัว จากนั้นตีโฟมเป็นเวลา 5, 10, 15 และ 20 นาที ด้วยเครื่องปั่นแบบมือถือที่มีความเร็วรอบ 13,200 rpm (Electrolux รุ่น ESTM5417S) นำตัวอย่างโฟมมะเขือเทศที่ได้มาวิเคราะห์การขยายตัวของโฟม ความคงตัว และความหนาแน่นของโฟม โดยเทียบกับมะเขือเทศที่ไม่มีการเติมสารก่อให้เกิดโฟม และสารที่ทำให้โฟมคงตัว (ชุดควบคุม) (ภาพที่ 11)



ชั่งเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียด 300 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร



เติม XG 1% ร่วมกับ SPI, RP, PP และ GMS ที่ความเข้มข้น 5% และ 10%



ปั่นขึ้นโฟมเป็นเวลา 5, 10, 15 และ 20 นาที เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติของโฟมมะเขือเทศ

ภาพที่ 11 การเตรียมตัวอย่างโฟมมะเขือเทศที่จากการใช้สารก่อให้เกิดโฟมที่ชนิด และความเข้มข้นต่างกันเพื่อทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของโฟมมะเขือเทศ

ตารางที่ 7 ชนิดและความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟมที่ใช้ในการทดลอง

สารก่อให้เกิดโฟม	ความเข้มข้น (ร้อยละน้ำหนัก/น้ำหนักเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียด)	สารที่ช่วยให้โฟมคงตัว (ร้อยละน้ำหนัก/น้ำหนักเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียด)
Soy protein isolate (SPI)	5, 10	1.0
Rice protein (RP)	5, 10	1.0
Pea protein (PP)	5, 10	1.0
Glycerol monostearate (GMS)	5, 10	1.0

3.2.4. การศึกษาอิทธิพลของชนิดและความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟมต่อคุณสมบัติของโฟมมะเขือเทศ

- ความหนาแน่นของโฟม (Foam Density)

เตรียมเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียดตามขั้นตอนที่ 3.2.2. และโฟมมะเขือเทศตามขั้นตอนที่ 3.2.3. ชั่งน้ำหนักของเนื้อมะเขือเทศก่อนตีโฟม และหลังตีโฟมที่เวลา 5, 10, 15 และ 20 นาที จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณค่าความหนาแน่นดังสมการ โดยทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{\text{น้ำหนักของโฟม (กรัม)}}{\text{ปริมาตรของโฟม (ซม.}^3\text{)}}$$

- การขยายตัวของโฟม (Foam Expansion)

เตรียมเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียดตามขั้นตอนที่ 3.2.2. และโฟมมะเขือเทศตามขั้นตอนที่ 3.2.3. ทำการวัดความสูง และชั่งน้ำหนักของเนื้อมะเขือเทศก่อนตีโฟม และหลังตีโฟมที่เวลา 5, 10, 15 และ 20 นาที จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณค่าการขยายตัวดังสมการ ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง

$$\text{การขยายตัวของโฟม} = \frac{V_t - V_i}{V_i} \times 100$$

V_i = ปริมาตรของเนื้อมะเขือเทศก่อนตีโฟม

V_t = ปริมาตรของโฟมมะเขือเทศที่เวลาที่สนใจ

- ความคงตัวของโฟม (Foam Stability)

เตรียมเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียดตามขั้นตอนที่ 3.2.2. และโฟมมะเขือเทศตามขั้นตอนที่ 3.2.3. ทำการวัดความสูงของเนื้อมะเขือเทศที่เวลา 0 นาที และที่เวลา 180 นาที จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณค่าความคงตัวดังสมการ ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง

$$\text{ความคงตัวของโฟม} = \frac{V_t}{V_i} \times 100$$

V_i = ปริมาตรของโฟมที่เวลาเริ่มต้น

V_t = ปริมาตรของโฟมที่เวลาที่สนใจ

3.2.5. การศึกษาอิทธิพลของชนิดและความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟมต่อจลนพลศาสตร์การทำแห้งโฟมมะเขือเทศด้วยตู้อบแห้งลมร้อนแบบถาด

3.2.5.1. การเตรียมโฟมมะเขือเทศสำหรับศึกษาจลนพลศาสตร์การทำแห้ง

นำเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียดแช่แข็งที่เตรียมจากขั้นตอนที่ 3.2.2 มาละลายโดยตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นเติมสารก่อให้เกิดโฟมที่ใช้ในการศึกษารั้งนี้ ได้แก่ SPI, RP, PP และ GMS ที่ระดับความเข้มข้น 5 และ 10% ต่อน้ำหนักเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียด ร่วมกับแชนแทนกัมที่ระดับความเข้มข้น 1% ต่อน้ำหนักเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียด ทำหน้าที่เป็นสารให้ความคงตัว ตีโฟมเป็นเวลา 5 นาที ด้วยเครื่องปั่นแบบมือถือที่ความเร็วรอบ 13,200 rpm (Electrolux รุ่น ESTM5417S) จากนั้นนำโฟมมะเขือเทศที่ได้ไปศึกษาจลนพลศาสตร์การทำแห้ง

3.2.5.2. ศึกษาจลนพลศาสตร์การทำแห้งของโฟมมะเขือเทศ

เตรียมตัวอย่างโฟมมะเขือเทศตามขั้นตอนที่ 3.2.5.1. โดยทำการเกลี่ยโฟมมะเขือเทศลงบนถาดรองอบขนาด 7×7 นิ้ว ให้มีความหนาของโฟมมะเขือเทศอยู่ที่ 1 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้นพร้อมถาดและตาข่ายรองอบ นำไปทำแห้งด้วยตู้อบแห้งลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 70°C ทำการชั่งน้ำหนักทุกๆ 30 นาที จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ซ้ำ 3 จุด (ปริมาณความชื้นสุดท้ายน้อยกว่าร้อยละ 13 ฐานเปียก) โดยทำการทดลอง 2 ซ้ำต่อตัวอย่าง การเก็บตัวอย่างโดยนำมาปั่นให้เป็นผงละเอียด บรรจุลงในถุงอลูมิเนียมฟอยล์เก็บที่อุณหภูมิ -18°C วิเคราะห์ปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระ (วิเคราะห์จำนวน 3 ซ้ำ) นำค่าที่ได้มาสังเกตพฤติกรรมการทำแห้งของโฟมมะเขือเทศที่มีการใช้ชนิดและความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟมที่ต่างกัน นำค่าความชื้นสุดท้ายมาคำนวณสร้างกราฟการทำแห้ง เพื่อหาแบบจำลองที่เหมาะสม (ภาพที่ 12)



เกลี่ยโฟมมะเขือเทศให้มีความหนา 1 เซนติเมตร ลงในพิมพ์ขนาด 7x7 นิ้ว
ที่รองด้วยตาข่ายรองอบ



ซึ่งนำหน้าโฟมมะเขือเทศเริ่มต้นพร้อมถาดและตาข่ายรองอบ ติดตามการทำแห้งทุกๆ 30 นาที
จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ บดตัวอย่างใส่ถุงอลูมิเนียมฟอยล์ที่อุณหภูมิ -18°C
ก่อนนำไปวิเคราะห์ปริมาณความชื้น และค่าวอเตอร์แอกติวิตี
ภาพที่ 12 ขั้นตอนการวิเคราะห์จลนพลศาสตร์การทำแห้งโฟมมะเขือเทศ

3.2.6. การศึกษาอิทธิพลของชนิดและความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟมต่อคุณลักษณะทางกายภาพ และเคมีของมะเขือเทศผง

3.2.6.1. การผลิตมะเขือเทศผง

ทำการเตรียมตัวอย่างโฟมมะเขือเทศผงตามขั้นตอนที่ 3.2.5.1. จากนั้นทำการเกลี่ยโฟมลงบนถาดรองอบให้มีความหนา 1 ซม. และใช้ระยะเวลาในการทำแห้งที่ทดลองได้จากการทดลองในตอนที่ 3.2.5.2. โดยทำการปั่นให้เป็นผงละเอียดบรรจุลงในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ และเก็บรักษามะเขือเทศผงที่อุณหภูมิ -18°C เพื่อนำมาวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ สี และคุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณไลโคปีน (Lycopene content) และความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH-Assay

3.2.6.2. คุณสมบัติทางกายภาพ

3.2.6.2.1. ค่าสี

เตรียมโพนัมมะเชื้อเทศตามขั้นตอนที่ 3.2.5.1. และมะเชื้อเทศผงตามขั้นตอนที่ 3.2.6.1. และทำการวิเคราะห์ค่าสีเช่นเดียวกับการทดลองหัวข้อที่ 3.2.1.2.2. ทำการทดลอง 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง

3.2.6.1.2. ดัชนีการละลาย (Water solubility Index, WSI) ดัดแปลงจาก (Xu et al., 2022)

ทำการสุ่มตัวอย่างมะเชื้อเทศผงที่เตรียมได้จากขั้นตอนที่ 3.2.6.1. มา 2.5 กรัมด้วยเครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง พร้อมทั้งบันทึกน้ำหนัก ลงในหลอดเซนติฟิวขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร ทำการเขย่าด้วยเครื่องเขย่าสาร (Vortex) เป็นเวลา 30 วินาที นำเข้าเครื่องเหวี่ยงสารตกตะกอนที่ความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นเทส่วนใสที่ได้ลงในถ้วยอลูมิเนียมที่มีการชั่งน้ำหนักที่คงที่แล้วพร้อมบันทึกน้ำหนักถ้วยก่อนและหลังใส่ตัวอย่าง นำถ้วยอลูมิเนียมที่มีตัวอย่างเข้าสู่อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105°C จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ทำการคำนวณดัชนีการละลายน้ำดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ดัชนีการละลายน้ำ (WSI)} = \frac{\text{น้ำหนักของแข็งที่ได้จากส่วนใส}}{\text{น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง}} \times 100$$

3.2.6.2. คุณสมบัติทางเคมี

3.2.6.2.1. ปริมาณความชื้น (Moisture content, MC)

เตรียมโพนัมมะเชื้อเทศตามขั้นตอนที่ 3.2.5.1. และมะเชื้อเทศผงตามขั้นตอนที่ 3.2.6.1. ชั่งมะเชื้อเทศผง 3 ± 0.5 กรัม ใส่ลงในกระป๋องอลูมิเนียมสำหรับวิเคราะห์ปริมาณความชื้น และทำการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นเช่นเดียวกับการทดลองหัวข้อที่ 3.2.1.3.4. ทำการทดลอง 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง

3.2.6.2.2. ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (Water activity, a_w)

เตรียมโพนัมมะเชื้อเทศตามขั้นตอนที่ 3.2.5.1. และมะเชื้อเทศผงตามขั้นตอนที่ 3.2.6.1. และทำการวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้เช่นเดียวกับการทดลองหัวข้อที่ 3.2.1.3.5. ทำการทดลอง 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง

3.2.6.5.3. ปริมาณไลโคปีน (Lycopene content) ดัดแปลงจาก Barba และคณะ (2006)

3.2.6.2.3.1. วิธีการสกัดตัวอย่าง

เตรียมโคมะเขือเทศตามขั้นตอนที่ 3.2.5.1. และมะเขือเทศผงตามขั้นตอนที่ 3.2.6.1. และชั่งโคมะเขือเทศ 10 ± 0.5 กรัม และมะเขือเทศผง 3 ± 0.5 กรัม ด้วยเครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง จากนั้นทำการสกัดเช่นเดียวกับการทดลองหัวข้อที่ 3.2.1.3.6.1. ทำการทดลอง 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง

3.2.6.2.3.2. การเตรียมกราฟมาตรฐาน

เตรียมกราฟของสารมาตรฐานไลโคปีนที่ความเข้มข้น 20, 40, 60, 80 และ 100 ppm เช่นเดียวกับการทดลองหัวข้อที่ 3.2.3.6.2.

3.2.6.2.3.3. การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography, HPLC)

นำสารสกัดที่ได้จากขั้นตอนที่ 3.2.5.2.3.1. มาวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนเช่นเดียวกับการทดลองหัวข้อที่ 3.2.1.3.6.3. ทำการทดลอง 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง

3.2.6.2.4. การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันในมะเขือเทศสดด้วยวิธี DPPH-assay ดัดแปลงจาก Brand-Williams และคณะ (1995)

3.2.6.2.4.1. เตรียมสารละลาย 2, 2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) ทำการเตรียม 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) เช่นเดียวกับการทดลองหัวข้อที่ 3.2.1.3.7.1.

3.2.6.2.4.2. เตรียมกราฟมาตรฐานโทรลอกซ์สำหรับการวิเคราะห์ DPPH-assay

เตรียมสารละลายโทรลอกซ์โดยชั่งโทรลอกซ์เช่นเดียวกับการทดลองหัวข้อที่ 3.2.1.3.7.2.

3.2.5.2.4.3. วิธีการสกัด

เตรียมมะเขือเทศผงตามขั้นตอนที่ 3.2.6.1. และชั่งมะเขือเทศผง 3 ± 0.05 กรัม ด้วยเครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง จากนั้นทำการสกัดเช่นเดียวกับการทดลองหัวข้อที่ 3.2.1.3.7.3. ทำการทดลอง 2 ซ้ำต่อตัวอย่าง

3.2.6. การวิเคราะห์ทางสถิติ

ในการศึกษาครั้งนี้ทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของโพนมะเขือเทศ และมะเขือเทศผง ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) ซึ่งในการทดลองจะทำการทดลอง 3 ซ้ำ และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ค่าทางสถิติ SPSS เวอร์ชัน 26.0 ใช้การวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ในแต่ละขั้นตอน



บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1. คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของมะเขือเทศราชินี

4.1.1. คุณสมบัติทางกายภาพ

จากการทดลองครั้งนี้ใช้มะเขือเทศราชินีทั้งหมด 3 ชุด โดยคุณสมบัติทางกายภาพ มีขนาดความกว้างอยู่ในช่วง 15.60 – 17.67 มิลลิเมตร และมีความยาวอยู่ในช่วง 23.26 – 25.96 มิลลิเมตร ผลมะเขือเทศราชินีรุ่นที่ 1 มีความกว้างที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับรุ่นที่ 2 และ 3 และความยาวของมะเขือเทศรุ่นที่ 3 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับรุ่นที่ 1 และ 2 สำหรับค่าสีพบว่าค่า Hue มีค่า 44.71 ซึ่งอยู่ในเฉดสีแดง ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 คุณสมบัติทางกายภาพของมะเขือเทศราชินี

คุณสมบัติทางกายภาพ	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	มะเขือเทศรุ่นที่ 1	มะเขือเทศรุ่นที่ 2	มะเขือเทศรุ่นที่ 3
ความกว้าง (มิลลิเมตร)	15.60 \pm 0.69 ^b	17.31 \pm 1.87 ^a	17.67 \pm 0.64 ^a
ความยาว (มิลลิเมตร)	25.09 \pm 1.62 ^a	25.96 \pm 1.77 ^a	23.26 \pm 1.25 ^b
L* (ความสว่าง)	-	-	43.89 \pm 1.39
a* (+ สีแดง)	-	-	36.44 \pm 0.33
b* (+ สีเหลือง)	-	-	36.07 \pm 0.67
Hue	-	-	44.71 \pm 0.51
Chorma	-	-	51.27 \pm 0.59

a และ b หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบในแถวเดียวกัน

4.1.2. คุณสมบัติทางเคมี

ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ของเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียดทั้ง 3 รุ่น พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และจากการศึกษาปริมาณไลโคปีนและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH-assay) ของเนื้อมะเขือเทศราชินีสดปั่นละเอียดมีค่าอยู่ที่ 18.08 ± 3.36 mg/g dry basis และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH-assay อยู่ที่ 1.66 ± 0.16 มิลลิกรัม Trolox ต่อกรัม (น้ำหนักฐานแห้ง) ตามลำดับ (ตารางที่ 9) ซึ่งแตกต่างจากการค่าไลโคปีนที่รายงานโดย Górecka และคณะ (2020) พบว่ามีปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศสดอยู่ที่ 0.05 mg/g dry basis อาจเนื่องมาจากการใช้มะเขือเทศต่างสายพันธุ์ สำหรับค่า TSS ของเนื้อมะเขือเทศราชินีสดปั่นละเอียดที่ศึกษาทั้ง 3 รุ่น มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่อยู่ในช่วง 7.00 – 7.50 °Brix ระดับการสุกงอมแดงทั้งผล

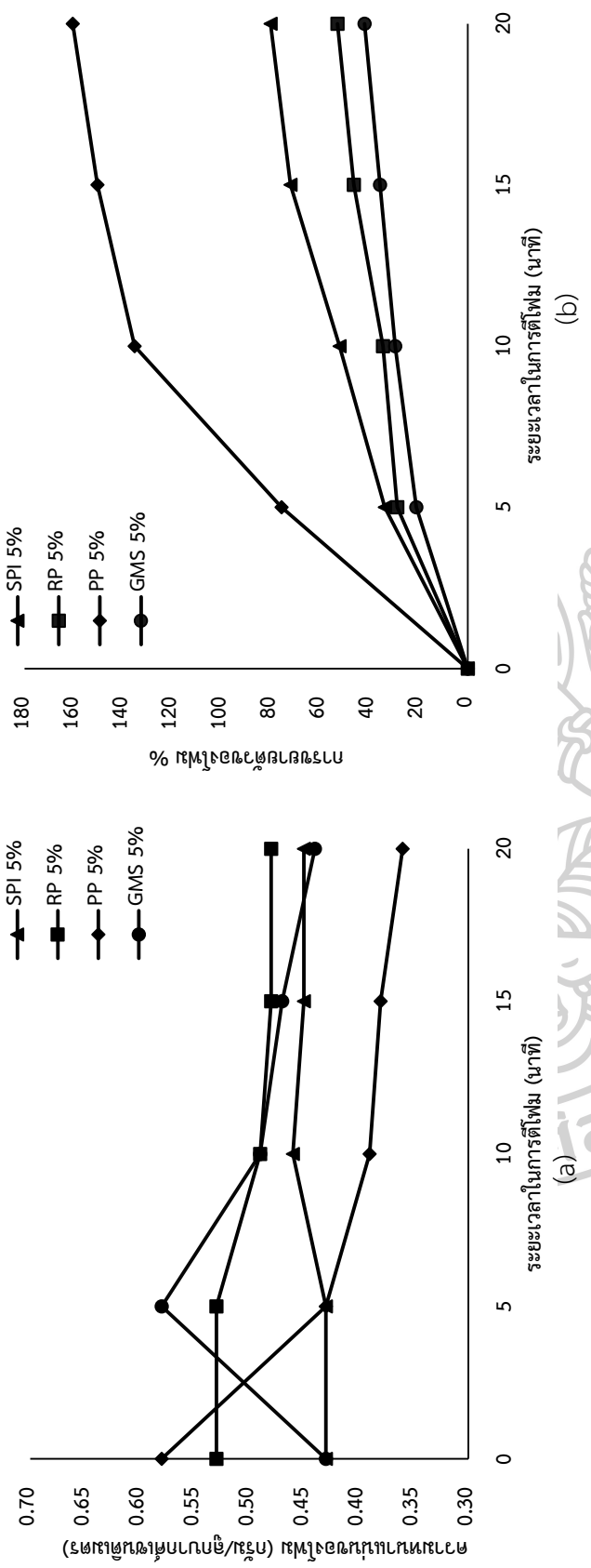
คุณสมบัติทางกายภาพ และเคมี	ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	มะเขือเทศรุ่นที่ 1	มะเขือเทศรุ่นที่ 2	มะเขือเทศรุ่นที่ 3
ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (TSS)	7.50 ± 0.24^a	7.30 ± 0.09^b	7.00 ± 0.00^c
ค่าความเป็นกรด - ต่าง (pH)	4.01 ± 0.01^{ab}	3.99 ± 0.01^b	4.07 ± 0.05^a
ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ ^{ns} (Titratable acidity ,TA)	0.44 ± 0.01	0.40 ± 0.00	0.43 ± 0.03
ปริมาณความชื้น (Moisture content, MC) (% ฐานเปียก)	93.00 ± 0.17^b	89.69 ± 0.04^c	97.64 ± 0.10^a
ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (Water activity, a_w)	-	-	0.99 ± 0.00
ปริมาณไลโคปีน (มก./g dry basis)	-	-	18.08 ± 3.36
ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH-Assay (มิลลิกรัม Trolox ต่อกรัม น้ำหนักฐานแห้ง)	-	-	1.66 ± 0.16

a, b และ c หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบในแถวเดียวกัน

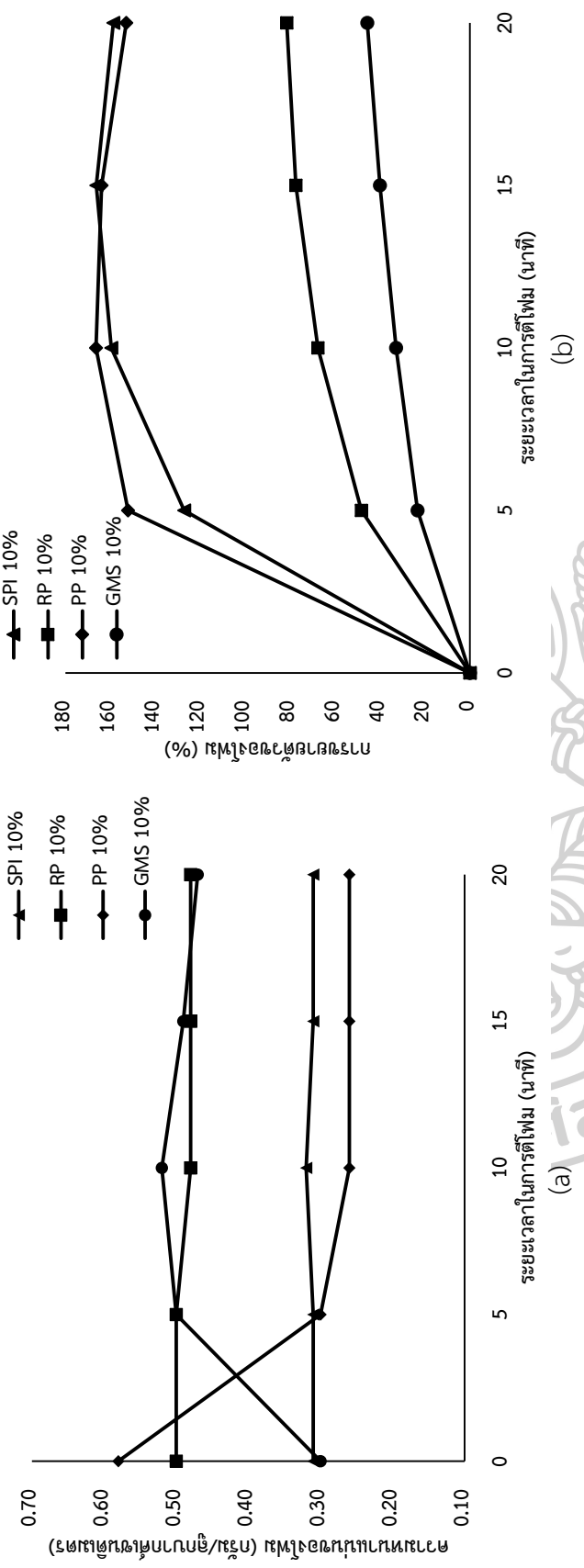
ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบในแถวเดียวกัน

4.2. ผลการศึกษาอิทธิพลของชนิดและความเข้มข้นของสารที่ก่อให้เกิดโฟมต่อคุณสมบัติของโฟมมะเขือเทศ

จากการศึกษาเวลาที่ใช้ในการตีโฟมที่เวลา 5, 10, 15 และ 20 นาที เพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการขึ้นโฟม โดยคุณลักษณะของโฟมที่ดีต้องความหนาแน่นต่ำ มีค่าการขยายตัวที่สูง พบว่าการใช้เวลาในการตีโฟมนานส่งผลให้ค่าการขยายตัวของโฟมมีแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้น จากการทดลองพบว่าโฟมมะเขือเทศที่ใช้ PP 5% และ SPI 5% ที่เวลา 5, 10 และ 15 นาที มีการขยายตัวสูงเมื่อเทียบกับการใช้สารก่อให้เกิดโฟมชนิดอื่นที่ความเข้มข้นเดียวกัน แต่เมื่อทดลองเพิ่มเวลาในการตีโฟมเป็น 20 นาที โฟมมะเขือเทศที่ใช้ PP และ SPI ที่ระดับความเข้มข้น 10% เริ่มมีการขยายตัวที่น้อยลง (ภาพที่ 13 และ 14) และได้ว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการตีโฟมในด้านคุณสมบัติของความหนาแน่นมีแนวโน้มที่ลดลง แต่เมื่อพิจารณาคุณสมบัติในด้านการขยายตัวของโฟมที่ระดับความเข้มข้น 10% พบว่าการใช้ SPI และ PP การขยายตัวมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อใช้เวลาในการตีโฟมที่มากกว่า 10 นาที สามารถอธิบายได้ว่าอิทธิพลของความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟมและเวลาที่ใช้ในการตีโฟมที่ระดับความเข้มข้น 5% โฟมมีการขยายตัวที่มากขึ้นเมื่อตีโฟมเป็นเวลา 10 นาทีขึ้นไป แต่ที่ระดับความเข้มข้น 10% การใช้ SPI และ PP เป็นสารก่อให้เกิดโฟมพบว่าเมื่อตีโฟมเป็นเวลา 10 นาทีขึ้นไปโฟมเริ่มมีการขยายตัวที่น้อยลง จึงบอกได้ว่าความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟมและเวลาที่ใช้ในการตีโฟมส่งผลอย่างมากต่อการขยายตัวของโฟม เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟม และเวลาในการตีอาจทำให้อาหารได้รับแรงทางกลเป็นเวลานาน ส่งผลให้อาหารมีความหนืดเพิ่มมากและเกิดการขยายตัวของโฟมที่น้อยลง (El-Salam et al., 2021). และเมื่อพิจารณาจากค่าทางสถิติในด้านคุณสมบัติความหนาแน่นของโฟมมะเขือเทศ พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ในด้านการขยายตัวของโฟมมะเขือเทศพบว่าการใช้เวลาตีโฟมที่แตกต่างกันส่งผลให้โฟมมีการขยายตัวของที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงตารางที่ 10 และ 11 ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกใช้ระยะเวลาในการตีโฟมที่ 5 นาที ในการศึกษาจลนพลศาสตร์การทำแห้งโฟมมะเขือเทศและคุณสมบัติของมะเขือเทศผง



ภาพที่ 13 อิทธิพลของชนิดของสารก่อให้เกิดโพลิโพรพิลีนที่ระดับความเข้มข้น 5% และเวลาในการตีพิมพ์อะซิโตนอะครีลาต (a) ความหนาแน่นของโพลิโพรพิลีน และ (b) การขยายตัวของโพลิโพรพิลีน



ภาพที่ 14 อิทธิพลของชนิดของสารก่อให้เกิดโพลิเมอร์ที่ระดับความเข้มข้น 10% และเวลาในการตีพิมพ์เมะซีเอเทค (a) ความหนาแน่นของโพลิเมอร์ซีเอเทค และ (b) การขยายตัวของโพลิเมอร์ซีเอเทค

ตารางที่ 10 มะเขือเทศราชินีที่ระยะเวลาในการตีพิมพ์ต่างๆ ที่การใช้สารก่อให้เกิดโพม 4 ชนิด ที่ต่างกันที่ระดับความเข้มข้น 5%

ระยะเวลาในการตีพิมพ์											
การตีพิมพ์ (นาที)	ความหนาแน่นของโพม (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)					ค่าความหนาแน่นและการขยายตัวของโพม					
	SPI	RP	PP	GMS	GMS	SPI	RP	PP	PP	GMS	
0	0.89 ± 0.04 ^a	0.87 ± 0.05 ^a	0.88 ± 0.03 ^a	0.84 ± 0.06 ^a							
5	0.64 ± 0.00 ^b	0.53 ± 0.02 ^b	0.43 ± 0.06 ^b	0.58 ± 0.04 ^b	33.67 ± 1.57 ^d	28.57 ± 1.05 ^d	75.64 ± 0.91 ^d			20.93 ± 1.90 ^d	
10	0.65 ± 0.01 ^b	0.49 ± 0.03 ^b	0.39 ± 0.03 ^b	0.49 ± 0.00 ^c	52.06 ± 1.26 ^c	34.42 ± 2.78 ^c	135.28 ± 1.71 ^c			29.46 ± 1.10 ^c	
15	0.65 ± 0.01 ^b	0.48 ± 0.02 ^b	0.38 ± 0.02 ^b	0.47 ± 0.01 ^{cd}	71.99 ± 0.14 ^b	46.22 ± 1.02 ^b	150.41 ± 1.57 ^b			35.66 ± 2.90 ^b	
20	0.55 ± 0.01 ^b	0.48 ± 0.02 ^b	0.36 ± 0.02 ^b	0.44 ± 0.00 ^d	80.06 ± 1.41 ^a	52.93 ± 1.55 ^a	160.47 ± 2.87 ^a			41.86 ± 1.90 ^a	

a, b, c และ d หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบในคอลัมน์เดียวกัน

ตารางที่ 11 มะเขือเทศราชินีที่ระยะเวลาในการตีโหมต่างๆ ที่การใช้สารก่อให้เกิดโหม 4 ชนิด ที่ต่างกันที่ระดับความเข้มข้น 10%

ระยะเวลาใน		ค่าความหนาแน่นและการขยายตัวของโหม						
การตีโหม (นาที)	ความหนาแน่นของโหม (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)			การขยายตัวของโหม (%)				
	SPI	RP	PP	GMS	SPI	RP	PP	GMS
0	0.80 ± 0.06 ^a	0.83 ± 0.02 ^a	0.84 ± 0.06 ^a	0.87 ± 0.01 ^a	127.17 ± 2.48 ^c	48.25 ± 3.33 ^c	152.12 ± 1.22 ^b	23.23 ± 2.55 ^d
5	0.31 ± 0.02 ^b	0.50 ± 0.06 ^b	0.30 ± 0.01 ^b	0.58 ± 0.04 ^c	159.59 ± 2.88 ^b	67.66 ± 2.99 ^b	166.35 ± 172 ^a	32.81 ± 1.36 ^c
10	0.32 ± 0.10 ^b	0.48 ± 0.03 ^b	0.26 ± 0.01 ^b	0.52 ± 0.00 ^d	166.20 ± 3.04 ^a	77.43 ± 2.69 ^a	163.87 ± 0.32 ^a	40.01 ± 1.41 ^b
15	0.31 ± 0.09 ^b	0.48 ± 0.03 ^b	0.26 ± 0.01 ^b	0.49 ± 0.01 ^b	158.67 ± 1.66 ^b	81.42 ± 3.04 ^a	152.93 ± 1.17 ^b	45.61 ± 2.01 ^a
20	0.31 ± 0.09 ^b	0.48 ± 0.03 ^b	0.26 ± 0.02 ^b	0.47 ± 0.01 ^{cb}				

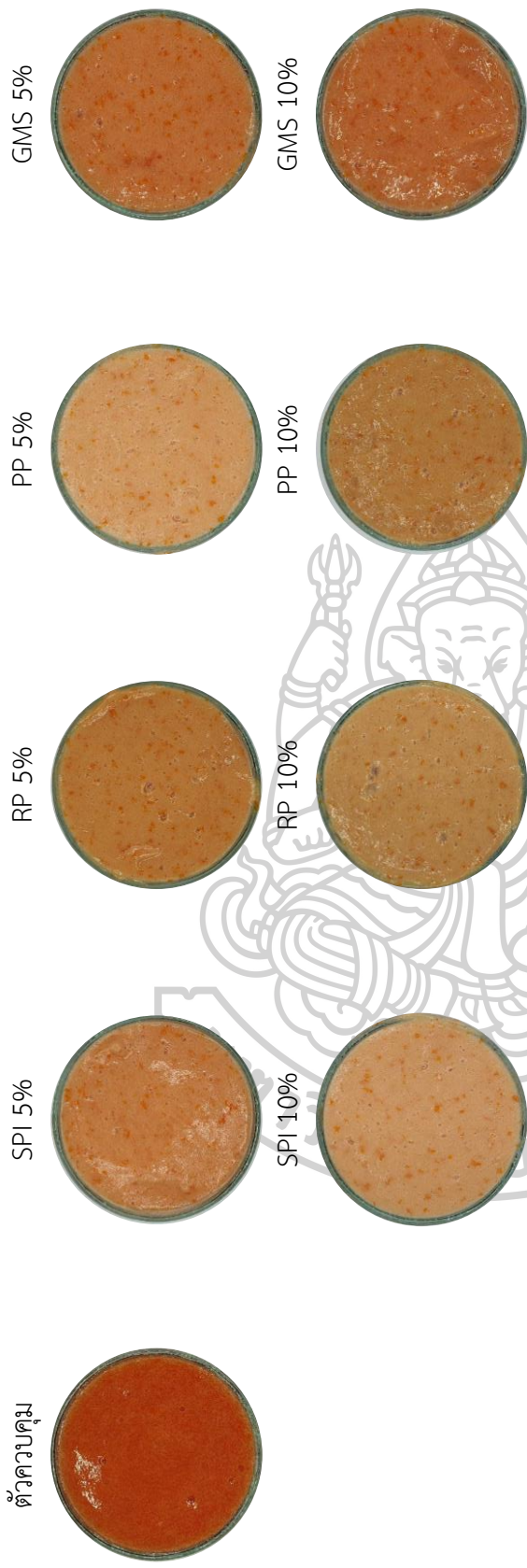
a, b, c และ d หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบในคอลัมน์เดียวกัน

ตารางที่ 12 ผลของชนิดและความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโพล์มต่อคุณภาพโพล์มมะเขือเทศราชินี

ชนิดของสาร ก่อให้เกิดโพล์ม	ความเข้มข้น ร้อยละ	ความหนาแน่นของโพล์ม (กรัม/ลูกบาศก์ เซนติเมตร)	การขยายตัวของ โพล์ม (ร้อยละ)	ความคงตัวของโพล์ม (ร้อยละ)
Control	-	0.43 ± 0.00 ^c		
SPI	5	0.64 ± 0.00 ^c	33.67 ± 1.57 ^e	96.99 ± 1.19 ^c
	10	0.31 ± 0.02 ^d	127.17 ± 2.48 ^b	97.06 ± 3.52 ^c
RP	5	0.53 ± 0.02 ^b	28.57 ± 1.05 ^f	98.41 ± 0.00 ^c
	10	0.50 ± 0.06 ^{bc}	48.25 ± 3.33 ^d	97.40 ± 1.79 ^c
PP	5	0.43 ± 0.06 ^c	75.64 ± 0.91 ^c	98.87 ± 0.04 ^c
	10	0.30 ± 0.01 ^d	152.12 ± 1.22 ^a	98.29 ± 0.68 ^c
GMS	5	0.58 ± 0.04 ^{ab}	20.93 ± 1.90 ^g	118.68 ± 5.15 ^a
	10	0.58 ± 0.04 ^{ab}	23.23 ± 2.55 ^g	111.63 ± 2.68 ^b

a, b, c, e, f และ g หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบในคอลัมน์เดียวกัน

จากตารางที่ 12 แสดงผลการศึกษาของชนิดและความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโพล์มต่อคุณภาพของโพล์มมะเขือเทศ ซึ่งพบว่าการใช้ SPI และ PP ที่ระดับความเข้มข้น 10% ให้ค่าการขยายตัวมากที่สุดที่ 127.17 และ 152.12 และมีความหนาแน่นของโพล์มที่น้อย 0.31 และ 0.30 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ โดยโพล์มมะเขือเทศของสารก่อให้เกิดโพล์มทั้ง 2 ชนิด มีค่าการคงตัวอยู่ที่ 97.06% และ 98.29% ภายหลังจากการทิ้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Suet Li และคณะ (2021) ที่มีการศึกษาการใช้กัมอาร์บิกเป็นสารก่อให้เกิดโพล์มที่ความเข้มข้นต่างกัน โดยพบว่าการใช้ กัมอาร์บิกที่ระดับความเข้มข้น 10% นั้นโพล์มมีการขยายตัวที่ดีและส่งผลให้โพล์มมีเสถียรภาพที่ดีขึ้น



ภาพที่ 15 ลักษณะปรากฏของโพลีเมอร์เชื้อราชนิดและความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโพลีเมอร์ที่แตกต่างกัน
ตัวควบคุม คือ เนือมะเชื้อราสดปั่นละเอียดก่อนตีโพลีเมอร์

ตารางที่ 13 ผลของชนิดและความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโพแทสเซียมและปริมาณความชื้นของโพลีเอทิลีน

ตัวอย่าง	L*	a*	b*	Hue	Chroma	ปริมาณความชื้น (ฐานเปียก)
ควบคุม	43.89 ± 1.39 ^f	36.44 ± 0.33 ^a	36.07 ± 0.67 ^a	44.71 ± 0.51 ^e	51.27 ± 0.59 ^a	97.53 ± 0.28 ^a
SPI 5%	62.84 ± 1.57 ^{bc}	24.51 ± 1.17 ^c	28.74 ± 2.61 ^{cd}	49.44 ± 2.34 ^d	37.81 ± 2.45 ^c	97.52 ± 0.29 ^a
RP 5%	60.87 ± 0.97 ^{cd}	21.22 ± 0.56 ^d	30.26 ± 1.17 ^c	54.96 ± 0.50 ^{bc}	36.96 ± 1.26 ^c	97.35 ± 0.39 ^a
PP 5%	69.63 ± 1.88 ^a	19.22 ± 1.38 ^{de}	26.24 ± 1.27 ^e	53.82 ± 0.65 ^c	32.53 ± 1.84 ^e	95.46 ± 2.64 ^{ab}
GMS 5%	58.46 ± 0.87 ^{de}	29.28 ± 0.81 ^b	32.52 ± 0.79 ^b	48.00 ± 0.15 ^d	43.76 ± 1.13 ^b	95.83 ± 0.61 ^{ab}
SPI 10%	68.32 ± 2.50 ^a	19.77 ± 1.52 ^{de}	27.18 ± 1.37 ^{de}	54.01 ± 0.83 ^c	33.62 ± 1.99 ^d	94.75 ± 3.21 ^b
RP 10%	61.59 ± 0.61 ^c	17.82 ± 0.47 ^e	30.52 ± 0.40 ^c	59.73 ± 0.65 ^a	35.34 ± 0.48 ^{cd}	95.40 ± 0.45 ^{ab}
PP 10%	65.20 ± 4.27 ^b	20.35 ± 3.60 ^d	29.88 ± 2.50 ^c	56.01 ± 3.20 ^b	36.21 ± 3.92 ^{cd}	94.24 ± 1.80 ^b
GMS 10%	57.24 ± 2.78 ^e	29.64 ± 1.62 ^b	32.91 ± 1.21 ^b	48.01 ± 0.51 ^d	44.29 ± 1.98 ^b	97.10 ± 1.01 ^a

a, b, c, d และ e หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบในคอลัมน์เดียวกัน

ลักษณะโคมะเชื้อเทศแสดงดังภาพที่ 15 และตารางที่ 13 แสดงพารามิเตอร์ค่าสีของโคมะเชื้อเทศที่ได้จากการใช้สารก่อให้เกิดโคมะชนิดต่างๆ จากตัวอย่างของโคมะที่ใช้ SPI และ PP พบว่าโคมะเชื้อเทศมีสีที่อ่อนกว่าตัวอย่างโคมะเชื้อเทศของชุดควบคุม และเมื่อพิจารณาพร้อมกับค่าพารามิเตอร์พบว่ามีค่า L^* ที่สูงซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกความสว่างของตัวอย่าง เนื่องจากโคมะเชื้อเทศที่ใช้ SPI และ PP มีการขยายตัวของโคมะที่สูงทำให้โคมะมีการกักเก็บและกระจายอากาศภายในอาหารเป็นจำนวนมาก ในขณะที่ลักษณะปรากฏของโคมะที่ใช้ GMS มีค่า L^* ต่ำที่สุด เมื่อพิจารณาร่วมกับการขยายตัวของโคมะอธิบายได้ว่าการใช้ GMS มีการขยายตัวน้อยส่งผลให้โคมะที่ใช้ GMS มีสีแดงเข้ม ทั้งนี้สีของโคมะเชื้อเทศยังขึ้นอยู่กับสีของโปรตีนที่ใช้ ในผลของการทดลองพบว่าโคมะเชื้อเทศที่มีการใช้ RP มีลักษณะปรากฏของสีน้ำตาลเข้มกว่าการใช้สารก่อให้เกิดโคมะชนิดอื่น เนื่องจากสีของโปรตีนข้าวมีสีน้ำตาล อีกทั้งยังพบว่าการใช้ RP ส่งผลให้โคมะเชื้อเทศมีค่า b^* ที่สูงซึ่งเป็นค่าพารามิเตอร์ที่ใช้บ่งบอกความเป็นสีเหลือง - น้ำเงิน ($+b^*$ = สีเหลือง, $-b^*$ = สีน้ำเงิน)

4.3. ผลการศึกษาอิทธิพลของชนิดและความเข้มข้นของสารที่ก่อให้เกิดโคมะต่อจลนพลศาสตร์การทำแห้งของโคมะเชื้อเทศด้วยตู้อบแห้งลมร้อนแบบถาด

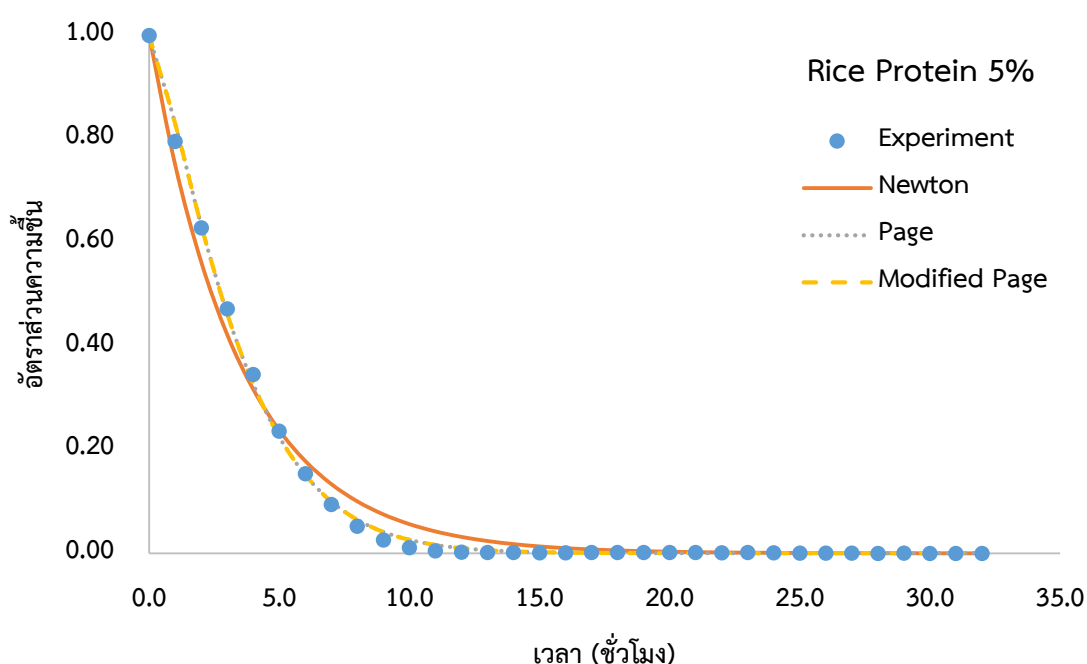
การศึกษาพฤติกรรมการทำแห้งของโคมะเชื้อเทศด้วยตู้อบแห้งลมร้อนแบบถาดที่มีการใช้ชนิดและความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโคมะที่แตกต่างกันที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ติดตามการทำแห้งโดยชั่งน้ำหนักโคมะเชื้อเทศทุกๆ 30 นาที จากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาสมการการทำแห้งที่เหมาะสมในการทำนายจลนพลศาสตร์การทำแห้งของโคมะเชื้อเทศ โดยนำค่าอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการทดลองมาเพื่อวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ หรือค่าคงที่ (k) ด้วยสมการนิวตัน (Newton) (Ayensu, 1997) เพจ (Page) (Diamante & Munro, 1993) และโมดิฟายด์เพจ (Modified page) (M. White et al., 1981) โดยค่าทางสถิติที่ได้จากการสร้างสมการแสดงดังตารางที่ 14 เมื่อพิจารณาค่าคงที่ หรือค่า k คู่กับเวลาที่ใช้ในการทำแห้ง พบว่าการใช้ PP ที่ความเข้มข้น 10% เป็นสารก่อให้เกิดโคมะมีค่า k มากที่สุด และใช้เวลาในการทำแห้งน้อยที่สุด เพราะฉะนั้นจึงบอกได้ว่าค่า k สามารถอธิบายระยะเวลาในการทำแห้งได้โดยค่า k ยิ่งมากระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้งยิ่งน้อยลง

ตารางที่ 14 ค่าทางสถิติที่ได้จากการสร้างสมการการทำเหมืองเชื้อเพลิงด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ตัวอย่าง	เวลาในการทำเหมือง				สมการนิวตัน				สมการเบจ				สมการไม่ติพายต์เพจ			
	(นาที)	k	R ²	RMSE	k	n	R ²	RMSE	k	n	R ²	RMSE	k	n	R ²	RMSE
ควบคุม	840	0.2635 ^c	0.9689 ^{de}	0.0467 ^{de}	0.1075 ^d	1.5786 ^a	0.9975 ^a	0.01325 ^e	0.2434 ^c	1.5786 ^a	0.9975 ^a	0.01325 ^e	0.2434 ^c	1.5786 ^a	0.9975 ^a	0.0133 ^{de}
SPI 5%	720	0.2301 ^d	0.9700 ^{de}	0.0544 ^{bc}	0.1281 ^c	1.3547 ^{cd}	0.9949 ^{bc}	0.0223 ^{bc}	0.2194 ^d	1.3547 ^d	0.9949 ^{cd}	0.0223 ^{bc}	0.2194 ^d	1.3547 ^d	0.9949 ^{cd}	0.0223 ^{bc}
RP 5%	660	0.2869 ^b	0.9890 ^a	0.0260 ^f	0.1889 ^a	1.2816 ^{de}	0.9986 ^a	0.0092 ^f	0.2723 ^b	1.2816 ^{ef}	0.9986 ^a	0.0092 ^f	0.2723 ^b	1.2816 ^{ef}	0.9986 ^a	0.0092 ^e
PP 5%	900	0.2011 ^e	0.9751 ^{cd}	0.0486 ^{cd}	0.1116 ^d	1.3247 ^{de}	0.9959 ^b	0.0196 ^{cd}	0.1910 ^e	1.3247 ^{de}	0.9960 ^{bc}	0.0196 ^{cd}	0.1910 ^e	1.3247 ^{de}	0.9960 ^{bc}	0.0196 ^c
GMS 5%	1320	0.1676 ^f	0.9798 ^c	0.0408 ^e	0.0871 ^e	1.3273 ^{de}	0.9961 ^b	0.01795 ^d	0.1631 ^f	1.2807 ^{ef}	0.9974 ^{ab}	0.01795 ^d	0.1631 ^f	1.2807 ^{ef}	0.9974 ^{ab}	0.0145 ^d
SPI 10%	510	0.2718 ^{bc}	0.9567 ^f	0.0678 ^a	0.1332 ^c	1.4763 ^b	0.9930 ^d	0.02725 ^a	0.2552 ^c	1.4763 ^b	0.9930 ^e	0.02725 ^a	0.2552 ^c	1.4763 ^b	0.9930 ^e	0.0273 ^a
RP 10%	690	0.2189 ^d	0.9647 ^e	0.0595 ^b	0.1068 ^d	1.4151 ^{bc}	0.9942 ^{cd}	0.0241 ^{ab}	0.2058 ^d	1.4151 ^c	0.9942 ^{de}	0.0241 ^{ab}	0.2058 ^d	1.4151 ^c	0.9942 ^{de}	0.0241 ^{ab}
PP 10%	510	0.3061 ^a	0.9658 ^e	0.0594 ^b	0.1686 ^b	1.4274 ^{bc}	0.9950 ^{bc}	0.02265 ^{bc}	0.2872 ^a	1.4274 ^{bc}	0.9950 ^{cd}	0.02265 ^{bc}	0.2872 ^a	1.4274 ^{bc}	0.9950 ^{cd}	0.0227 ^{bc}
GMS 10%	1620	0.1915 ^e	0.9883 ^b	0.0296 ^f	0.1186 ^{cd}	1.2533 ^e	0.9985 ^a	0.01085 ^{ef}	0.1825 ^e	1.2533 ^f	0.9985 ^a	0.01085 ^{ef}	0.1825 ^e	1.2533 ^f	0.9985 ^a	0.0109 ^{ef}

a, b c, d, e และ f หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) เมื่อเปรียบเทียบในคอลัมน์เดียวกัน

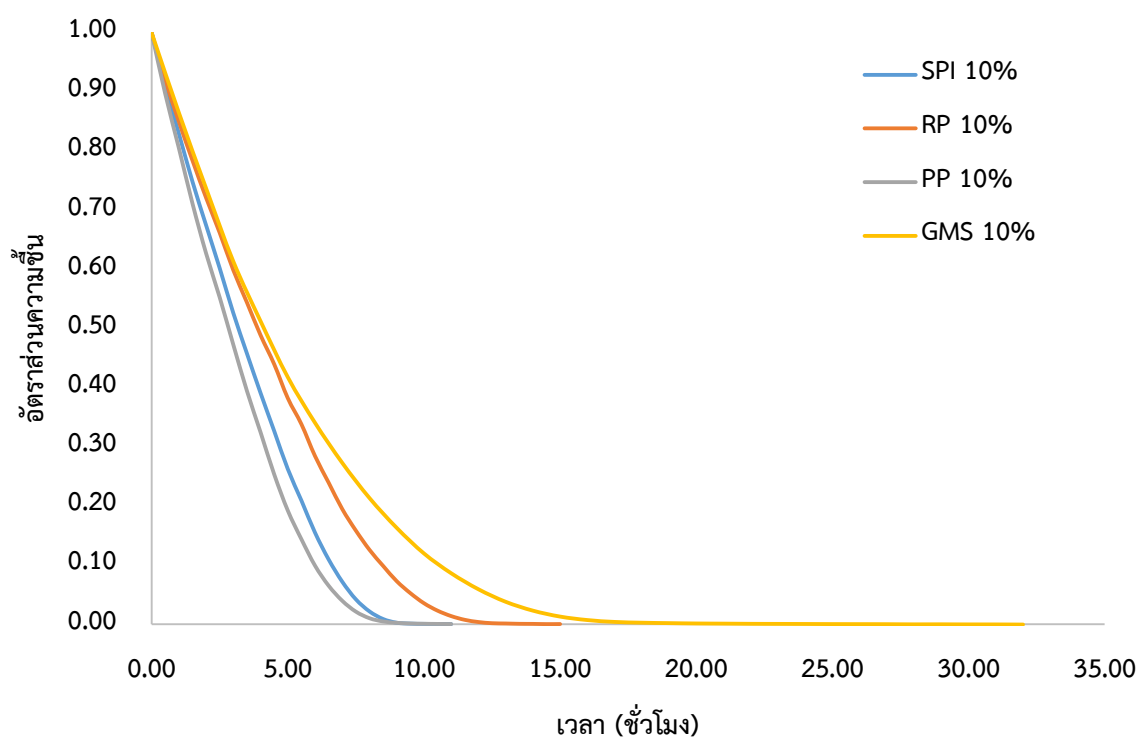
สมการที่เลือกมาใช้ในการทำนายพฤติกรรมการทำแห้งของโพนมะเขือเทศที่เหมาะสม พิจารณาจากสมการที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination, R^2) สูงที่สุด และค่าเฉลี่ยรากที่สองของกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (root mean square error, RMSE) ต่ำที่สุด เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 14 พบว่าสมการเพจ และ โมดิฟายด์เพจให้ค่าที่ไม่แตกต่างกัน ดังนั้น จึงเลือกใช้สมการเพจในการทำนายพฤติกรรมการทำแห้งของโพนมะเขือเทศ ภาพที่ 16 เปรียบเทียบ ค่าอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการสมการนิวตัน เพจ และโมดิฟายด์เพจ กับค่าที่ได้จากการทดลอง



ภาพที่ 16 ตัวอย่างค่าอัตราส่วนความชื้นของโพนมะเขือเทศที่ใช้ RP 5% กับระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้งที่อุณหภูมิ 70°C ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและที่ได้จากสมการ Newton, Page และ Modified page

เมื่อพิจารณาอิทธิพลจากการใช้สารก่อให้เกิดโพนที่ชนิดและความเข้มข้นต่างกันพบว่าส่งผลต่อระยะเวลา และพฤติกรรมการทำแห้งของโพนมะเขือเทศอย่างมาก โดยพบว่าโพนมะเขือเทศที่ใช้ SPI และ PP ที่ความเข้มข้น 10% ใช้เวลาในการทำแห้งน้อยที่สุด จากภาพที่ 16 แสดงอัตราส่วนความชื้นกับเวลา พบว่าการใช้ SPI และ PP เป็นสารก่อให้เกิดโพนใช้เวลาในการอบแห้งที่เท่ากันแต่ อัตราส่วนความชื้นของ PP มีพฤติกรรมทำแห้งที่ลดลงอย่างรวดเร็วกว่าโพนที่ใช้ SPI เป็นสารก่อให้เกิดโพนอย่างมาก เมื่อพิจารณาจากค่าการขยายตัวของโพนทั้ง 2 ชนิด พบว่า PP มีค่าการขยายตัวที่มากกว่าการใช้ SPI โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังนั้นจึง

สันนิษฐานได้ว่าการขยายตัวของโฟมส่งผลต่อพฤติกรรมการทำแห้ง เนื่องจากเกิดฟองอากาศจำนวนมากในอาหารส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากโฟมมะเขือเทศออกสู่ภายนอกได้อย่างรวดเร็ว และดีกว่าตัวอย่างของโฟมมะเขือเทศที่มีการขยายตัวน้อย (Thuwapanichayanan et al., 2008) และ Rajkumar และคณะ (2007) รายงานว่าโครงสร้างของโฟมมีผลต่ออัตราการแห้งด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบโฟมเมท พบว่าถ้าโครงสร้างของโฟมมีขนาดใหญ่ส่งผลให้เกิดอัตราการแห้งที่เร็วขึ้น เนื่องจากมีการระเหยน้ำออกจากอาหารได้อย่างรวดเร็ว

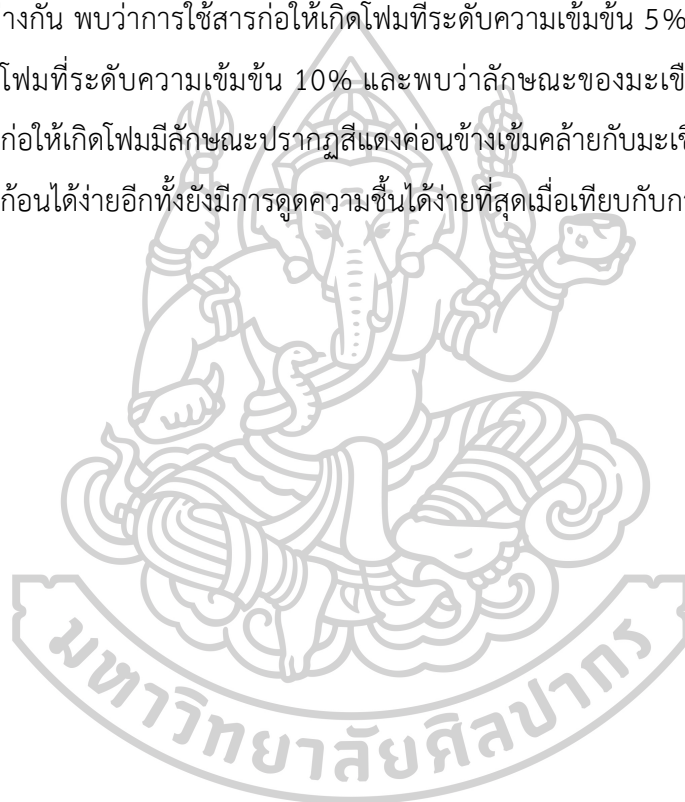


ภาพที่ 17 อัตราส่วนความชื้นของโฟมมะเขือเทศที่ทำแห้งด้วยตู้อบแห้งลมร้อนแบบภาดที่อุณหภูมิ 70°C โดยการใช้สารที่ก่อเกิดโฟมได้แก่ SPI, RP, PP และ GMS ที่ความเข้มข้น 10%

4.4. การศึกษาอิทธิพลของชนิด และความเข้มข้นของสารที่ก่อให้เกิดโฟมต่อคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของมะเขือเทศผง

4.4.1. ผลการศึกษาลักษณะปรากฏ และค่าสีของมะเขือเทศผง

ลักษณะปรากฏ ค่าสีของมะเขือเทศผง เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าพบว่ามะเขือเทศผงที่ได้มีสีแดงออกเหลืองหรือน้ำตาลแสดงดังภาพที่ 18 ซึ่งโฟมของมะเขือเทศให้สีแดงที่อ่อนกว่าและไม่ค่อยติดสีเหลืองหรือน้ำตาลเหมือนมะเขือเทศผง เมื่อพิจารณาลักษณะปรากฏระหว่างมะเขือเทศผงที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน พบว่าการใช้สารก่อให้เกิดโฟมที่ระดับความเข้มข้น 5% มีสีแดงสว่างกว่าการใช้สารก่อให้เกิดโฟมที่ระดับความเข้มข้น 10% และพบว่าลักษณะของมะเขือเทศผงที่ได้จากการใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟมมีลักษณะปรากฏสีแดงค่อนข้างเข้มคล้ายกับมะเขือเทศผงชุดควบคุมแต่มีการจับตัวเป็นก้อนได้ง่ายอีกทั้งยังมีการดูดความชื้นได้ง่ายที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้สารที่ก่อให้เกิดโฟมชนิดอื่น





ภาพที่ 18 ลักษณะปรากฏของเชื้อทดสอบที่เตรียมได้จากวิธีการทำห้องแบคทีเรียที่ใช้ชนิดและความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโพรงต่างกันทำด้วยตู้ยด้อยตู้ยผสม
 ร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส
 ตัวควบคุม คือ มะเชื้อทดสอบที่ไม่เติมสารก่อให้เกิดโพรงและสารที่ทำให้โพรงคงตัว

ผลการศึกษาค่าสีพบค่า Hue ของมะเขือเทศผงอยู่ในช่วง 0° - 90° ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในเขตของสีแดง การใช้ RP เป็นสารก่อให้เกิดโฟมที่ระดับความเข้มข้น 10% มีค่า Hue มากที่สุดเมื่อพิจารณาค่า Hue ของ RP ที่ระดับความเข้มข้น 5% และ 10% พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อพิจารณาจากการใช้ PP เป็นสารก่อให้เกิดโฟมที่ระดับความเข้มข้น 5% พบว่ามีค่า a^* และ b^* ที่มากคือ 24.54 และ 32.61 ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าการใช้สารก่อให้เกิดโฟมชนิดอื่นที่ระดับความเข้มข้นเดียวกัน จากการใช้ PP ที่ระดับความเข้มข้น 10% ให้ค่า b^* สูงกว่าที่ระดับความเข้มข้น 5% เนื่องจาก PP เป็นโปรตีนที่มีสีเหลืองทำให้มะเขือเทศผงที่ได้มีสีออกสีเหลืองตามไปด้วย อีกทั้งการใช้ PP ยังมีค่าการขยายตัวที่สูงส่งผลให้มีค่า L^* ที่สูง เนื่องจากโฟมมีการขยายตัวมากจึงสามารถกักเก็บอากาศไว้ภายในได้เป็นจำนวนมาก สอดคล้องกับการรายงานของ Suet Li และคณะ (2021) ที่อธิบายว่าการใช้สารก่อให้เกิดโฟมที่ระดับความเข้มข้น 10% ส่งผลให้มีค่า L^* ที่สูงและยังพบว่าการใช้ระยะเวลาในการทำแห้งมีผลต่อสีของมะเขือเทศผงซึ่งสามารถอธิบายได้จากค่า a^* และ b^* พบว่าการใช้สารก่อให้เกิดโฟมที่ระดับความเข้มข้น 5% มีระยะเวลาในการทำแห้งที่นานกว่าส่งผลให้มีค่า a^* และ b^* ที่สูงกว่าการใช้สารก่อให้เกิดโฟมที่ระดับความเข้มข้น 10% จากการรายงานของ Osama และคณะ (2022) สามารถอธิบายได้ว่าการใช้เวลาในการทำแห้งเป็นระยะเวลานานส่งผลให้สีของผงมีสีที่เข้มขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล จึงสันนิษฐานได้ว่าระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้งของโฟมมะเขือเทศเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลให้สีของมะเขือเทศผงมีสีแดงออกเหลืองหรือน้ำตาลที่เข้มมากขึ้น

ตารางที่ 15 ผลของชนิดและความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟมต่อค่าสีของมะเขือเทศผง

ตัวอย่าง	L^*	a^*	b^*	Hue	Chroma
ควบคุม	45.88 ± 2.77^f	17.80 ± 1.54^{bc}	29.38 ± 0.96^b	58.83 ± 2.14^c	34.38 ± 1.28^b
SPI 5%	61.00 ± 1.30^{bc}	19.64 ± 0.66^{ab}	28.44 ± 1.44^b	55.35 ± 0.70^d	34.57 ± 1.53^b
RP 5%	58.22 ± 3.17^c	16.89 ± 2.34^{cd}	27.51 ± 2.12^b	58.59 ± 2.04^b	32.30 ± 2.96^b
PP 5%	55.06 ± 0.57^d	21.54 ± 0.77^a	32.61 ± 1.64^a	56.53 ± 0.46^{cd}	39.08 ± 1.78^a
GMS 5%	51.95 ± 1.95^e	18.40 ± 1.98^{bc}	29.21 ± 2.23^b	57.86 ± 1.21^{bc}	34.53 ± 2.90^b
SPI 10%	64.30 ± 2.52^a	19.28 ± 1.40^{abc}	28.19 ± 1.68^b	55.66 ± 0.56^d	34.15 ± 2.16^b
RP 10%	60.58 ± 3.40^c	13.94 ± 2.32^e	24.64 ± 2.64^c	60.69 ± 1.67^b	28.32 ± 3.42^c
PP 10%	63.04 ± 2.09^a	17.56 ± 2.54^{bc}	29.38 ± 0.96^b	58.83 ± 2.14^c	34.38 ± 1.28^b
GMS 10%	49.45 ± 1.74^e	15.08 ± 1.04^{de}	28.44 ± 1.44^b	55.35 ± 0.70^d	34.57 ± 1.53^b

a, b, c, d และ e หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบในคอลัมน์เดียวกัน

4.4.2. ผลการศึกษาดัชนีการละลายของมะเขือเทศผง

พบว่าค่าดัชนีการละลายมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟม แต่ในทางกลับกันการเพิ่มความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟมส่งผลให้ %Yield มีค่าเพิ่มมากขึ้นดังแสดงตารางที่ 16 จะพบว่ามะเขือเทศผงชุดควบคุมมีค่าดัชนีการละลายที่ดีที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบกับโฟมมะเขือเทศที่ใช้สารก่อให้เกิดโฟมแต่ละชนิดพบว่าโฟมมะเขือเทศที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟมมีค่าดัชนีการละลายที่ดีที่สุด ยังพบว่าการใช้สารก่อให้เกิดโฟมที่ระดับความเข้มข้น 5% มีดัชนีการละลายที่มากกว่าที่ 10% เมื่อพิจารณา %Yield พบว่าการใช้ PP เป็นสารก่อให้เกิดโฟมที่ระดับความเข้มข้น 10% มี %Yield มากกว่าที่ระดับความเข้มข้น 5% อธิบายได้ว่าการเติมโปรตีนนอกจากจะสามารถช่วยให้เนื้อมะเขือเทศบดละเอียดขึ้นโฟมแล้วยังเป็นการเพิ่ม %Yield ให้กับมะเขือเทศผงอีกด้วย ดังนั้นจึงส่งผลให้ %Yield ของมะเขือเทศผงมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น จากการรายงานของ Mulyadi และคณะ (2012) อธิบายว่าการเพิ่มความเข้มข้นของของกัมอาร์บิกในการผลิตนมผงส่งผลให้ %Yield ของนมผงมีค่าเพิ่มมากขึ้นซึ่งสอดคล้องกับผลจากการทดลองครั้งนี้ ดัชนีการนํามะเขือเทศผงด้วยวิธีโฟมแม่ผงที่ได้มีข้อจำกัดด้านการละลาย

ตารางที่ 16 ดัชนีการละลาย และ % Yield ของมะเขือเทศผง

สารก่อเกิดโฟม	ดัชนีการละลาย	% Yield
Control	4.27 ± 0.19 ^a	7.97 ± 0.04 ^f
SPI 5%	1.72 ± 0.11 ^c	14.55 ± 0.04 ^c
SPI 10%	1.63 ± 0.23 ^c	15.47 ± 0.18 ^b
RP 5%	2.02 ± 0.34 ^{bc}	12.89 ± 0.01 ^d
RP 10%	1.86 ± 0.36 ^{bc}	18.79 ± 0.01 ^a
PP 5%	1.79 ± 0.17 ^{bc}	14.40 ± 0.00 ^c
PP 10%	1.88 ± 0.19 ^{bc}	18.62 ± 0.03 ^a
GMS 5%	2.68 ± 0.85 ^b	8.37 ± 0.10 ^e
GMS 10%	2.67 ± 0.54 ^b	8.06 ± 0.02 ^f

a, b, c และ d หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบในคอลัมน์เดียวกัน

4.4.3. ผลการศึกษาปริมาณความชื้น และค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของมะเขือเทศผง

หลังจากทำการศึกษาจลนพลศาสตร์ของโพลิมะเขือเทศได้นำมะเขือเทศผงมาวิเคราะห์ค่าทางเคมี พบว่ามะเขือเทศผงที่มีการเติมสารก่อให้เกิดโพลิมะเขือเทศชนิดที่มีปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 13 ยกเว้นมะเขือเทศผงชุดควบคุมกับ GMS ทั้งที่ระดับความเข้มข้น 5 และ 10% เมื่อพิจารณาจากค่าทางสถิติพบว่าปริมาณความชื้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงดังตารางที่ 17 จากนั้นจึงนำมะเขือเทศผงที่ได้มาศึกษาปริมาณไลโคปีน และความสามารถในการต้านสารอนุมูลอิสระ

ตารางที่ 17 ค่าปริมาณความชื้น (Moisture content) และค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w)

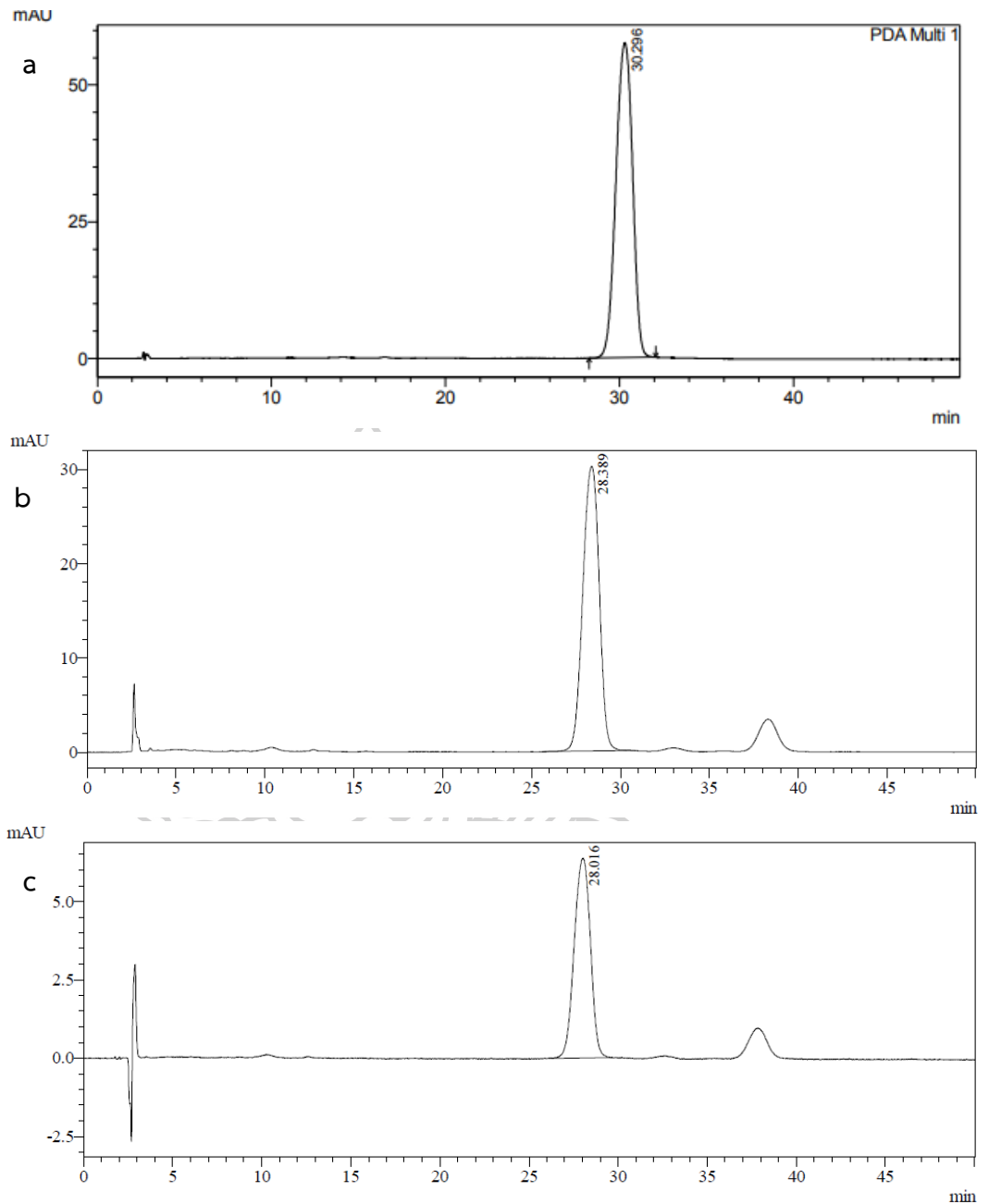
ตัวอย่าง	ปริมาณความชื้นมะเขือเทศผง	a_w
ควบคุม	16.10 ± 0.36^a	0.2603 ± 0.06^a
SPI 5%	11.32 ± 0.06^c	0.2077 ± 0.01^b
RP 5%	11.67 ± 0.10^c	0.2176 ± 0.02^b
PP 5%	11.35 ± 0.18^c	0.2346 ± 0.02^{ab}
GMS 5%	14.51 ± 0.32^b	0.2070 ± 0.01^b
SPI 10%	9.99 ± 0.84^d	0.2347 ± 0.03^{ab}
RP 10%	9.90 ± 1.07^d	0.2098 ± 0.01^b
PP 10%	10.24 ± 0.40^d	0.2685 ± 0.03^a
GMS 10%	14.19 ± 0.49^b	0.2153 ± 0.01^b

a, b และ c หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบในคอลัมน์เดียวกัน

จากการศึกษาใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโพลิมะเขือเทศที่ระดับความเข้มข้น 5 และ 10% พบว่ามีการใช้ระยะเวลาในการทำแห้งที่นานที่สุดอยู่ที่ 1320 และ 1620 นาที ตามลำดับ และยังพบว่าปริมาณความชื้นของมะเขือเทศผงที่ได้มีค่ามากกว่า 13% เนื่องจากการใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโพลิมะเขือเทศมีค่าการขยายตัวของโพลิมะเขือเทศที่ต่ำและมีค่าความหนาแน่นของโพลิมะเขือเทศมากกว่าการใช้สารก่อให้เกิดโพลิมะเขือเทศชนิดอื่น ส่งผลให้ในระหว่างการทำแห้งน้ำภายในโพลิมะเขือเทศมีการระเหยน้ำออกจากโพลิมะเขือเทศได้ช้าและยากกว่าอีกทั้งเมื่อนำมาบดเป็นผงอีกทั้งยังพบว่าผงที่ได้มีลักษณะที่จับตัวกันเป็นก้อนและมีการดูดความชื้นกลับที่เร็วกว่าการใช้สารก่อให้เกิดโพลิมะเขือเทศชนิดอื่น

4.4.4. ผลของชนิดและความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟมต่อสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของมะเขือเทศผง

ในการศึกษาปริมาณไลโคปีนด้วยวิธี HPLC (ภาพที่ 19) พบว่าเมื่อเปรียบเทียบค่าของปริมาณไลโคปีนที่ใช้สารก่อให้เกิดโฟมที่ระดับความเข้มข้นเดียวกัน พบว่าปริมาณไลโคปีนของโฟมมะเขือเทศที่ใช้ SPI มีปริมาณไลโคปีนมากที่สุดแสดงดังตารางที่ 18 ซึ่งที่ผลสอดคล้องกับค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่วิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH-assay พบว่ามะเขือเทศผงที่ใช้ SPI เป็นสารก่อให้เกิดโฟมมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด เนื่องจากโฟมมะเขือเทศของ SPI มีค่าการขยายตัวที่สูงส่งผลให้ใช้ระยะเวลาในการทำแห้งที่รวดเร็ว โฟมมะเขือเทศจึงสัมผัสกับอากาศร้อนภายในตู้อบแห้งลมร้อนน้อยกว่าโฟมมะเขือเทศที่ใช้สารก่อให้เกิดโฟมชนิดอื่น และเมื่อเปรียบเทียบกับโฟมมะเขือเทศที่ใช้ GMS ที่ระดับความเข้มข้น 10% พบว่าใช้ระยะเวลาในการทำแห้งนานที่สุด 1620 นาที (27 ชั่วโมง) พบปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศผงอยู่เพียงแค่ 49.45 ± 0.16 mg/g dry basis และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระอยู่ที่ 0.09 ± 0.00 มิลลิกรัมโทรลอคซ์/กรัมตัวอย่างแห้ง แต่การใช้ SPI 10% เป็นสารก่อให้เกิดโฟมใช้เวลาในการทำแห้ง 510 นาที (8.5 ชั่วโมง) มีปริมาณไลโคปีนอยู่ 64.30 ± 0.44 mg/g dry basis และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระอยู่ที่ 0.82 ± 0.05 มิลลิกรัมโทรลอคซ์/กรัมตัวอย่างแห้ง จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติพบว่าทั้งปริมาณไลโคปีน และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Hossain และคณะ (2021) พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟมส่งผลให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้น จึงสันนิษฐานได้ว่าการขยายตัวของโฟมส่งผลต่อสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในมะเขือเทศผง

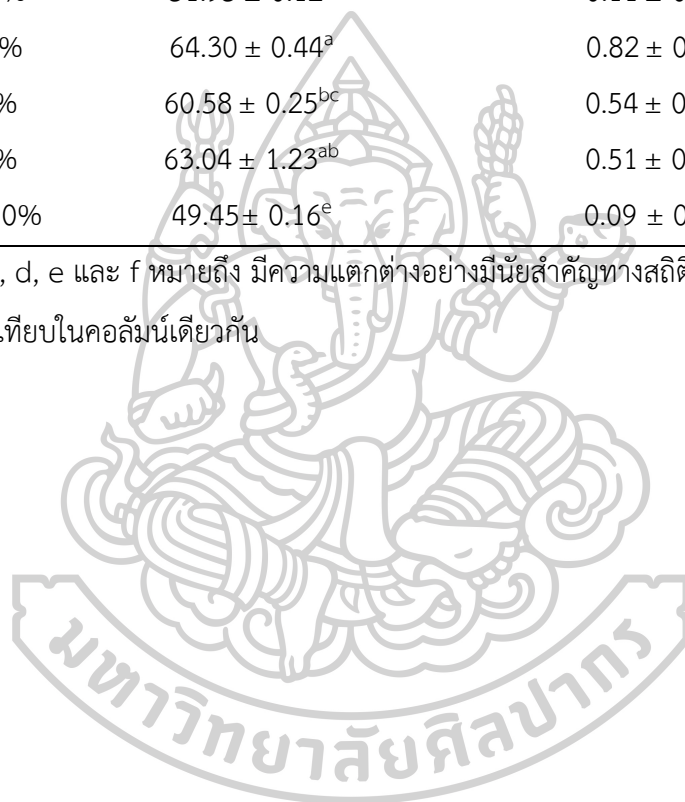


ภาพที่ 19 ตัวอย่างโครมาโทแกรมของไลโคปีนที่วิเคราะห์ด้วยวิธี HPLC ที่ความยาวคลื่น 475 นาโนเมตร (a) สารมาตรฐานของไลโคปีนที่ความเข้มข้น 100 ppm (b) มะเขือเทศผง ชุดควบคุม (c) มะเขือเทศผงที่เติม PP 10%

ตารางที่ 18 ปริมาณไลโคปีน และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH-assay

ตัวอย่าง	ปริมาณไลโคปีน (มิลลิกรัม/กรัมตัวอย่างแห้ง)	DPPH (มิลลิกรัมโทรลอคซ์/กรัมตัวอย่างแห้ง)
ควบคุม	45.88 ± 0.01 ^f	0.07 ± 0.00 ^e
SPI 5%	61.00 ± 0.87 ^{bc}	0.35 ± 0.04 ^b
RP 5%	58.22 ± 0.96 ^c	0.32 ± 0.01 ^{bc}
PP 5%	55.06 ± 0.28 ^d	0.28 ± 0.01 ^d
GMS 5%	51.95 ± 0.12 ^e	0.11 ± 0.01 ^e
SPI 10%	64.30 ± 0.44 ^a	0.82 ± 0.05 ^a
RP 10%	60.58 ± 0.25 ^{bc}	0.54 ± 0.03 ^b
PP 10%	63.04 ± 1.23 ^{ab}	0.51 ± 0.11 ^b
GMS 10%	49.45 ± 0.16 ^e	0.09 ± 0.00 ^e

a, b, c, d, e และ f หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบในคอลัมน์เดียวกัน



สรุปผลการทดลอง

ผลจากการศึกษาชนิดและความเข้มข้นของสารก่อเกิดโฟม พบว่าทั้งชนิดและความเข้มข้นของสารก่อเกิดโฟมมีความสำคัญอย่างมากต่อความหนาแน่น การขยายตัว และความคงตัวของโฟม โดยพบว่าสารก่อเกิดโฟมที่ดีที่สุดจากการทดลอง คือ Pea protein (PP) ให้ค่าการขยายตัวที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสารก่อเกิดโฟมชนิดอื่นทั้งที่ระดับความเข้มข้น 5 และ 10% มีค่าอยู่ที่ 75.64 ± 0.91 และ 152.12 ± 1.22 ตามลำดับ เมื่อนำมาศึกษาจลนพลศาสตร์การทำแห้งที่อุณหภูมิ 70°C พบว่าโฟมมะเขือเทศที่มีการขยายตัวมากและความหนาแน่นต่ำ ส่งผลให้ใช้ระยะเวลาในการทำแห้งน้อย เนื่องจากโฟมที่มีการขยายตัวที่มากสามารถกักเก็บอากาศไว้ภายในอาหารได้เป็นจำนวนมาก ส่งผลให้อาหารมีพื้นที่สัมผัสกับอากาศร้อนเพิ่มขึ้น และเกิดการถ่ายเทความชื้นออกจากอาหารได้ดี นอกจากนี้ยังพบว่าโฟมมะเขือเทศที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองไฮโซเลทและโปรตีนถั่วลันเตาที่ระดับความเข้มข้น 10% ใช้ระยะเวลาในการทำแห้งสั้นที่สุดอยู่ที่ 510 นาที มีปริมาณความชื้นร้อยละ 9.99 ± 0.84 และ 10.24 ± 0.40 ฐานเปียก ตามลำดับ และยังพบว่ามีความปลอดภัยในการต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด เนื่องจากใช้เวลาในการทำแห้งน้อย จึงส่งผลให้สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่อยู่ในมะเขือเทศเกิดการสลายตัวน้อยกว่าตัวอย่างอื่นๆ เนื่องจากการสัมผัสความร้อนเป็นเวลานานน้อยกว่าโฟมมะเขือเทศที่ใช้สารก่อเกิดโฟมที่ชนิดและความเข้มข้นอื่น ดังนั้นวิธีการที่แนะนำสำหรับการผลิตมะเขือเทศผงด้วยวิธีโฟมแมทคือ การใช้สารก่อเกิดโฟมโปรตีนถั่วเหลืองไฮโซเลทและโปรตีนถั่วลันเตาที่ระดับความเข้มข้น 5 และ 10%

รายการอ้างอิง



เอกสารอ้างอิง

- AOAC. (2000). Official methods of analysis of AOAC international. *17th ed.*
Gaithersburg, MD: AOAC International.
- Ayensu, A. (1997). Dehydration of food crops using a solar dryer with convective heat flow. *Solar Energy*, *59*(4), 121-126.
- Auisakchaiyoung, T., & Rojanakorn, T. (2015). Effect of foam-mat drying conditions on quality of dried Gac fruit (*Momordica cochinchinensis*) aril. *International Food Research Journal*, *22*, 2025-2031.
- 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.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, *28*(1), 25-30.
- Diamante, L. M., & Munro, P. A. (1993). Mathematical modelling of the thin layer solar drying of sweet potato slices. *Solar Energy*, *51*(4), 271-276.
- El-Salam, A., Abd El-Salam, E., Ali, A. M., & Hammad, K. S. (2021). Foaming process optimization, drying kinetics and quality of foam mat dried papaya pulp. *Journal of Food Science and Technology*, *58*(4), 1449-1461.
- Falade, K. O., & Okocha, J. O. (2012). Foam-Mat Drying of Plantain and Cooking Banana (*Musa spp.*). *Food and Bioprocess Technology*, *5*(4), 1173-1180.
- Fernandes, R. V. d. B., Queiroz, F., Botrel, D. A., Rocha, V. V., Lima, C. F. d., & Souza, V. R. d. (2013). Foam mat drying of tomato pulp. *Biosci. j.(Online)*, 816-825.
- Gaikwad, P. S., Sunil, C. K., Negi, A., & Pare, A. (2022). Effect of microwave assisted hot-air drying temperatures on drying kinetics of dried black gram papad (Indian snack food): Drying characteristics of black gram papad. *Applied Food Research*, *2*(2), 100144.
- Górecka, D., Wawrzyniak, A., Jędrusek-Golińska, A., Dziedzic, K., Hamulka, J., Kowalczewski, P., & Walkowiak, J. (2020). Lycopene in tomatoes and tomato products. *Open Chemistry*, *18*, 752-756.

- Hossain, M., Mitra, S., Belal, M., & Zzaman, W. (2021). Effect of foaming agent concentration and drying temperature on biochemical properties of foam mat dried tomato powder. *Food Research*, 5, 291-297.
- Iqbal, M. (2018). A review paper on foam-mat drying of fruits and vegetables to develop powders. *MOJ Food Processing & Technology*, 6, 465-467.
- Jimenez, A., Creissen, G., Kular, B., Firmin, J., Robinson, S., Verhoeyen, M., & Mullineaux, P. (2002). Changes in oxidative processes and components of the antioxidant system during tomato fruit ripening. *Planta*, 214(5), 751-758.
- Kadam, D. M., & Balasubramanian, S. (2011). Foam Mat Drying of Tomato Juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 35(4), 488-495.
- 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.
- Lenucci, M. S., Cadinu, D., Taurino, M., Piro, G., & Dalessandro, G. (2006). Antioxidant composition in cherry and high-pigment tomato cultivars. *J Agric Food Chem*, 54(7), 2606-2613.
- M. White, G., J. Ross, I., & G. Poneleit, C. (1981). Fully-Exposed Drying of Popcorn. *Transactions of the ASAE*, 24(2), 466-0468.
- 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.
- Ng, M. L., & Sulaiman, R. (2018). Development of beetroot (*Beta vulgaris*) powder using foam mat drying. *Lwt*, 88, 80-86.
- Raffo, A., Leonardi, C., Fogliano, V., Ambrosino, P., Salucci, M., Gennaro, L., Bugianesi, R., Giuffrida, F., & Quaglia, G. (2002). Nutritional value of cherry tomatoes (*Lycopersicon esculentum* cv. Naomi F1) harvested at different ripening stages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(22), 6550-6556.
- Rao, A. V., Ray, M., & Rao, L. (2006). Lycopene. *Advances in food and nutrition research*, 51, 99-164.

- Salahi, M. R., Mohebbi, M., & Taghizadeh, M. (2015). Foam-Mat Drying of Cantaloupe (Cucumis melo): Optimization of Foaming Parameters and Investigating Drying Characteristics. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 1798-1808.
- Sangamithra, A., Sivakumar, V., John, S. G., & Kannan, K. (2015). Foam mat drying of food materials: A review. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 3165-3174.
- Sankat, C. K., & Castaigne, F. (2004). Foaming and drying behaviour of ripe bananas. *LWT - Food Science and Technology*, 37(5), 517-525.
- Shi, J., & Maguer, M. L. (2000). Lycopene in tomatoes: chemical and physical properties affected by food processing. *Critical reviews in food science and nutrition*, 40(1), 1-42.
- 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.
- Szymanski, A., & Alanis, K. G. (2019). "CARACTERIZACIÓN QUÍMICA-NUTRICIA Y EVALUACIÓN SENSORIAL DE YOGURT DESHIDRATADO POR TECNOLOGÍA DE SECADO DE ESPUMAS (FOAM MAT DRYING)" QUE PRESENTA
- Tonucci, L. H., Holden, J. M., Beecher, G. R., Khachik, F., Davis, C. S., & Mulokozi, G. (1995). Carotenoid Content of Thermally Processed Tomato-Based Food Products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43(3), 579-586.
- Thuwapanichayanan, R., Prachayawarakorn, S., & Soponronnarit, S. (2008). Drying characteristics and quality of banana foam mat. *Journal of Food Engineering*, 86(4), 573-583.
- Vallverdú-Queralt, A., Medina-Remón, A., Andres-Lacueva, C., & Lamuela-Raventos, R. M. (2011). Changes in phenolic profile and antioxidant activity during production of diced tomatoes. *Food Chemistry*, 126(4), 1700-1707.
- vani, S., Verma, A. K., Sharma, P. C., Gupta, A., & Kaushal, M. (2019). Effect of Foaming Agent on Quality and Yield of Foam Mat Dried Papaya Powder. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(12), 2821-2835.

Vickie A. Vaclavik, E. W. C. (2007). Essentials of food science. *Springer, New York*, 323-324.

Xu, W., Sun, H., Li, H., Li, Z., Zheng, S., Luo, D., Ning, Y., Wang, Y., & Shah, B. R. (2022). Preparation and characterization of tea oil powder with high water solubility using Pickering emulsion template and vacuum freeze-drying. *Lwt*, 160.

จินดาพรรณ, ร. (2548). ฟองในอาหาร (Food Foams). วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม, 1(1).

สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2562). สรุปผลการสำรวจภาวะการทำงานของประชากร.







ภาคผนวก ก

สมการที่ใช้ในการทำแห้ง

1. การหาปริมาณความชื้น (ฐานเปียก)

$$MC_{w.b.} = 100 \times \left(1 + \frac{W_f}{W_t} \left(\frac{MC_f}{100-1} \right) \right)$$

เมื่อ	$MC_{w.b.}$	หมายถึง ปริมาณความชื้นฐานเปียก
	W_f	หมายถึง น้ำหนักสุดท้าย (กรัม)
	W_t	หมายถึง น้ำหนักที่เวลาใดๆ (กรัม)
	MC_f	หมายถึง ความชื้นสุดท้าย (เปอร์เซ็นต์)

2. การหาปริมาณความชื้น (ฐานแห้ง)

$$MC_{d.b.} = 100 \times \left(\frac{MC_t}{100 - MC_t} \right)$$

เมื่อ	$MC_{d.b.}$	หมายถึง ปริมาณความชื้นฐานแห้ง
	MC_t	หมายถึง ความชื้นที่เวลาใดๆ (เปอร์เซ็นต์)

3. การหาอัตราส่วนความชื้น

$$MR = \frac{MC_t - MC_{eq}}{MC_0 - MC_{eq}}$$

เมื่อ	MR	หมายถึง อัตราส่วนความชื้น
	MC_0	หมายถึง ความชื้นเริ่มต้น (เปอร์เซ็นต์)
	MC_{eq}	หมายถึง ความชื้นที่สมดุล (เปอร์เซ็นต์)

4. การหาอัตราการทำให้แห้ง

สมการ Newton $MR = \exp(-kt)$

สมการ Page $MR = \exp(-kt^n)$

สมการ Modified Page $MR = \exp(-kt)^n$

เมื่อ k และ n หมายถึง ค่าคงที่ในการทำแห้ง

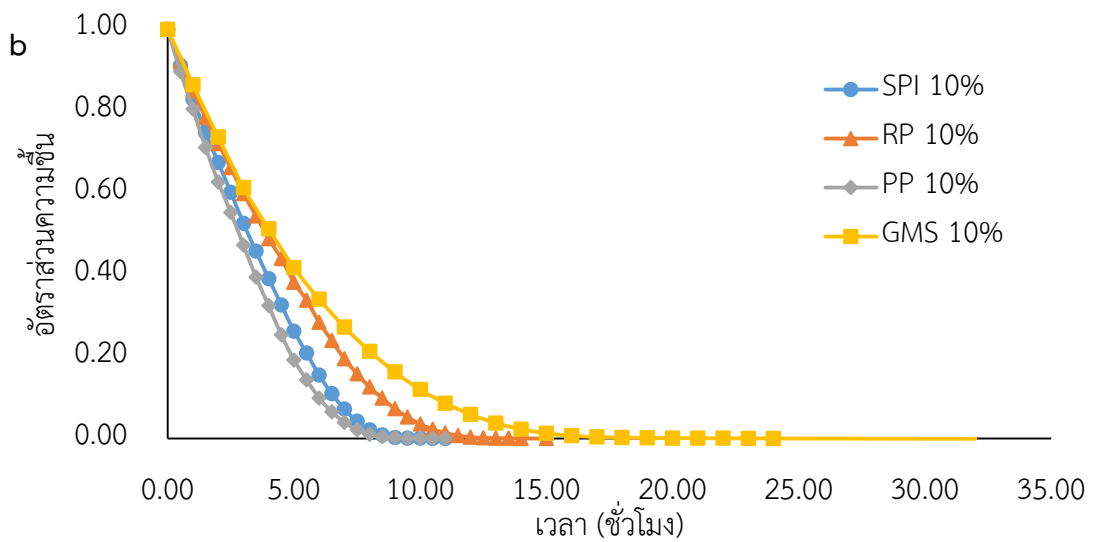
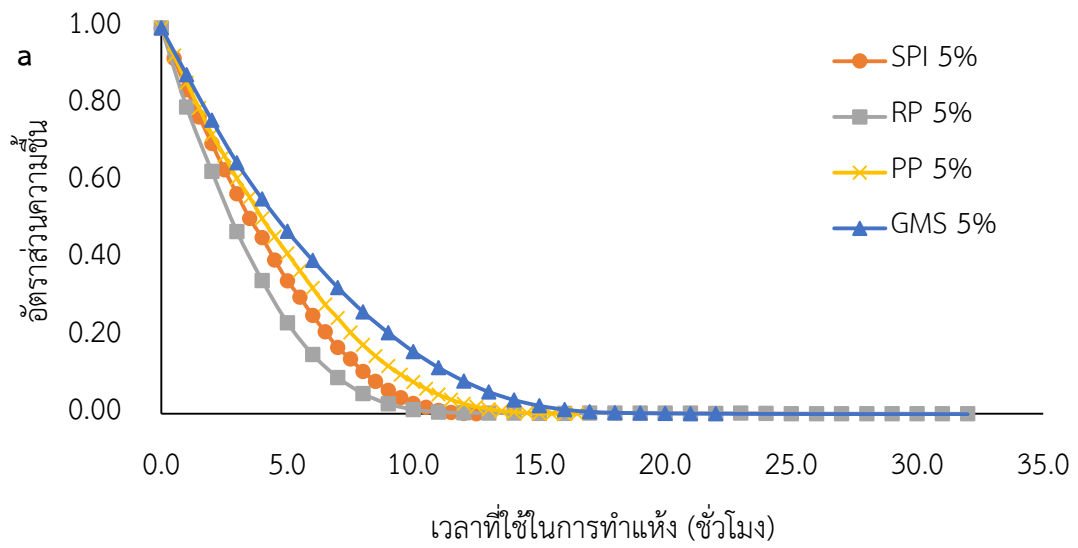
T หมายถึง เวลาในการทำแห้ง

5. การคำนวณค่า RMSE (Root Mean Square Error)

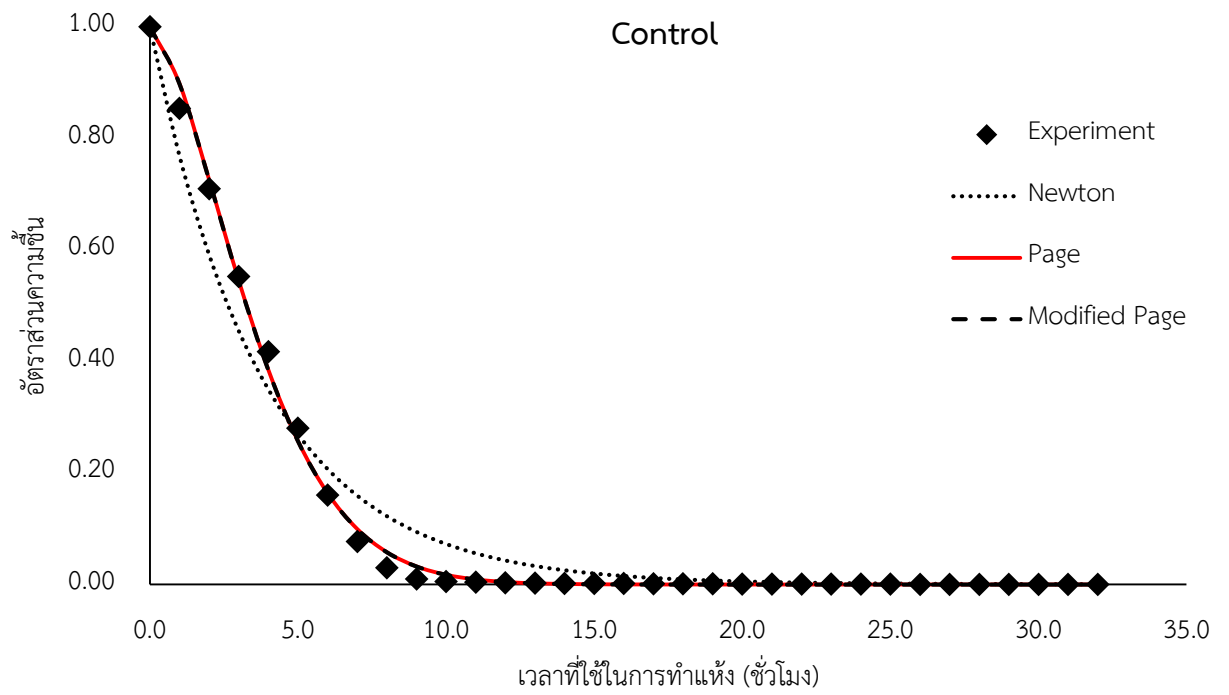
$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n \{MR_{pre} - MR_{exp}\}^2}{n} \right]^{0.5}$$

- เมื่อ MR_{pre} หมายถึง อัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการทำนายโดยใช้สมการ
 MR_{exp} หมายถึง อัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการทดลอง
N หมายถึง จำนวนค่าสังเกต



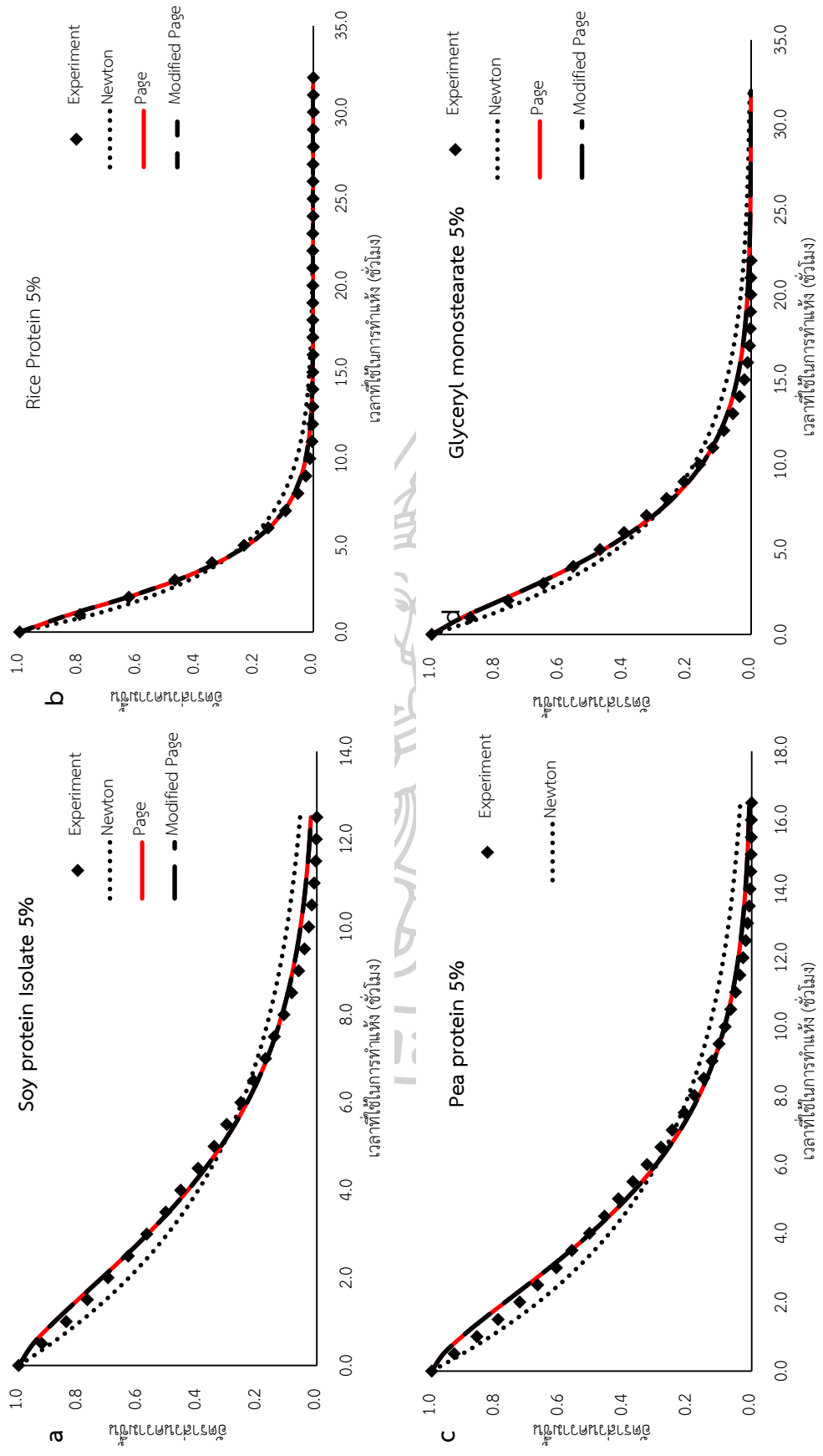


ภาพที่ 20 พฤติกรรมการทำแห้งของโฟมมะเขือเทศ (อัตราส่วนความชื้น % ฐานแห้ง) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส (a) พฤติกรรมการทำแห้งโฟมมะเขือเทศด้วยสารก่อให้เกิดโฟมที่ 5% (b) พฤติกรรมการทำแห้งโฟมมะเขือเทศด้วยสารก่อให้เกิดโฟมที่ 10%

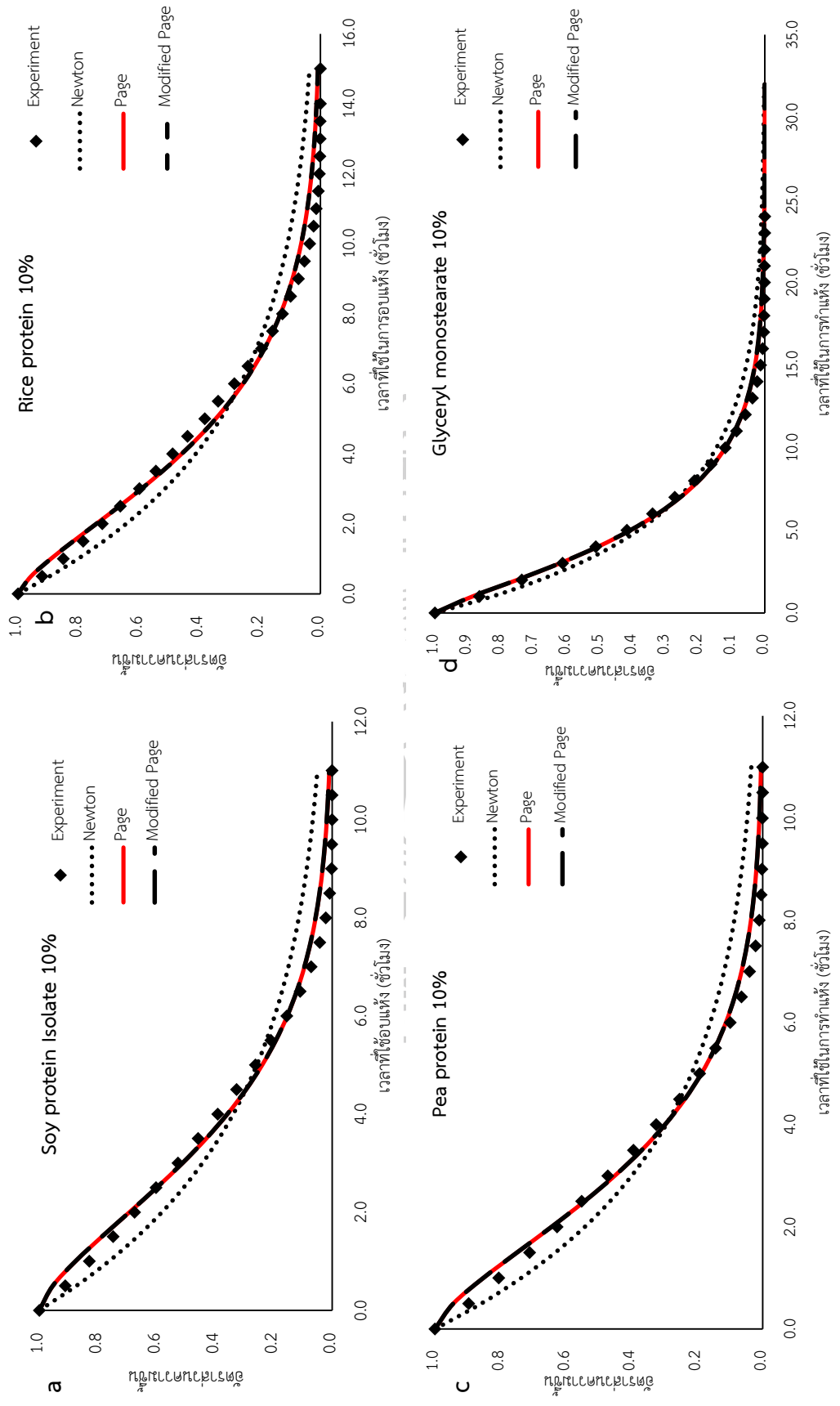


ภาพที่ 21 พฤติกรรมการทำแห้งของเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียด





ภาพที่ 22 พฤติกรรมการทำแห้งของ (a) Soy protein Isolate 5% (b) Rice protein 5% (c) Pea protein 5% และ (d) Glyceryl monostearate 5%



ภาพที่ 23 พฤติกรรมการทำแห้งของ (a) Soy protein Isolate 10% (b) Rice protein 10% และ (d) Glycerol monostearate 10%



ภาคผนวก ข

มหาวิทยาลัยศิลปากร

การวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีน ด้วย HPLC ดัดแปลงจาก Olives Barba และคณะ 2006

1. วิธีการสกัดตัวอย่าง

นำเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียด โปมมะเขือเทศ และมะเขือเทศผงที่เตรียมได้มา วิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography, HPLC) เริ่มจากชั่งเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียด และโปมมะเขือเทศ 10 ± 0.5 กรัม มะเขือเทศผง 3 ± 0.5 กรัม ด้วยเครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายผสมเฮกเซน:อะซิโตน:เอทานอล (Hexane:acetone:ethanol) 50:25:25 ปริมาตรต่อปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร จากนั้นทำการเติมสารละลายโดยแบ่งการสกัดเป็น 3 ช่วง โดยช่วงที่ 1 เติม สารละลายผสม 40 มิลลิลิตร แล้วนำไปกวนด้วยเครื่องกวนสาร (Stirrer) เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง whatman no.4 ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร (ในแต่ละขั้นตอนหลีกเลี่ยงการโดนแสง) แล้วนำไปเทใส่กรวยแยกสีชาโดยในช่วงที่ 2 และ 30 ทำการเติมสารละลายผสม 30 มิลลิลิตร แล้วทำขั้นตอนซ้ำกับช่วงที่ 1 เมื่อสกัดครบ 3 รอบแล้วทำการเติมน้ำกลั่นลงในกรวยแยกสีชาแล้วทำการเขย่า 4-5 ครั้ง แล้วตั้งทิ้งไว้ ประมาณ 10 นาที เมื่อครบ 10 นาที ให้ทำการเก็บส่วนใสด้านบนเพื่อนำไปเข้าเครื่องระเหยต่อโดยใช้ อุณหภูมิในการระเหยอยู่ที่ 40 องศาเซลเซียส อุณหภูมิ Cooling ที่ 15 องศาเซลเซียส ความเร็วในการหมุนขวดตัวอย่างที่ 90 รอบต่อนาที (rpm) จากนั้นทำการชะตัวอย่างด้วยเฮกเซนเกรด HPLC 10 มิลลิลิตร แล้วนำตัวอย่างไปเก็บในขวดสีชาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ทำการสกัด 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง

2. การเตรียมกราฟมาตรฐาน

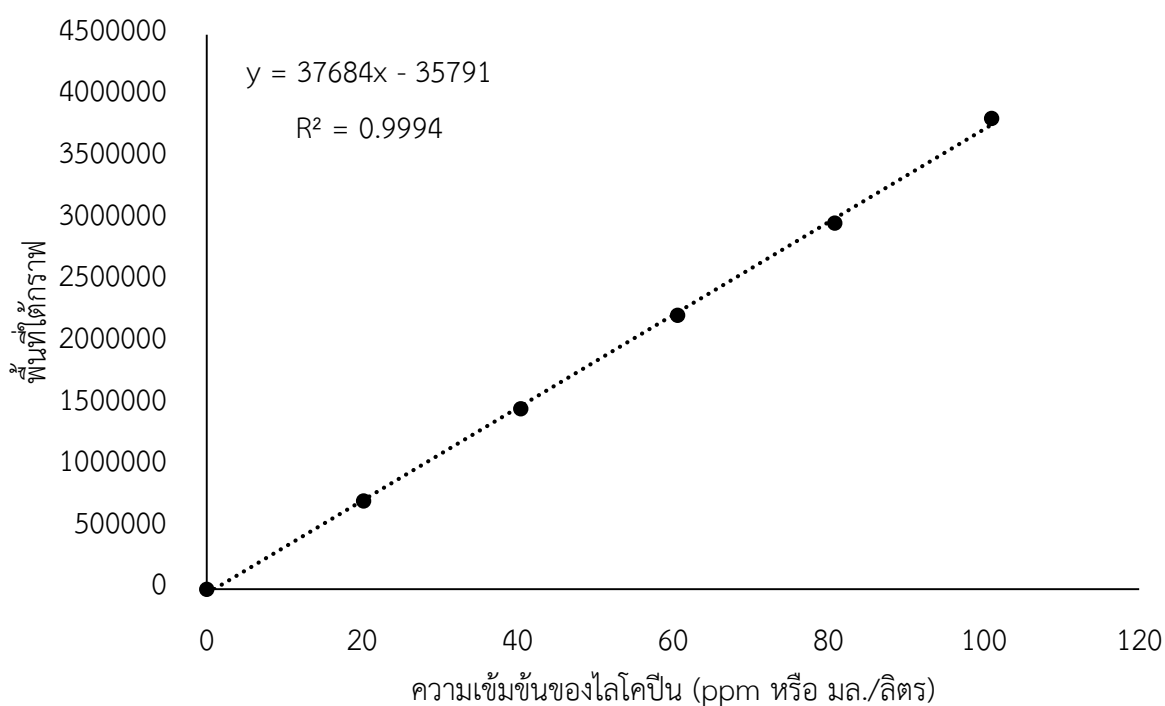
เตรียมสารมาตรฐานของไลโคปีนที่ความเข้มข้น 20 40 60 80 และ 100 ppm โดยชั่งสารมาตรฐานไลโคปีน 0.00100 ± 0.05 กรัม ด้วยเครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง ลงขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร โดยใช้เฮกเซนเกรด HPLC เป็นตัวทำละลาย สภาวะในการวิเคราะห์ของ HPLC ใช้ เมทานอล : อะซิโตนไนไตรล์ (90:10) เป็นเฟสเคลื่อนที่ใช้คอลัมน์ขนาด C_{18} อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ที่ความยาวคลื่น 475 นาเมตร อัตราการไหลอยู่ที่ 1 มิลลิลิตรต่อนาที จากนั้นทำการสร้างกราฟมาตรฐาน

3. การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography, HPLC)

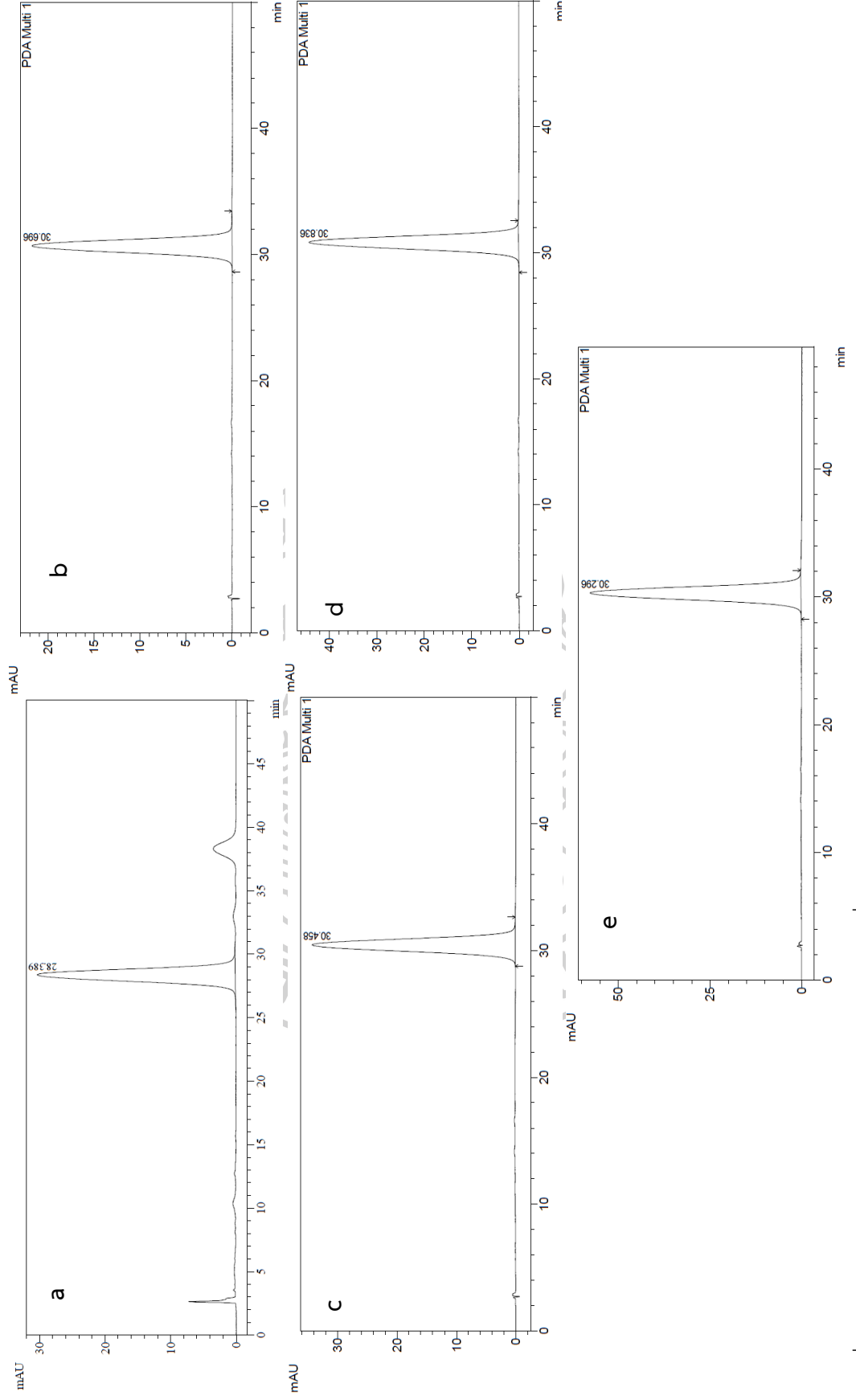
นำสารสกัดที่ได้มาวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีน ก่อนการวิเคราะห์นำตัวอย่างที่สกัดได้มาเจือจางด้วยเฮกเซนเกรด HPLC โดยปิเปตสารสกัดมา 1 มิลลิลิตร เจือจางด้วยเฮกเซน 9 มิลลิลิตรจากนั้นนำพื้นที่ใต้กราฟมาวิเคราะห์หาปริมาณไลโคปีน ทำการทดลอง 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง

รายละเอียดสภาวะ HPLC

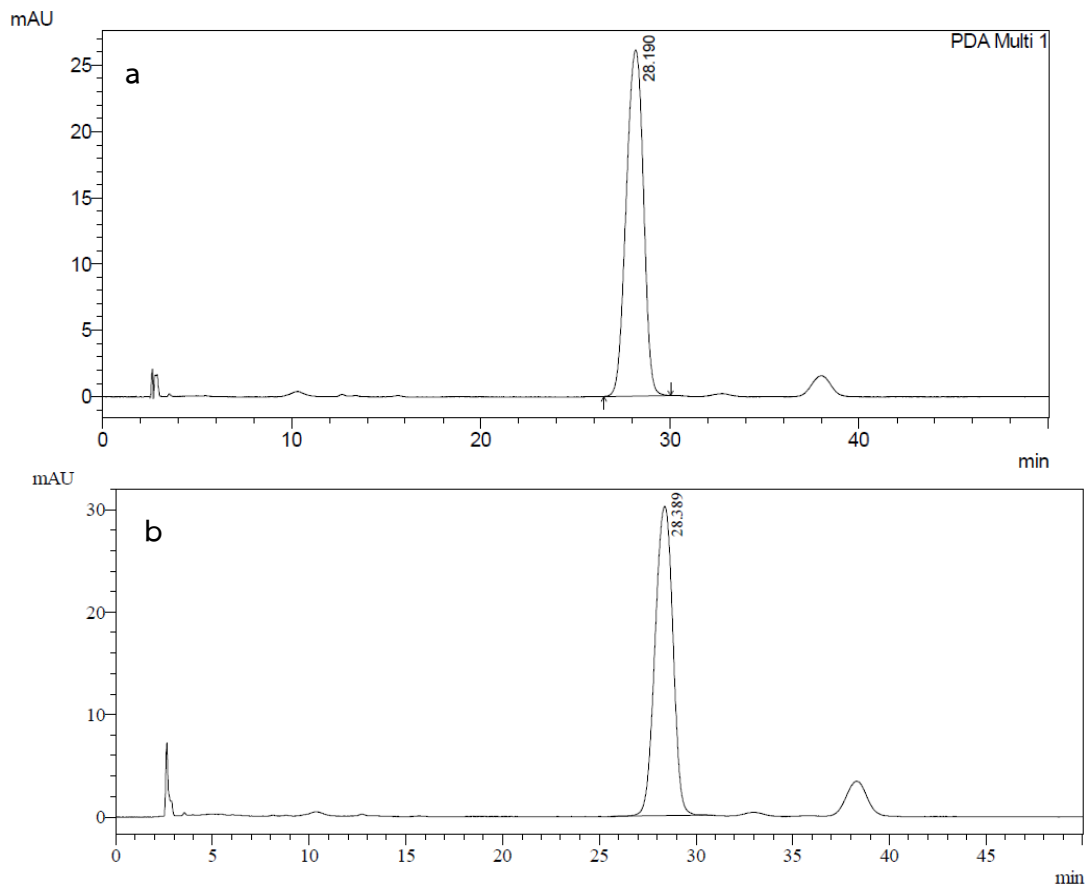
- ใช้คอลัมน์ C18 ในการแยกสารและควบคุมอุณหภูมิคอลัมน์ 30 องศาเซลเซียส
- ปริมาณสารตัวอย่างที่ฉีดเข้าเครื่อง 20 ไมโครลิตร
- ใช้ระบบ Gradient ในการวิเคราะห์
- สัดส่วนของเฟสเคลื่อนที่สารละลายเมทานอล : อะซิโตนไนไตรล์ (90:10)
- อัตราการไหลที่ 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที
- ติดตามปริมาณไลโคปีนที่ความยาวคลื่น 475 นาโนเมตร



ภาพที่ 24 กราฟมาตรฐานสารละลายไลโคปีน

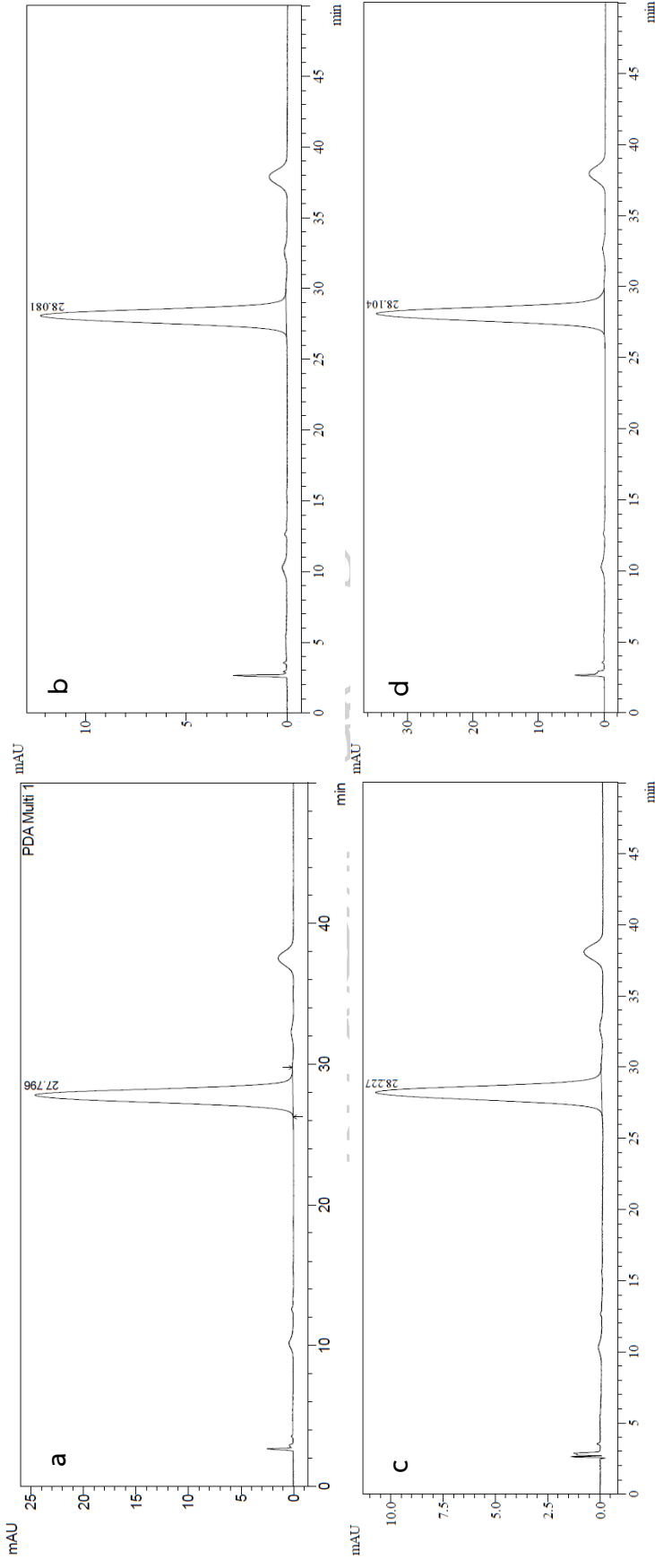


ภาพที่ 25 โครมาโทแกรมสารละลายมาตรฐานไลโคปีนที่ความเข้มข้น (a) 20 ppm (b) 40 ppm (c) 60 ppm (d) 80 ppm และ (e) 100 ppm

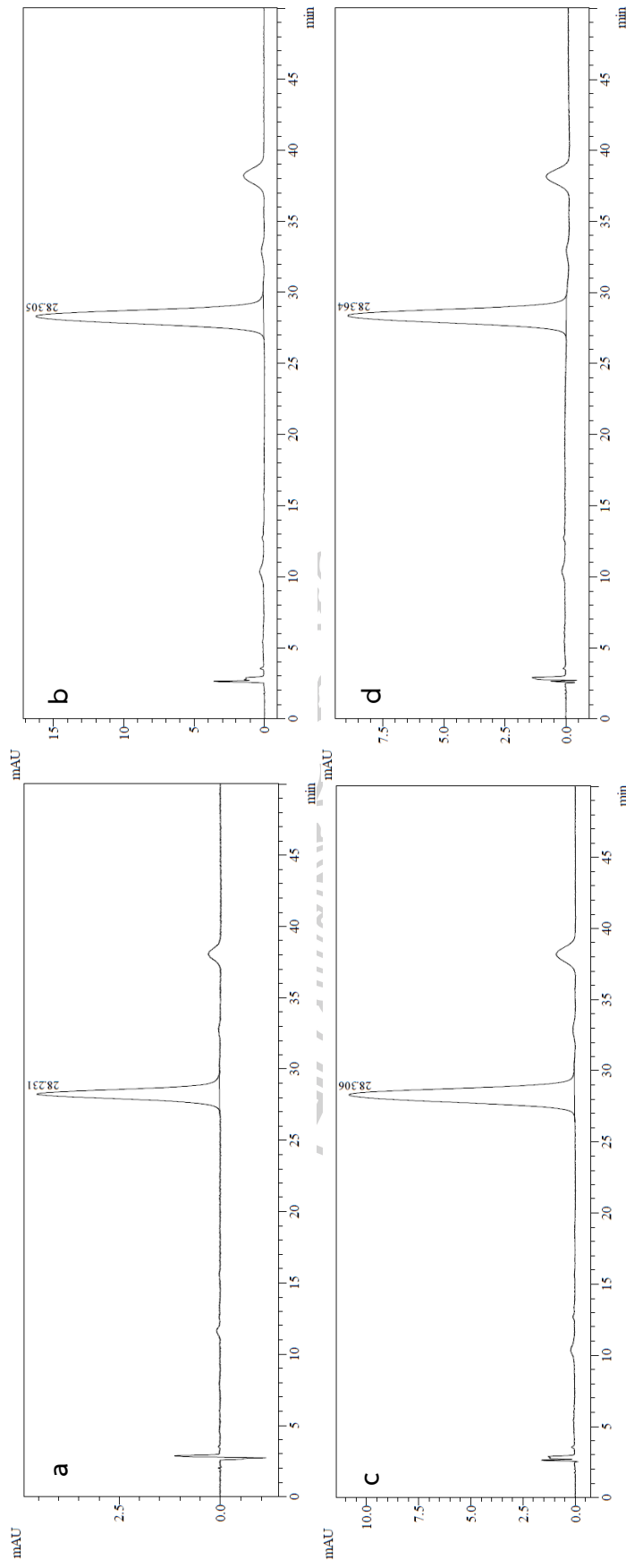


ภาพที่ 26 โครมาโทแกรมปริมาณไลโคปีนของ (a) เนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียด (ควบคุม) (b) ผงมะเขือเทศ (ควบคุม)

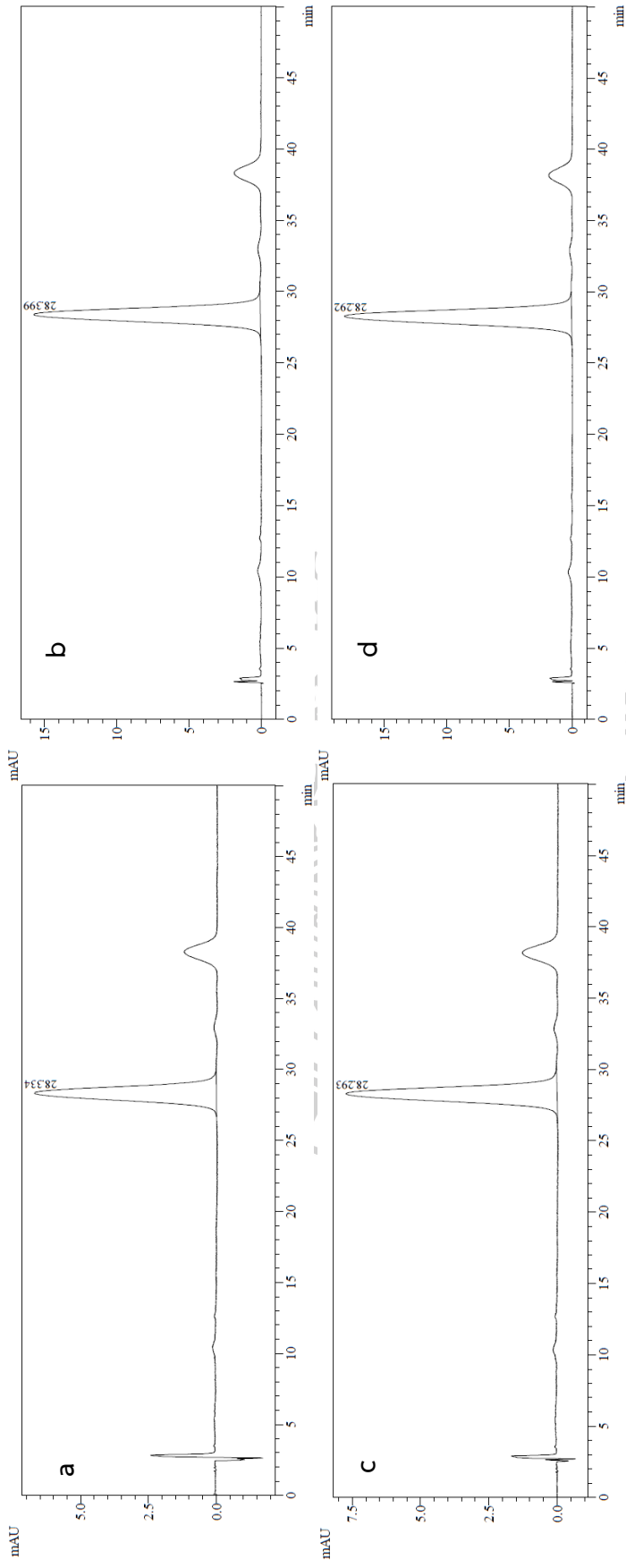




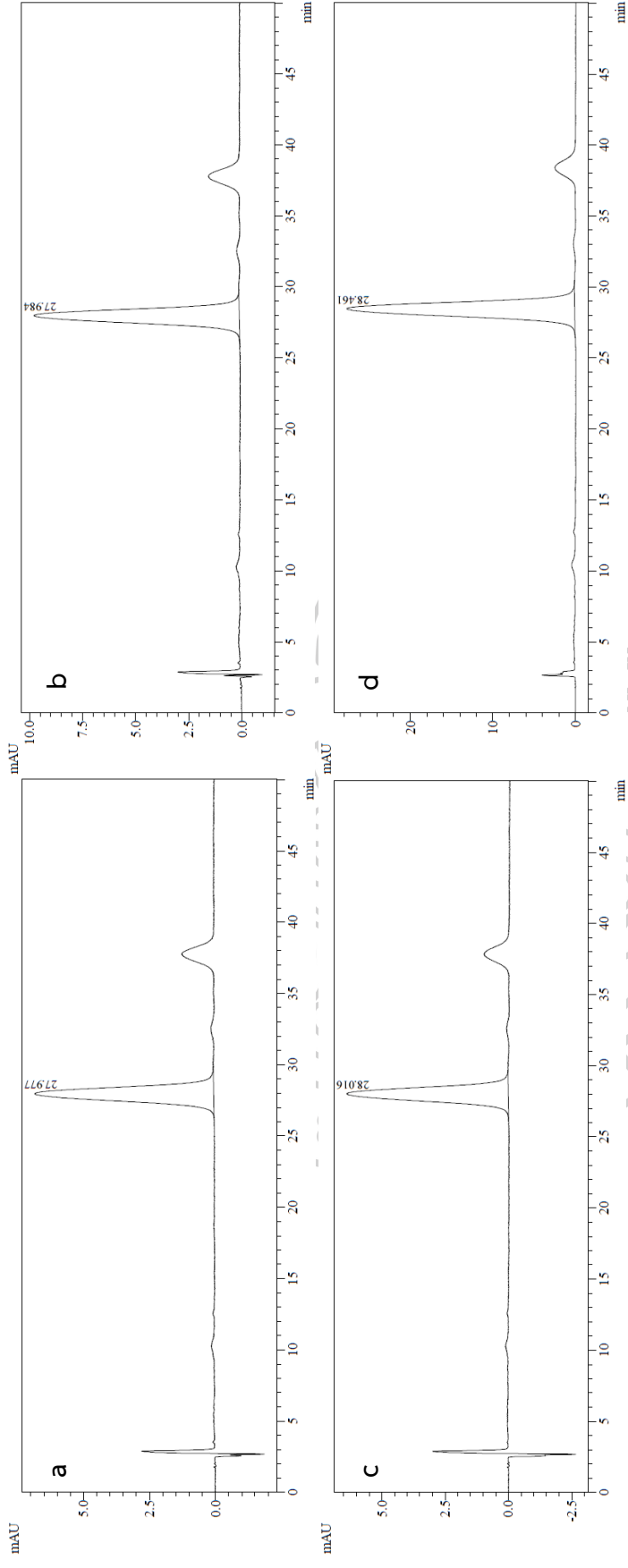
ภาพที่ 27 โครมาโทแกรมปริมาณไลโคปีนของโพลีเมอร์เชิงเทคที่สารก่อให้เกิดฟองความเข้มข้น 5% (a) Soy protein isolate (b) Rice protein (c) Pea protein และ (d) Glycerol monostearate



ภาพที่ 28 โครมาโทแกรมปริมาณไลโคปีนของโพแทสเซียมอะซิเตตที่สกัดให้เกิดขึ้น 10% (a) Soy protein isolate (b) Rice protein (c) Pea protein และ (d) Glyceryl monostearate



ภาพที่ 29 โครมาโทแกรมปริมาณไลโคปีนของมะเขือเทศงที่สารก่อให้เกิดโพลีความเข้มข้น 5% (a) Soy protein Isolate (b) Rice protein (c) Pea protein และ (d) Glycerol monostearate



ภาพที่ 30 โครมาโทแกรมปริมาณได้คือเป็นของมะเขือเทศซึ่งใส่สารก่อให้เกิดโพลีความเข้มข้น 10% (a) Soy protein isolate (b) Rice protein (c) Pea protein และ (d) Glyceryl monostearate



ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันในมะเขือเทศสดด้วยวิธี DPPH-assay ดัดแปลง จาก Brand -Williams และคณะ, 1994

1. เตรียมสารละลาย 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)

1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) ความเข้มข้น 6×10^{-5} M ชั่ง 0.0059 กรัม ด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ลงบีกเกอร์จากนั้นละลายด้วยเมทานอล 99.99% คนให้ละลายใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วทำการปรับปริมาตรด้วยเมทานอล โดยควบคุมไม่ให้สัมผัสแสง จากนั้นทำไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร

2. เตรียมกราฟมาตรฐานโทรลอกซ์สำหรับการวิเคราะห์ DPPH-assay

เตรียมสารละลายโทรลอกซ์โดยชั่งโทรลอกซ์ 0.0250 กรัม ด้วยเครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง ละลายด้วยเมทานอลใส่ในขวดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปรับความเข้มข้นให้ได้ 0 20 50 100 150 และ 250 ppm จากนั้นปิเปตสารโทรลอกซ์มา 0.1 มิลลิลิตร มาทำปฏิกิริยากับ DPPH 3.9 มิลลิลิตร แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 10 วินาที ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 120 นาที นำมาวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยทำการทดลอง 2 ซ้ำต่อตัวอย่างเพื่อนำมาสร้างกราฟมาตรฐาน

3. วิธีการสกัด

ทำการชั่งเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียด และมะเขือเทศผงมา 3 ± 0.05 กรัม ด้วยเครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง ใส่ขวดสีชาขนาด 10 มิลลิลิตร จากนั้นแบ่งเติมเมทานอลเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 เติม 10 มิลลิลิตร และ 5 มิลลิลิตร ในช่วงที่ 2 และ 3 หลังจากเติมเมทานอลนำไปเข้าเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง whatman no.4 ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร หลังจากนั้นทำการปรับปริมาตรด้วยเมทานอลให้เป็น 25 มิลลิลิตร จากนั้นเก็บในขวดสีชาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ทำการสกัด 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง (ในแต่ละขั้นตอนควบคุมไม่ให้สัมผัสแสง)

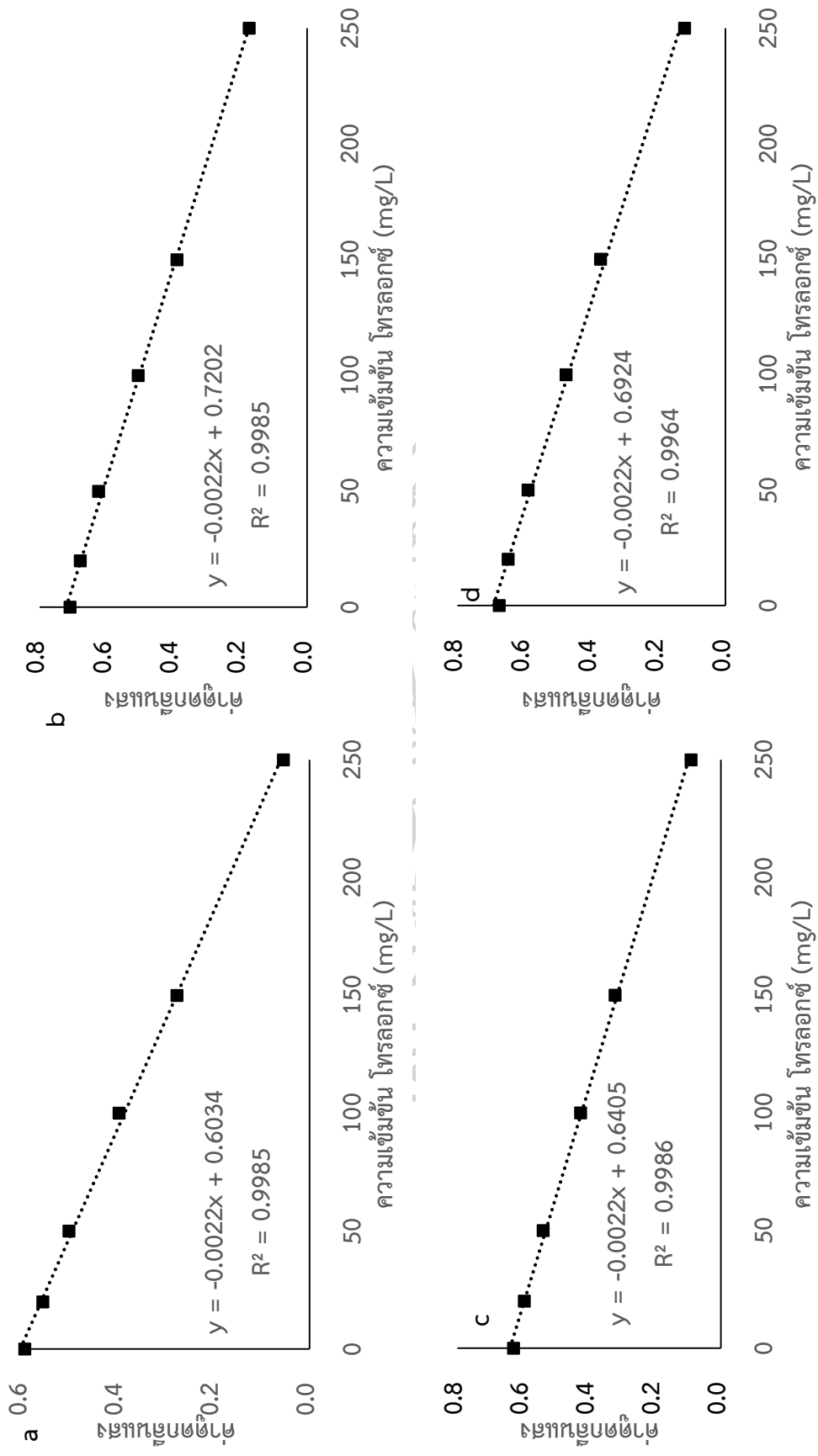
4. การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระด้วย DPPH-assay

ปิเปตสารสกัดมา 0.1 มิลลิลิตร ใส่ขวดสีชาแล้วทำปฏิกิริยากับ DPPH 3.9 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าสาร (Vortex meter) เป็นเวลา 30 วินาที จากนั้นตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 120 นาที แล้วนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ในบางตัวอย่างทำการเจือจางโดยปิเปตสารสกัด 1 มิลลิลิตร เจือจางด้วยเมทานอล 4 มิลลิลิตร ในแต่ละการทดลอง 2 ซ้ำต่อตัวอย่าง

ตารางที่ 19 ปริมาณสารมาตรฐานโทรลอกซ์ (มิลลิลิตร) ที่ใช้ในกราฟมาตรฐาน

ความเข้มข้นที่	สารมาตรฐานโทรลอกซ์ (มิลลิลิตร)
0	0
20	0.8
50	2.0
100	4.0
150	6.0
250	10.0





ภาพที่ 31 กราฟมาตรฐาน Trolox ที่ความเข้มข้นต่างๆ ในการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ (DPPH-assay) (a) ครั้งที่ 1 (b) ครั้งที่ 2 (c) ครั้งที่ 3 และ (d) ครั้งที่ 4



สมการการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

1. ค่าสีด้วยเครื่อง Hunter Lab โดยใช้ระบบ CIE L*, a* และ b*

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

$$\text{hue angle} = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right)$$

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

2. . ความหนาแน่นของโฟม (Foam Density)

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{\text{น้ำหนักของโฟม (กรัม)}}{\text{ปริมาตรของโฟม (ซม.}^3\text{)}}$$

3. การขยายตัวของโฟม (Foam Expansion)

$$\text{การขยายตัวของโฟม} = \frac{V_t - V_l}{V_l} \times 100$$

V_l = ปริมาตรของเนื้อมะเขือเทศเริ่มต้น

V_t = ปริมาตรของโฟมมะเขือเทศ ณ.เวลานั้น

4. ความคงตัวของโฟม (Foam Stability)

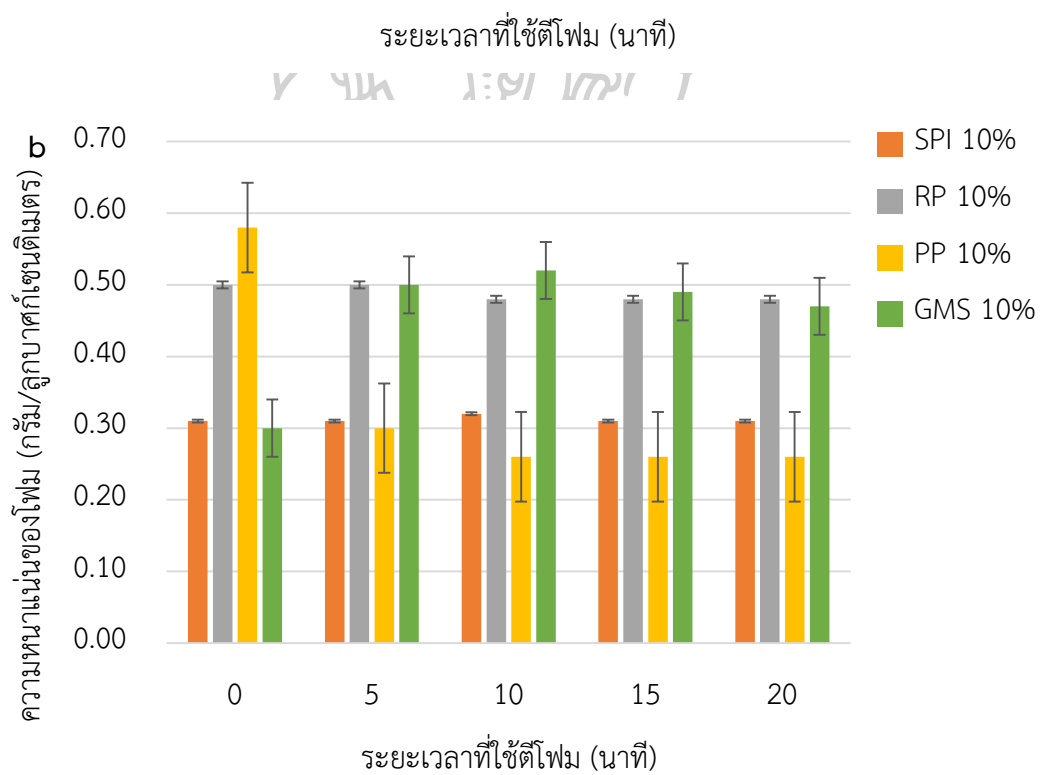
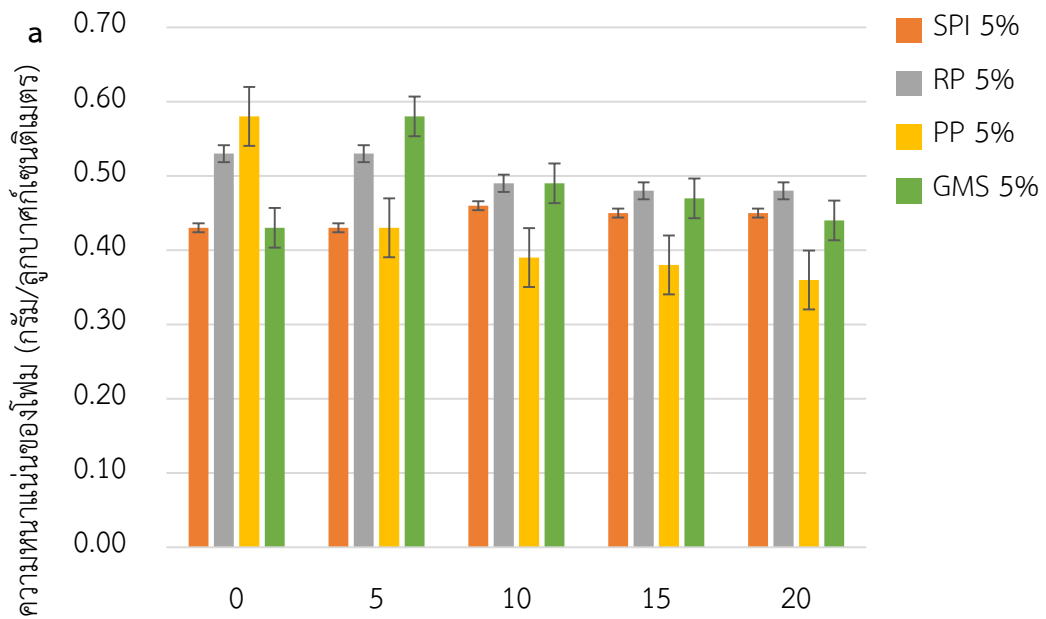
$$\text{ความคงตัวของโฟม} = \frac{V_t}{V_l} \times 100$$

V_l = ปริมาตรของโฟมที่เวลาเริ่มต้น

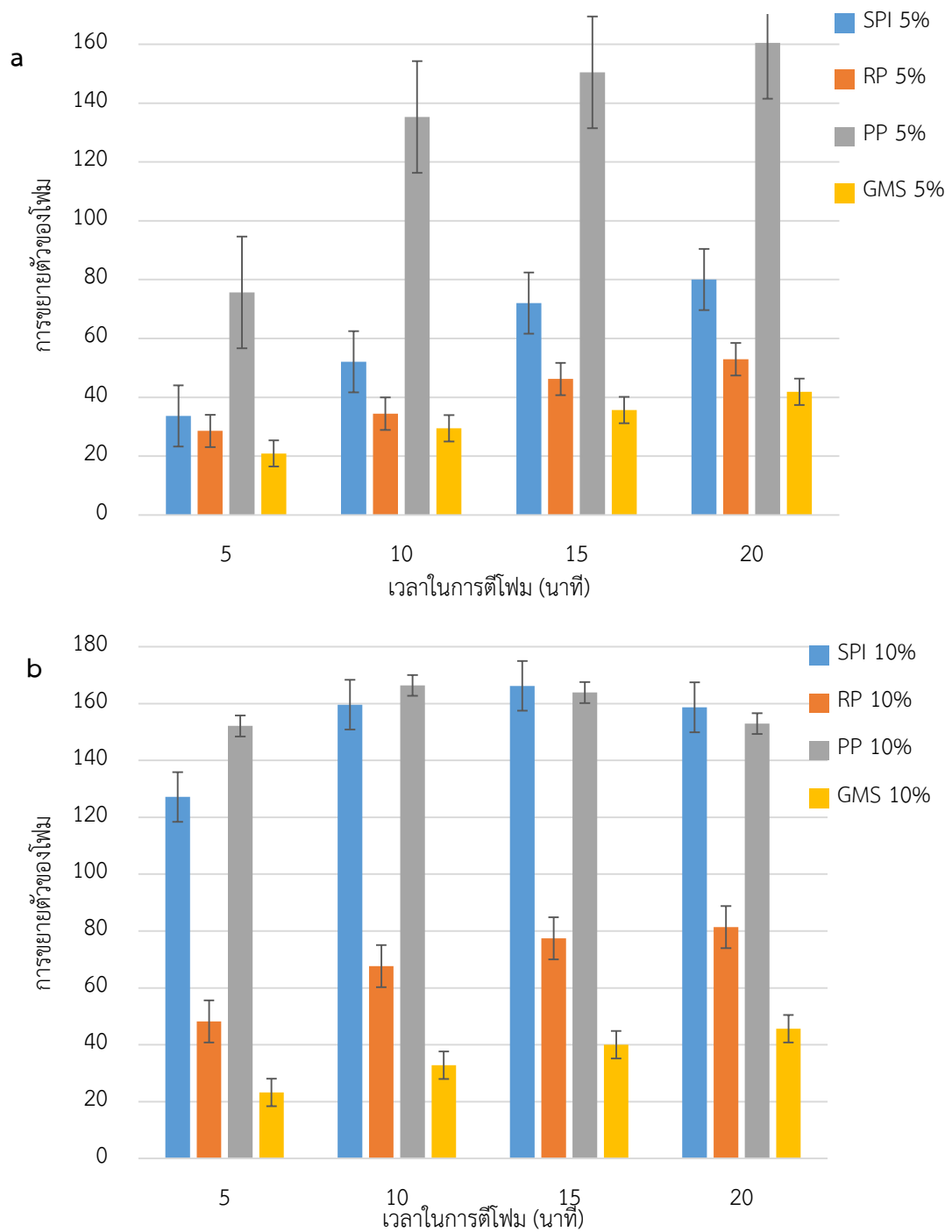
V_t = ความสูงของโฟมที่เวลานั้น

5. ความสามารถการละลาย (Water soluble index, WSI) ดัดแปลงจาก Xu และคณะ 2022

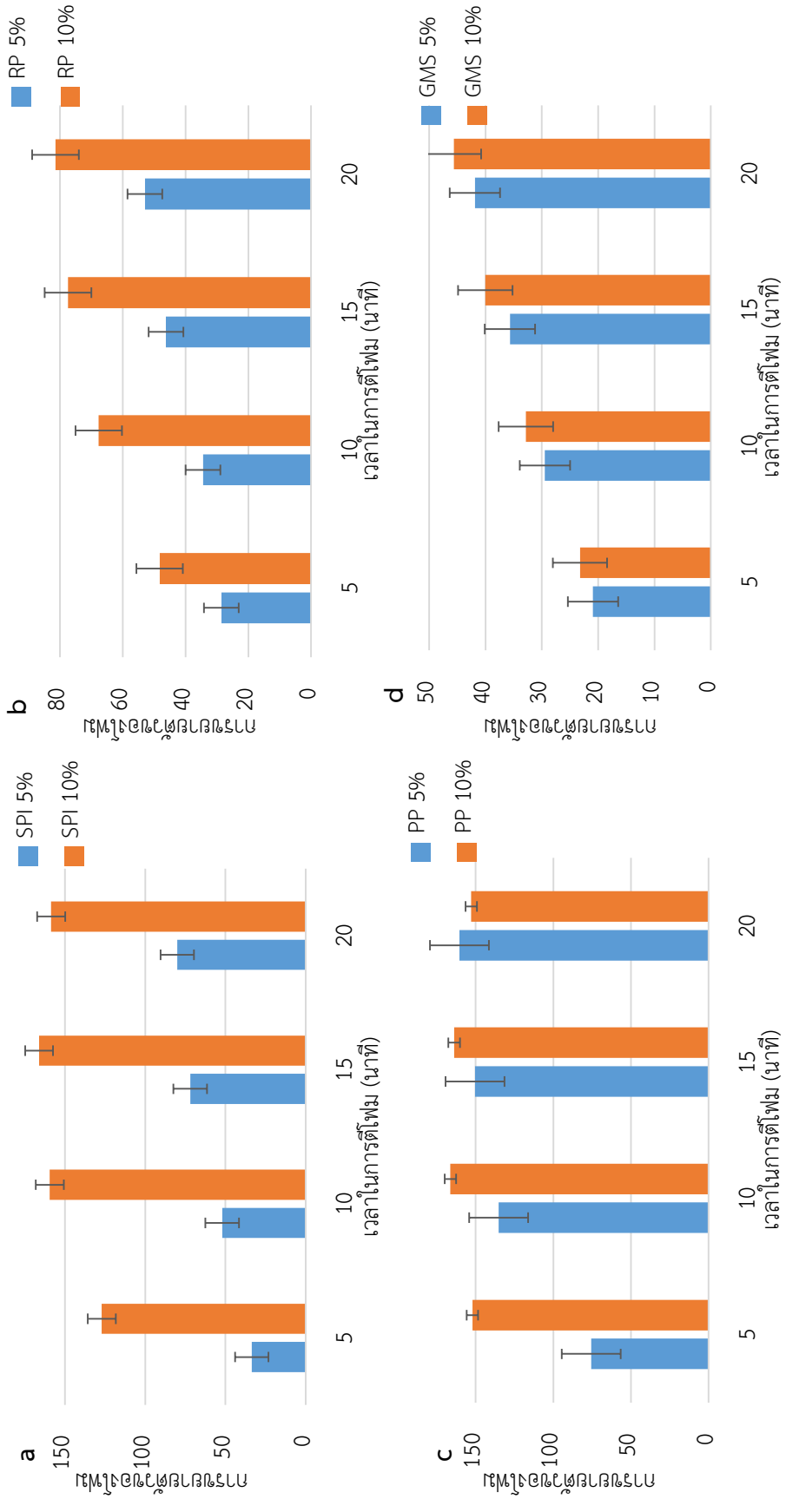
$$\text{ความสามารถในการละลาย (WSI)} = \frac{\text{น้ำหนักของแข็งที่ได้จากส่วนใส}}{\text{น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง}} \times 100$$



ภาพที่ 32 ความหนาแน่นของโฟมที่ถูกตีเป็นเวลา 0, 5, 10, 15 และ 20 นาที (a) ที่ระดับความเข้มข้น 5 และ (b) ที่ระดับความเข้มข้น 10



ภาพที่ 34 การขยายตัวของโฟมที่ถูกตีเป็นเวลา 5, 10, 15 และ 20 นาที (a) ที่ระดับความเข้มข้น 5 และ (b) ที่ระดับความเข้มข้น 10



ภาพที่ 35 การขยายตัวของโพลีเมที่ถูกตีพิมพ์เป็นเวลา 5, 10, 15 และ 20 นาที เทียบระหว่างระดับความเข้มข้นที่ 5% และ 10% (a) SPI (b) RP (c) PP และ (d) GMS

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวกมลวัลย์ แดงมาดี
วัน เดือน ปี เกิด	4 ธันวาคม 2538
ที่อยู่ปัจจุบัน	48 หมู่ 1 ตำบลโพรงมะเดื่อ อำเภอเมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม 73000
ผลงานตีพิมพ์	กมลวัลย์ แดงมาดี, ปราโมทย์ คุวิจิตรจากรุ, บุศราภรณ์ มหาโยธี. 2564. อิทธิพลของชนิดและความเข้มข้นของสารที่ก่อให้เกิดโฟมต่อคุณสมบัติ และ กราฟการทำแห้งของโฟมมะเขือเทศที่อบแห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบโฟม แมท, การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 18 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน วันที่ 8-9 ธันวาคม 2564

