



การทำเอ็นแคปซูลเลทกรดซิริก โดยวิธีทำแห้งแบบฟุ้งและการประยุกต์ใช้ในเครื่องปรุงรสผง

โดย

นายบุญชัย พิมพ์นาค

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การทำเอ็นแคปซูลเลทกรดซิตริก โดยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอยและการประยุกต์ใช้ในเครื่องปรุงรสผง

โดย

นายบุญชัย พิมพ์นาค

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

**CTRIC ACID ENCAPSULATION USING SPRAY DRYING METHOD AND APPLICATION
IN SEASONING POWDER**

By

Boonchai Pimnak

An Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree

MASTER OF SCIENCE

Department of Food Technology

Graduate School

SILPAKORN UNIVERSITY

2009

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้การค้นคว้าอิสระเรื่อง “ การทำเอ็นแคปซูล-เลทกรดชิ
ทริก โดยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอยและการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง ” เสนอโดย นายบุญ
ชัย พิมพ์นาค เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา
เทคโนโลยีอาหาร

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ชินะตั้งกูร)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณศรี ลีจිරจำเนียร

คณะกรรมการตรวจสอบการค้นคว้าอิสระ

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ คุวิจิตรจารุ)

...../...../.....

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต อินดวงค์)

...../...../.....

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณศรี ลีจिरจำเนียร)

...../...../.....

49403303 : สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

คำสำคัญ : การทำแห้งแบบพ่นฝอย/ กรดซิตริก/ เครื่องปรุงรสผง/ เอ็นแคปซูล

บุญชัย พิมพ์นาค : การทำเอ็นแคปซูลกรดซิตริก โดยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอยและการประยุกต์ใช้ในเครื่องปรุงรสผง. อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ : ผศ.ดร. อรุณศรี ลิขิจำเนียร. 90 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตเอ็นแคปซูลของกรดซิตริกโดยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผง เนื่องจากอุตสาหกรรมเครื่องปรุงรสผงมักพบปัญหาสีของผลิตภัณฑ์ซีดจางลงทำให้อายุการเก็บสั้น กรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลผลิตจากสารเคลือบ 2 ชนิด ได้แก่ มอลโตเด็คซ์ตรินและแป้งข้าวโพดคั่ว โดยกำหนดความเข้มข้นของกรดซิตริกร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ร้อยละ 5, 10, 15, 20 และ 25 โดยน้ำหนัก ผลการทดลองพบว่าเอ็นแคปซูลที่ผลิตจากมอลโตเด็คซ์ตรินมีประสิทธิภาพในการห่อหุ้มกรดซิตริกสูงโดยมีประสิทธิภาพในการห่อหุ้มร้อยละ 58.95, 88.30, 92.02, 91.01 และ 89.65 ตามลำดับ ส่วนเอ็นแคปซูลที่ผลิตจากแป้งข้าวโพดคั่วมีประสิทธิภาพในการห่อหุ้มร้อยละ 37.29, 53.55, 70.17, 46.64 และ 48.30 ตามลำดับ ดังนั้นเอ็นแคปซูลของกรดซิตริกที่ผลิตจากมอลโตเด็คซ์ตรินที่ระดับความเข้มข้นของแข็งร้อยละ 15 มีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งจากการวิเคราะห์คุณภาพปริมาณความชื้นร้อยละ 1.76 ค่าวอเตอร์แอกติวิตี 0.087 และปริมาณกรดทั้งหมดร้อยละ 7.64 จากการสังเกตลักษณะของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลห่อหุ้มได้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่าอนุภาคมีลักษณะกลม พื้นผิวภายนอกเรียบและบางอนุภาคมีการหดตัว กรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมของเครื่องปรุงรสผงซึ่งประกอบด้วยกรดซิตริกร้อยละ 2 พริกผงปาลาปริการร้อยละ 2 สารสกัดสีปาปริการร้อยละ 0.2 พริกชี้ฟ้าเกล็ดร้อยละ 1.3 น้ำตาลทรายร้อยละ 40 เกลือร้อยละ 12 แป้งคั่วร้อยละ 5.5 กลิ่นมะนาวร้อยละ 1 และเครื่องเทศอื่นๆ ร้อยละ 11 จากนั้นนำเครื่องปรุงรสผงบรรจุในถุงพลาสติกเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25 และ 45 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 เดือน สุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์ค่าสีที่พื้นผิว (L^* , a^* , b^* และ hue angle) ทุกๆ เดือน ผลทดลองพบว่าค่า L^* และ hue angle เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า a^* , b^* และ a^*/b^* ลดลง ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 และ 45 องศาเซลเซียส ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของค่า hue angle และ a^*/b^* ในเครื่องปรุงรสผงที่มีส่วนประกอบของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลห่อหุ้มและกรดซิตริกที่ไม่ถูกเอ็นแคปซูลห่อหุ้มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในสภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส โดยที่ค่า hue angle ของชุดควบคุมมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 47.13 เป็น 76.02 ส่วนชุดทดลองมีค่า hue angle เพิ่มขึ้นจาก 48.94 เป็น 73.37 ดังนั้นสีของเครื่องปรุงรสผงมีการเปลี่ยนแปลงจากสีแดงเป็นสีเหลืองเมื่ออายุการเก็บมากขึ้น อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงของค่าสีชุดทดลองต่ำกว่าชุดควบคุม สรุปได้ว่าเอ็นแคปซูลของกรดซิตริกสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงของสีในผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงที่มีส่วนผสมของพริกปาปริกาและพริกชี้ฟ้าเกล็ดในระหว่างการเก็บรักษาได้

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2552

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ

49403303 : MAJOR : FOOD TECHNOLOGY

KEY WORDS : SPRAY DRYING METHOD/ CITRIC ACID/ SEASONING POWDER/
ENCAPSULATION.

BOONCHAI PIMNAK : CITRIC ACID ENCAPSULATION USING SPRAY DRYING
METHOD AND APPLICATION IN SEASONING POWDER. INDEPENDENT STUDY ADVISOR :
ASST. PROF. ARUNSRI LEEJEERAJUMNEAN, Ph.D. 90 pp.

This study was aimed to produce encapsulation of citric acid using spray drying and to apply it in seasoning powder. The problem of industrial seasoning powder was fading down the color during storage. The encapsulated citric acid was made by spray drying using maltodextrin and modified corn starch as wall materials. The experiments were fixed the concentration of citric acid at 1% w/w and the total soluble solids were varied 5, 10, 15, 20 and 25% w/w with different concentration of maltodextrin or modified corn starch. The results found that encapsulated citric acid by maltodextrin gave the encapsulated citric acid efficiency (EE), 58.95, 88.30, 92.02, 91.01, and 89.65% respectively. When using modified starch, the encapsulated citric acid efficiency (EE), 37.29, 53.55, 70.17, 46.64 and 48.30% respectively. According to the EE, so the best treatment was encapsulation of citric acid with 15 % TSS maltodextrin which contained moisture content of 1.76%, water activity of 0.087 and total acidity of 7.64%. The SEM observations of the particles were spherical, smooth surfaces but some particles were shrinkage. The encapsulated citric acid was used for seasoning mix which contained 2% of citric acid, 2% of paprika powder, 0.2% of paprika extract, 1.3% of chili flake, 40.3% of sugar, 12 % of salt, 5.5 % of modified starch, 1% of lime oil and 11% of spices. Then, the seasoning mixes were kept in nylon/ LLDPE bags at 25°C and 45°C for 5 months. The samples were taken every month to analyse surface color (L^* , a^* , b^* and hue angle). The results found that during storage at 25°C and 45°C, the L^* and hue angle increased whereas a^* , b^* , a^*/b^* decreased. The color changes of seasoning mix, hue angle and a^*/b^* , were significantly ($p < 0.05$) different comparing between encapsulated and non encapsulated citric acid when keeping at 45°C. The hue angle of seasoning mix with non encapsulated citric acid increased from 47.13 to 76.02 and encapsulated citric acid increased from 48.94 to 73.37. The color of seasoning mix changed from red to yellow. However, the color change of treatment was lower than that of the control. In conclusion, the encapsulated citric acid could retard the color change of seasoning powder contained paprika and chili flake during storage.

Department of Food Technology Graduate School, Silpakorn University Academic Year 2009

Student's signature

Independent Study Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผศ. ดร. อรุณศรี ลีจิระจำเนียร อาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำปรึกษา เสนอแนะแนวทางในการทำการวิจัย และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องและสมบูรณ์ ผศ. ดร. บัณฑิต อินทวงศ์ และ ผศ. ดร. ปราโมทย์ คุวิจิตรจากรุ ที่ให้คำแนะนำ และตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีอาหารทุกท่านที่ให้ความรู้พื้นฐานต่างๆ และขอขอบคุณพี่ๆ เจ้าหน้าที่สำนักงานและพี่เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการของภาควิชาเทคโนโลยีอาหารทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ในภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร โดยเฉพาะน้องโพลี น้องวิ น้องยิมส์ และขอขอบคุณพี่ยงค์ พี่แอน และเพื่อนร่วมงานทุกคนที่ให้อำลังใจและความช่วยเหลือด้วยดีเสมอมา

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การอบรมสั่งสอน สนับสนุนการศึกษา ตลอดจนความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ และคอยเป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
2 ตรวจสอบเอกสาร.....	4
กรด	4
เทคโนโลยีการทำเอ็นแคปซูล.....	5
กระบวนการเอ็นแคปซูลโดยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย.....	12
เครื่องปรุงรสสำเร็จรูปชนิดผง.....	20
การวัดค่าสี.....	22
งานวิจัยเกี่ยวกับการทำเอ็นแคปซูลในอุตสาหกรรมอาหาร	28
3 อุปกรณ์และวิธีการวิจัย	32
วัตถุดิบและสารเคมี.....	32
อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	32
วิธีการทดลอง.....	34
4 ผลการทดลอง	39
การผลิตเอ็นแคปซูลทกรดซิตริก.....	39
การศึกษาคุณลักษณะด้านกายภาพและคุณภาพด้านเคมี.....	45
การศึกษาประสิทธิภาพของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลที่มีผลต่ออายุการเก็บ ของผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผง.....	58

บทที่	หน้า
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	69
บรรณานุกรม.....	71
ภาคผนวก.....	75
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์.....	76
ภาคผนวก ข ข้อมูลตารางการทดลอง.....	79
ประวัติผู้วิจัย.....	90

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ช่วงขนาดอนุภาคของการทำเอ็นแคปซูลแต่ละวิธี.....	6
2	วัตถุดิบที่ใช้เป็นสารเคลือบในอุตสาหกรรมอาหาร	7
3	สัดส่วนของส่วนผสมในการทำกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลโดยใช้มอลโตเดกซ์ทริน เป็นสารเคลือบ	35
4	สัดส่วนของส่วนผสมในการทำกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลโดยใช้แป้งข้าวโพด ดัดแปร เป็นสารเคลือบ	35
5	คุณภาพทางด้านเคมีของสารละลายกรดซิตริกโดยใช้มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสาร- เคลือบ ก่อนทำเอ็นแคปซูลโดยการทำให้แห้งแบบพ่นฝอย	39
6	คุณภาพทางด้านเคมีของสารละลายกรดซิตริกโดยใช้แป้งข้าวโพดดัดแปรเป็น สารเคลือบก่อนทำเอ็นแคปซูลโดยการทำให้แห้งแบบพ่นฝอย.....	40
7	ผลการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพทางด้านกายภาพของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูล โดยเก็บตัวอย่าง 30 กรัม (น้ำหนักเปียก) ไว้ในจานเพาะเชื้อที่ปิดฝาเป็นเวลา 3 เดือน.....	44
8	ปริมาณความชื้นของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลโดยใช้มอลโตเดกซ์ทรินเป็น สารเคลือบในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 26 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 65	48
9	ปริมาณความชื้นของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลโดยใช้แป้งข้าวโพดดัดแปรเป็น สารเคลือบในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 26 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65	49
10	ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w) ของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลโดยใช้มอลโตเดกซ์ทริน เป็นสารเคลือบในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 26 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65	50
11	ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w) ของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลโดยใช้แป้งข้าวโพด ดัดแปรเป็นสารเคลือบในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 26 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65	51

12	ปริมาณกรดทั้งหมด (total acid) ของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลโดยไขมันโอลิโก-เด็กซ์ทรินเป็นสารเคลือบ ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 26 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65	53
13	ปริมาณกรดทั้งหมด (total acid) ของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลโดยใช้แป้งข้าวโพดคั่วแปรรูปเป็นสารเคลือบ ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 26 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65	54
14	ประสิทธิภาพของการห่อหุ้ม (encapsulated efficiency, %EE) ของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลโดยไขมันโอลิโก-เด็กซ์ทรินและแป้งข้าวโพดคั่วแปรรูป เป็นสารเคลือบ เก็บที่อุณหภูมิ 26 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65	55
15	ปริมาณกรดทั้งหมดที่ถูกห่อหุ้มไว้ (%total acidity encapsulation, %AE) ของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลโดยไขมันโอลิโก-เด็กซ์ทรินและแป้งข้าวโพดคั่วแปรรูป เป็นสารเคลือบ เก็บที่อุณหภูมิ 26 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65	56
16	คุณภาพของผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงดื่มที่ใช้กรดซิตริก (ชุดควบคุม) และกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูล (ชุดทดลอง)	58
17	การเปลี่ยนแปลงของค่าสีในผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงชุดควบคุม (ชุด A) ที่อุณหภูมิการเก็บ 25 องศาเซลเซียส เมื่ออายุการเก็บต่างกัน	58
18	การเปลี่ยนแปลงของค่าสีในผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงชุดทดลอง (ชุด B) ที่อุณหภูมิการเก็บ 25 องศาเซลเซียส เมื่ออายุการเก็บต่างกัน	59
19	ค่า a^*/b^* ของสีผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงชุดควบคุม และชุดทดลอง ที่อุณหภูมิการเก็บ 25 องศาเซลเซียส เมื่ออายุการเก็บต่างกัน	60
20	ค่า Hue angle ของผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงชุดควบคุม และชุดทดลอง ที่อุณหภูมิการเก็บ 25 องศาเซลเซียส เมื่ออายุการเก็บต่างกัน	61
21	การเปลี่ยนแปลงของค่าสีในผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงชุด A (ชุดควบคุม) ที่อุณหภูมิการเก็บ 45 องศาเซลเซียส เมื่ออายุการเก็บต่างกัน	63
22	การเปลี่ยนแปลงของค่าสีในผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงชุด B (ชุดทดลอง) ที่อุณหภูมิการเก็บ 45 องศาเซลเซียส เมื่ออายุการเก็บต่างกัน	64

- 23 เปรียบเทียบค่า a^*/b^* ของสีผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงชูรสควบคุม และชุดทดลอง ที่
อุณหภูมิการเก็บ 45 องศาเซลเซียส เมื่ออายุการเก็บต่างกัน 65
- 24 ค่า Hue angle ของสีผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงชูรสควบคุมและชุดทดลอง ที่อุณหภูมิ
เก็บ 45 องศาเซลเซียส เมื่ออายุการเก็บต่างกัน 66

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	โครงสร้างทางเคมีของกรดซิตริกโมโนไฮเดรต.....	4
2	เทคนิคการเอ็นแคปซูลเลทสารให้กลิ่นรส.....	5
3	โครงสร้างของแป้งดัดแปร Octenyl Succinic Anhydride (OSA)	9
4	โครงสร้างของมอลโตเด็กซ์ทริน.....	9
5	ขั้นตอนการอบแห้งแบบพ่นฝอย.....	13
6	ขั้นตอนการทำเอ็นแคปซูลเลทของกรดซิตริกโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอย.....	13
7	หัวฉีดแบบต่าง ๆ ที่ใช้ในการอบแห้งแบบพ่นฝอย (a) หัวฉีดแบบหมุน (rotary atomizer), (b) หัวฉีดแบบแรงดัน (pressure nozzle) และ(c) หัวฉีดแบบ two-fluid nozzle	15
8	รูปแบบการไหลของสารละลายและอากาศร้อนในการอบแห้งแบบพ่นฝอย (a) การไหลในทิศทางเดียวกัน (co-current flow), (b) การไหลสวนทางกัน (counter-current flow) และ (c) การไหลแบบผสมกัน (mixed flow)	16
9	Munsell color diamensions.....	23
10	Chromaticity diagram.....	24
11	ลักษณะทางกายภาพของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลเลทหลังจากผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นเวลา 1 เดือน สภาวะการเก็บอุณหภูมิ 25-28 องศาเซลเซียส (a) กรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลเลทโดยใช้มอลโตเด็กซ์ทรินเป็นสารเคลือบ และ (b) กรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลเลทโดยใช้แป้งข้าวโพดดัดแปรเป็นสารเคลือบ	41
12	ลักษณะทางกายภาพของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลเลทโดยใช้มอลโตเด็กซ์ทรินเป็นสารเคลือบ โดยเก็บตัวอย่าง 30 กรัม (น้ำหนักเปียก) ไว้ในจานเพาะเชื้อที่ปิดฝาเป็นเวลา 3 เดือน (a) 5% TSS (b) 10% TSS (c) 15% TSS (d) 20% TSS และ (e) 25% TSS.....	42
13	ลักษณะทางกายภาพของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลเลทโดยใช้แป้งข้าวโพดดัดแปรเป็นสารเคลือบ โดยเก็บตัวอย่าง 30 กรัม (น้ำหนักเปียก) ไว้ในจานเพาะเชื้อที่ปิดฝาเป็นเวลา 3 เดือน (a) 5% TSS (b) 10% TSS (c) 15% TSS (d) 20% TSS และ (e) 25% TSS.....	43

- 14 ลักษณะทางกายภาพของสารเคลือบและสารแกนที่ใช้ในการทำเอ็นแคปซูลเททราไฮโดรฟูลทรีน (a) มอลโตเด็คซ์ตริน กำลังขยาย 500x (b) แป้งข้าวโพดคั่ว กำลังขยาย 500x และ (c) กรดซิตริก กำลังขยาย 25x..... 45
- 15 ลักษณะสัณฐาน (morphology) ของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลเททราไฮโดรฟูลทรีน (a) ร้อยละ 5 ของของแข็งโดยใช้มอลโตเด็คซ์ตรินเป็นสารเคลือบ (b) ร้อยละ 15 ของของแข็งโดยใช้มอลโตเด็คซ์ตรินเป็นสารเคลือบ (c) ร้อยละ 5 ของของแข็งโดยใช้แป้งข้าวโพดคั่วเป็นสารเคลือบ และ (d) ร้อยละ 15 ของของแข็งโดยใช้แป้งข้าวโพดคั่วเป็นสารเคลือบ ภาพ (a)-(d) กำลังขยาย 1000x 46

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการเติบโตของอุตสาหกรรมเครื่องปรุงรสมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากข้อมูลการส่งออกเครื่องปรุงรสของโลกมีมูลค่าเฉลี่ย 4.6 พันล้านดอลลาร์ หรือประมาณ 184 พันล้านบาท อัตราการเติบโตเฉลี่ย ร้อยละ 5.5 สำหรับการส่งออกเครื่องปรุงรสของไทยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี 2542-2546 ทั้งปริมาณและมูลค่าในปี 2546 ปริมาณการส่งออก 113,721 ตัน คิดเป็นมูลค่า 4.9 พันล้านบาท และมีอัตราการเติบโตเฉลี่ย ร้อยละ 10.5 ต่อปี (กรมศุลกากร, 2551) โดยภาพรวมถือเป็นกลุ่มสินค้าอาหารที่มีศักยภาพในการเติบโตสูง สืบเนื่องจากพฤติกรรมการบริโภคที่เปลี่ยนไป กลุ่มผู้บริโภคมีการนำเครื่องปรุงรสสำเร็จรูปชนิดผง (seasoning powder) มาใช้กันอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะในกลุ่มอุตสาหกรรมอาหารขบเคี้ยว บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ผลิตภัณฑ์แปรรูปทอด อุตสาหกรรมอาหารสำเร็จรูปทั้งอาหารทะเลและประเภทเนื้อ รวมถึงอุตสาหกรรมฟาสต์ฟู้ด เป็นต้น

คุณภาพของเครื่องปรุงรสสำเร็จรูปชนิดผงที่ดี ควรมีเนื้อของผลิตภัณฑ์ที่ผสมคลุกเคล้าเป็นเนื้อเดียวกันอย่างสม่ำเสมอ อยู่ในลักษณะเป็นผงร่อน ไม่จับตัวเป็นก้อน (lumping) ต้องสามารถทำให้แตกออกเป็นผงได้ง่ายด้วยมือ สีของส่วนผสมต้องมีสีเหลืองอมน้ำตาล หรือสีตามธรรมชาติของส่วนประกอบที่ใช้ มีกลิ่นรสตามธรรมชาติของส่วนประกอบที่ใช้ สามารถนำไปใช้ได้อย่างสะดวกและเก็บไว้ได้นาน แต่จากปัญหาที่พบในผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงมักเกิดการจับตัวเป็นก้อน สีของผลิตภัณฑ์ซีดจางลงค่อนข้างเร็ว ทำให้อายุการเก็บสั้นลง โดยทั่วไปแล้วอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ประเภทนี้มักไม่เกิน 3 เดือน (Underriner และ Hume, 1994) ส่งผลกระทบต่อการนำไปใช้ของผู้ผลิต และเกิดปัญหาข้อร้องเรียนจากลูกค้า อันเนื่องมาจากคุณภาพด้านกายภาพของผลิตภัณฑ์ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด ซึ่งปัญหาดังกล่าวที่พบในผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงอาจจะมีผลมาจากส่วนประกอบของสูตรที่ไวต่อการกระตุ้นจากสิ่งแวดล้อม ซึ่งได้แก่ สีธรรมชาติ เครื่องเทศอบแห้ง วัตถุเจือปนอาหาร เช่น กรดซึ่งเป็นสารที่เติมลงไปในอาหารเพื่อปรับกลิ่นรสให้กับอาหาร ช่วยถนอมอาหาร และใช้ในกระบวนการผลิต โดยที่กรดสามารถเกิดปฏิกิริยากับสารประกอบ

อาหารอื่นๆ ซึ่งก่อให้เกิดสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ เช่น อายุการเก็บของอาหารที่มีกลิ่นรสขจัดรสสั้นลง กลิ่นรสเปลี่ยนไป สีซีดจางลง กรดเป็นสารที่มีการดูดความชื้นสูง การทำการคั่วให้อยู่ในรูปของเอ็น-แคปซูลเลท น่าจะสามารถแก้ปัญหาเหล่านั้นได้ เนื่องจากสามารถลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และควบคุมการปลดปล่อย โดยการสร้างสารเคลือบที่อุณหภูมิจำเพาะเจาะจง เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของกรดมีคุณสมบัติในการดูดความชื้น (hygroscopic) เมื่อสภาวะการเก็บที่ไม่เหมาะสม เช่น บรรจุภัณฑ์ที่ปิดไม่สนิทและความชื้นสัมพัทธ์มากกว่าร้อยละ 65 จะเกิดการจับตัวเป็นก้อนได้ค่อนข้างเร็ว (Kim และคณะ 1992) นอกจากนี้ยังสามารถลดฝุ่นละออง (dust) และเพิ่มความสามารถในการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้ดียิ่งขึ้น เครื่องปรุงรสผงในเชิงการค้าส่วนใหญ่มีส่วนประกอบของกรดมาใช้ เช่น ต้มยำ บาบีคิว Sweet & Sour, Sweet Chili, Sour Cream เป็นต้น เพื่อช่วยเพิ่มรสชาติให้กับอาหารนั้นเป็นสิ่งสำคัญ โดยทั่วไปแล้วผู้ผลิตจะต้องนำเครื่องปรุงรสเหล่านี้มาผสมกับน้ำ และนำมาหมัก หรือคลุกเคล้ากับวัตถุดิบต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมอาหารสำเร็จรูปทั้งอาหารทะเล และอาหารประเภทเนื้อ เป็นต้น หรืออาจใช้ในรูปของผงปรุงรสในการเคลือบตัวผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมขนมขบเคี้ยว (snack) หรือในอุตสาหกรรมขนมอบหวาน (confectionery) เช่น เป็นสารเคลือบผิวลูกกวาด (candy) สามารถช่วยลดการดูดความชื้น และการปลดปล่อยรสชาติเปรี้ยว เมื่อสัมผัสกับน้ำลาย หรือการเคี้ยวในปากทำให้รสชาติที่ดีขึ้น เป็นต้น นอกจากนี้ปัจจุบันได้มีการนำกรดที่ถูกเอ็นแคปซูลเลทโดยใช้สารเคลือบจากส่วนประกอบประเภทไขมันมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทไส้กรอกหมัก เพื่อป้องกันค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่เกิดจากกรด มีผลยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในการหมักบ่มไส้กรอก นอกจากนี้ค่าความเป็นกรดยังช่วยยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อโรคและยังช่วยลดเวลาในการผลิตด้วย โดยเมื่อผลิตภัณฑ์ผ่านกระบวนการให้ความร้อนก็จะสามารถรับรสชาติเปรี้ยวของกรดได้ (Gadot Biochemical Industries, 2009) ในขณะที่การผลิตเครื่องปรุงรสผงมักพบปัญหาสีของผลิตภัณฑ์ซีดจางลงอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากปฏิกิริยาจากกรดที่สามารถเร่งเกิดการออกซิเดชันของสีธรรมชาติ เช่น สีแดงของปาปริกา ทำให้อายุการเก็บรักษาสั้นลง นอกจากนี้สิ่งแวดล้อม เช่น ความร้อน แสง และอากาศ (Todd และ Harold, 1991) ส่งผลต่ออายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ทำให้ผู้บริโภคยอมรับผลิตภัณฑ์น้อยลง

ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการนำเทคโนโลยีการทำเอ็นแคปซูลเลทมาใช้ในการกระบวนการผลิตกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลเลท เนื่องจากกรดซิตริกมีการใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร โดยเลือกเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) ในกระบวนการทำเอ็นแคปซูลเลท เนื่องจากเป็นวิธีที่ทำได้ง่าย ประหยัด สามารถใช้อุปกรณ์ที่หาได้ง่าย ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีและมีประสิทธิภาพสูง

โดยนำอนุพันธ์ของแปงเป็นวัตถุดิบที่ใช้เคลือบ โดยนำกรดซัลฟิวริกที่ถูกเอ็นแคปซูลเข้ามาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องปรงรสผง เพื่อวัตถุประสงค์ในการลดปัญหาการซีดจางของสีผลิตภัณฑ์ดังที่กล่าวในข้างต้น โดยทำการศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์เครื่องปรงรสผง และศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพ และเคมี

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาและประยุกต์ใช้กรดซัลฟิวริกที่ถูกเอ็นแคปซูลในผลิตภัณฑ์เครื่องปรงรส เพื่อชะลอการซีดจางของสีผลิตภัณฑ์ โดยมีวัตถุประสงค์ของการศึกษาดังนี้

1.2.1 เพื่อศึกษาการผลิตเอ็นแคปซูลของกรดซัลฟิวริก และหาปริมาณของของแข็งและสารเคลือบ (wall material) ที่เหมาะสมในการเอ็นแคปซูลโดยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอยด้วยการใช้อนุพันธ์ของแปงซึ่งได้แก่ มอลโตเด็คซ์ตริน และแป้งข้าวโพดคัดแปรเป็นสารเคลือบ

1.2.2 เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพ รูปร่างสัณฐานของอนุภาคเอ็นแคปซูล รวมถึงคุณภาพทางเคมีของกรดซัลฟิวริกที่ถูกเอ็นแคปซูลที่อายุการเก็บระยะเวลาต่าง ๆ

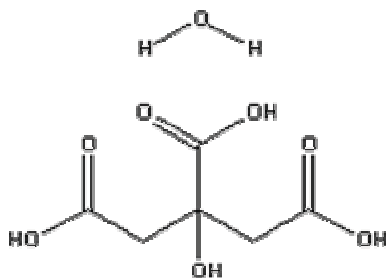
1.2.3 เพื่อศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์เครื่องปรงรสผง โดยการศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์เครื่องปรงรสผงที่ใช้กรดซัลฟิวริกที่ถูกเอ็นแคปซูลเทียบกับกรดซัลฟิวริกที่ไม่ได้ทำเอ็นแคปซูล

บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

2.1 กรด

กรดมะนาว หรือ กรดซิตริก (citric acid) มาจากภาษาละตินว่า ซิตรัส ที่ได้จากผลไม้ที่มีรสเปรี้ยว ได้แก่ มะนาว กรดซิตริกเป็นกรดตัวแรกที่แยกได้จากน้ำมะนาวในปี 1784 โดยนักเคมีชาวสวีเดน และมีการผลิตทางการค้าครั้งแรกจาก Italian lemon ในปี 1826 ในประเทศอังกฤษ จนกระทั่ง ในปี 1919 ได้เริ่มมีกระบวนการผลิตกรดซิตริกในระดับอุตสาหกรรมครั้งแรกในประเทศเบลเยียมโดยใช้เชื้อจุลินทรีย์ *Aspergillus niger* หมักบ่มโดยใช้กากมันสำปะหลังคลุกกับรำข้าวบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน จากนั้นนำไปผ่านกรรมวิธีเพื่อให้ได้ผลึกของกรดมะนาว ซึ่งในปัจจุบันสามารถผลิตกรดซิตริกได้จากเชื้อยีสต์ *Candida* ซึ่งจะให้ผลผลิตที่สูงกว่า ทั้งนี้เนื่องจากกรดมะนาวนี้มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมอาหาร เครื่องดื่ม ยา และสารทำความสะอาด เป็นต้น จึงเป็น กรดที่ใช้มากในอุตสาหกรรม ซึ่งมีโครงสร้างทางเคมี ตามภาพที่ 1 และ คุณสมบัติทางด้านเคมีพบว่า กรดซิตริกสามารถแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออนที่ pKa 3 ค่า ได้แก่ 3.1, 4.7 และ 6.4 (Kristiansen และคณะ, 1999)



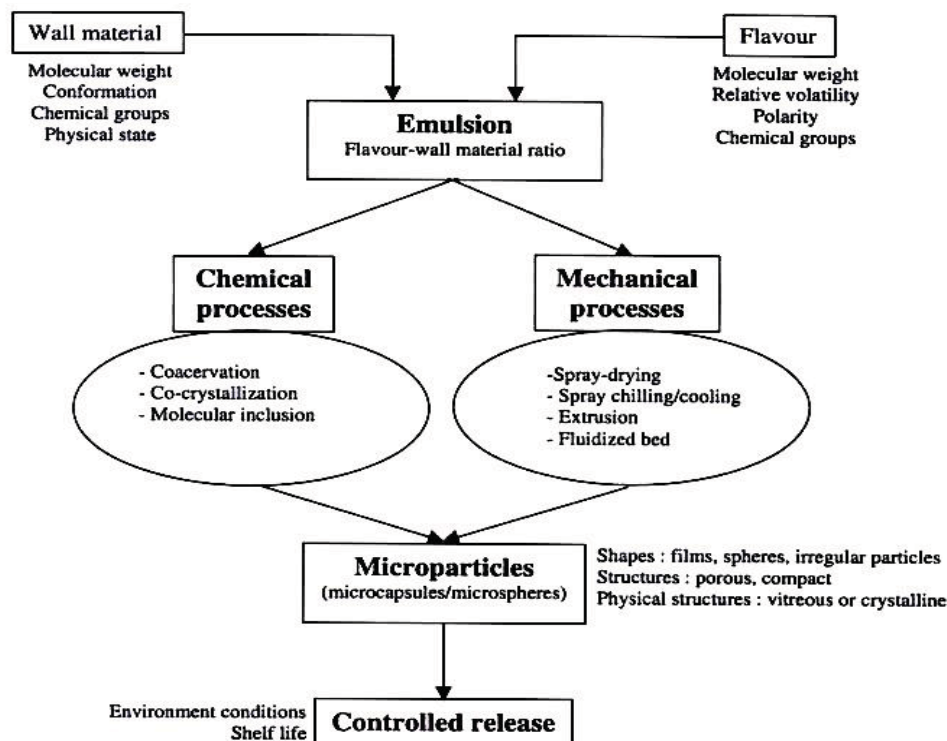
ภาพที่ 1 โครงสร้างทางเคมีของกรดซิตริกโมโนไฮเดรต

ที่มา : Chemkoo (2009). Available source:

<http://www.chemkoo.com/en/products/5949-29-1.htm>. (accessed: February 12, 2009)

2.2 เทคโนโลยีการทำเอ็นแคปซูล (encapsulation technology)

เทคนิคการทำเอ็นแคปซูลถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมากกว่า 60 ปี มีการใช้ในส่วนประกอบอาหารทั้งของแข็ง และของเหลวซึ่งมีผลต่อปฏิกิริยาเคมีสัมพันธ์ ตลอดจนการปลดปล่อยสารที่ต้องการ ซึ่งก่อให้เกิดผลคือสามารถป้องกันสารนั้นไว้ได้ ส่วนประกอบของอาหารที่ได้ประโยชน์จากการทำเอ็นแคปซูล ได้แก่ สารให้กลิ่นรส กรด ค้าง บัฟเฟอร์ ไขมัน เชื้อจุลินทรีย์ สารให้ความหวาน วิตามิน เกลือแร่ วัตถุเจือปนอาหาร สารต้านอนุมูลอิสระ สารที่ทำให้ขึ้นฟู สี และ สารอาหาร เป็นต้น เอ็นแคปซูลอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ ดังนั้นเพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งานของสารประกอบอาหาร ควรพิจารณาถึง ส่วนประกอบ กลไกการปลดปล่อย ขนาดอนุภาค รูปแบบทางกายภาพ และราคา เมื่อมีการออกแบบกระบวนการเอ็นแคปซูลแล้ว ต้องให้แน่ใจว่า ชนิด และหน้าที่ของเอ็นแคปซูลมีความสามารถ และเหมาะสมต่อการห่อหุ้มสารนั้น นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาถึง กระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน และความเข้มข้นที่เหมาะสมของวัตถุดิบ (Barbosa-Cánovas และคณะ, 2005) ตัวอย่างการเทคนิคการทำเอ็นแคปซูลสารให้กลิ่นรส ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 เทคนิคการทำเอ็นแคปซูลสารให้กลิ่นรส

ที่มา : Madene และคณะ (2006)

2.2.1 ขนาดอนุภาค

ขนาดอนุภาคของเอ็นแคปซูลที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 0.2 ถึง 5,000 ไมครอน เรียกว่า ไมโครเอ็นแคปซูล จากตารางที่ 1 แสดงความแตกต่างของกระบวนการผลิตเอ็นแคปซูลต่อขนาดอนุภาคในช่วงต่างๆ โครงสร้างของเอ็นแคปซูลแบ่งเป็นส่วนแกนกลาง (core material) และส่วนของสารเคลือบ (wall material)

ตารางที่ 1 ช่วงขนาดอนุภาคของการทำเอ็นแคปซูลแต่ละวิธี

วิธีการ	ขนาดอนุภาค (ไมครอน)
Spray dry	20 - 150
Coacervation	1 - 500
Centrifugal Suspension Separation	5 - 1,000
Centrifugal Extrusion	125 - 3,000
Extrusion	700 - 6,000
Air suspension Coating	50 - 10,000

ที่มา : ประยุกต์จาก Vasishtha (2002)

2.2.2 สารเคลือบ

วัตถุดิบที่เป็นสารเคลือบสามารถเลือกได้อย่างกว้างขวางจากธรรมชาติ หรือการสังเคราะห์ ขึ้นอยู่กับวัตถุที่จะทำการเคลือบ และลักษณะของเอ็นแคปซูลที่ต้องการ องค์ประกอบของการห่อหุ้มขึ้นอยู่กับหน้าที่ของเอ็นแคปซูล และการนำไปใช้ของวัตถุ การเคลือบที่มีประสิทธิภาพควรมีคุณสมบัติการไหลที่ดี มีความเข้มข้นสูง สะดวกต่อการเคลื่อนย้ายในระหว่างกระบวนการทำเอ็นแคปซูล และควรเลือกวัตถุดิบที่มีความสามารถสร้างอิมัลชันได้อย่างมีประสิทธิภาพ และการกระจายตัวที่ดี ไม่เกิดปฏิกิริยาในกระบวนการผลิต และไม่เสถียรระหว่าง การเก็บรักษา นอกจากนี้ควรมีคุณสมบัติในการละลาย และการปลดปล่อยสารแกนด้วย ตัวอย่างการใช้วัตถุดิบที่ใช้เป็นสารเคลือบในอุตสาหกรรมอาหาร สรุปได้ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 วัตถุดิบที่ใช้เป็นสารเคลือบในอุตสาหกรรมอาหาร

ชนิด	ตัวอย่าง
คาร์โบไฮเดรต	คอร์นไซรัป เด็กซ์ตริน (มอลโตเด็กซ์ตริน และไซโคลเด็กซ์ตริน) สตาร์ช ซูโครส
กัม	อะการ์ กัมอาราบิก กัมอาคาเซีย โซเดียมอัลจิเนต บิวเทอเรท ทาเลท คาราจีแนน
ไขมัน	จีฟี่ ไดกลีเซอไรด์ ไขมัน โมโนกลีเซอไรด์ น้ำมัน พาราฟิน กรดสเตียริก ไตรสเตียริน
สารอนินทรีย์	แคลเซียมซัลเฟต ดินเหนียว ซิลิกา
เซลลูโลส	อะซิติกเซลลูโลส คาร์บอกซิลเมทิลเซลลูโลส ไนโตรเซลลูโลส เมทิลเซลลูโลส เซลลูโลสอะซิเตตบิวเทอเรททาเลท เอทิลเซลลูโลส
โปรตีน	อัลบูมิน เคซีน เจลลาติน กลูเตน ฮีโมโกลบิน เปปไทด์
พอลิเมอร์สังเคราะห์	เอทิลีนไวนิล อะซิเตต พอลิอะคริลาไมด์ พอลิอะคริเลท พอลิเอทิลีน พอลิ ไวนิลแอลกอฮอล์ พอลิไวนิลอะซิเตต อะคริโกลไนไตรล์ พอลิบิวทาไดอิน

ที่มา : ดัดแปลงจาก Greenblatt และคณะ (1993) และ Shahidi และ Han (1993)

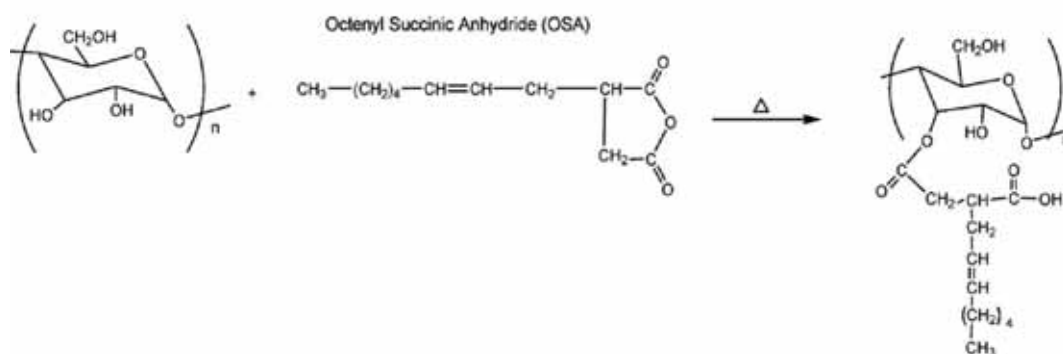
กระบวนการผลิตเอ็นแคปซูลโดยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย และเอ็กทราชัน มีประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับชนิดของคาร์โบไฮเดรตที่ใช้เป็นเมทริกซ์ (matrix) โดยทั่วไปกัมมักนำมาใช้เป็นสารที่ให้เนื้อสัมผัส ให้ความคงตัวของอิมัลชัน ช่วยควบคุมการตกผลึก และป้องกันการแยกชั้น ด้วยเหตุนี้กัมจึงถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตเอ็นแคปซูล (Barbosa-Cánovas และคณะ, 2005)

โดยทั่วไปในการทำเอ็นแคปซูลนิยมใช้ กัมอาราบิก แป้งคัดเปร และมอลโตเด็กซ์ตรินเป็นสารเคลือบ โดยแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันดังนี้ (Krishnan และคณะ, 2005)

1) กัมอาราบิก (gum arabic) เป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่ได้จากต้นอะคาเซีย (acacia) สามารถกระจายตัวในน้ำได้ดีถึงร้อยละ 50 มีคุณสมบัติการเป็นอิมัลชัน เนื่องจากส่วนอราบินโนกา-

แลคแทน (arabinogalactan) และ ส่วนไกลโคโปรตีน (glycoprotein) มีปริมาณโปรตีนมาก โดยโปรตีนทำหน้าที่เป็นตัวประสาน (interface) ระหว่างน้ำและน้ำมันเพราะโปรตีนประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) และไฮโดรฟิลิก (hydrophilic) สามารถยึดเกาะได้ทั้งส่วนที่เป็นน้ำ และน้ำมัน ส่วนอราบินอกาแลคแทน (arabinogalactan) ให้ความหนืดแก่ผลิตภัณฑ์สูงทำให้การเคลื่อนที่ของหยดสารแกนช้าลง และป้องกันการกลับมารวมตัวกันของสารแกนกลางที่เป็นไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) คุณสมบัติในการสร้างฟิล์มของกัมอาราบิกมาจากส่วนของอราบินอกาแลคแทน ที่ให้ความหนืดต่ำและสามารถละลายน้ำได้สูง จึงทำให้ฟิล์มที่ได้มีคุณสมบัติเป็นตัวปกป้องที่ดีและป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

2) แป้งดัดแปร (modified starch) เป็นการนำแป้งมาผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อให้ได้คุณสมบัติที่ต้องการ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย แป้งดัดแปรมีบทบาทที่สำคัญในการทำเอ็นแคปซูล เนื่องจากมีความสามารถในการสร้างอิมัลชันโดยการล้อมรอบหยดสารแกนซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นพวกไฮโดรโฟบิกด้วยสายพอลิเมอร์ที่มีส่วนของไฮโดรโฟบิกทำให้เกิดความคงตัวที่มากขึ้น การดัดแปรแป้งแบบนี้ทำได้โดย การทำปฏิกิริยาระหว่างแป้งกับ 1-octenylsuccinic anhydride เพื่อให้ได้สารทดแทนแป้ง (substituted starch) ที่ประกอบด้วยส่วนที่เป็นไฮโดรโฟบิกและไฮโดรฟิลิก เรียกว่า n-OSA starch ดังภาพที่ 3 ตัวอย่างแป้งดัดแปรที่มีชื่อทางการค้า Hicap-100, capsule เป็นต้น Emulsifying starches เป็นอนุพันธ์ของแป้งที่มีกลุ่มลิโปฟิลิก (lipophilic group) เช่น 1-octenyl succinate ซึ่งเป็นสารเคลือบที่มีคุณสมบัติในการสร้างฟิล์มอิมัลชันที่ดีมาก อย่างไรก็ตาม emulsifying starch ก็มีข้อจำกัดหลาย ๆ ด้าน เช่น มีความสามารถในการปกป้องสารให้กลิ่นรสได้ต่ำจากกระบวนการออกซิเดชัน และมีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ (Reineccius, 1988) สำหรับกลไกการจับตัวระหว่างสารให้กลิ่นรส และสตาร์ช แบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบ โดยรูปแบบแรก สารให้กลิ่นรสจะถูกล้อมรอบด้วยโครงสร้างเกลียวของอะไมโลสที่การจับกันเป็นแบบ hydrophobic bonding ซึ่งสตาร์ชจะกักสารให้กลิ่นรสไว้ในโมเลกุล (inclusion complex) และรูปแบบที่สองจะเกิด polar interaction โดยพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) ระหว่าง hydroxyl groups ของสตาร์ชและ สารให้กลิ่นรส (Boutboul และคณะ, 2002)



ภาพที่ 3 โครงสร้างของแป้งดัดแปร Octenyl Succinic Anhydride (OSA)

ที่มา : Shogren และ Biresaw (2007).

3) มอลโตเด็คซ์ตริน (maltodextrin) เป็นสารที่เกิดจากการไฮโดรไลซิสของแป้ง โดยการใช้ความร้อนและเอนไซม์ เพื่อตัดพันธะในสายยาวของพอลิแซ็กคาไรด์ ประกอบด้วย D-glucose ยูนิตหลาย ๆ ยูนิตต่อกันด้วยพันธะ α -1,4 และมีค่า DE อยู่ในช่วง 10-15 หรือต่ำกว่า 20 ซึ่งมีโครงสร้าง ดังภาพที่ 4 จากนั้นจึงนำแป้งที่ได้ไปผลิตเป็นผง โดยการนำไปผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ และนำมาทำแห้งโดยการพ่นฝอย จะได้มอลโตเด็คซ์ตริน มีความชื้นประมาณร้อยละ 3-5 มีความหนาแน่นปรากฏ (bulk density) อยู่ในช่วง 0.3-0.6 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (Re, 1998) มอลโตเด็คซ์ตรินถูกนำมาใช้ในกระบวนการผลิตเอ็นแคปซูลเลท โดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย เนื่องจากมีข้อดี คือ สามารถในการละลายในน้ำเย็น และมีลักษณะใส มีความหนืดต่ำ ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัว โดยเฉพาะค่า DE ต่ำ สามารถเก็บรักษาได้นานในสภาพปกติ และมีความเสถียรต่อการเกิดออกซิเดชันของเอ็นแคปซูลเลทน้ำมัน (Kenyon, 1995)



ภาพที่ 4 โครงสร้างของมอลโตเด็คซ์ตริน

ที่มา : Edgar181 (2009) Edgar181. Available source.

<http://en.wikipedia.org/wiki/File:Maltodextrin.png>. (accessed January 23, 2010)

2.2.3 สารแกน (core material)

การนำเอ็นแคปซูลเข้ามาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร โดยส่วนมากแล้วใช้กรดเป็นวัตถุเจือปนอาหารที่ช่วยปรับกลิ่นรส ใช้เป็นสารถนอมอาหาร และใช้เป็นสิ่งที่เติมในระหว่างกระบวนการผลิต กรดสามารถเกิดปฏิกิริยากับสารอื่นๆ ในอาหาร ซึ่งก่อให้เกิดสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ เช่น อายุการเก็บของอาหารสั้นลง การเปลี่ยนแปลงกลิ่นรส สีซีดจางลง และเกิดการแยกของสารประกอบอาหาร ในขณะที่กรดที่ถูกเอ็นแคปซูลสามารถช่วยแก้ปัญหาเหล่านั้นได้ เพราะสามารถลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและควบคุมการปลดปล่อย นอกจากนี้กรดที่ถูกเอ็นแคปซูลแล้ว ยังช่วยลดการดูดความชื้น (hygroscopic) ลดฝุ่น และยังเพิ่มความสามารถในการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้ เอ็นแคปซูลของกรดในเชิงการค้า ได้แก่ กรดแอสคอร์บิก กรดซิตริก กรดฟumaric กรดแลคติก และกรดมาลิก ที่ใช้ในอุตสาหกรรมขนมอบ และการแปรรูปเนื้อ ตัวอย่างเช่น กรดแลคติกและกรดซิตริกจะไม่สามารถใช้กระบวนการผลิตเนื้อหมัก(cure meat)ได้ เนื่องจากกรดจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับเนื้อทันที ซึ่งไม่เหมาะสมในกระบวนการผลิต อย่างไรก็ตาม กรดที่ถูกเอ็นแคปซูลจะมีการปลดปล่อยกรดอย่างช้าๆ ที่อุณหภูมิที่กำหนด ด้วยเหตุนี้ทำให้แลคติกแบคทีเรียยังมีชีวิตและยังสามารถทำงานได้ จึงสามารถลดเวลาในการผลิตลง (Shahidi และ Han, 1993)

โดยทั่วไปในอุตสาหกรรมอาหารนิยมทำเอ็นแคปซูลโดยใช้วิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย เนื่องจากเป็นวิธีพื้นฐานในกระบวนการทำแห้งที่ใช้กันอยู่ทั่วไป และเหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมเนื่องจากมีต้นทุนที่ค่อนข้างต่ำและกระบวนการผลิตไม่ซับซ้อน ในกระบวนการเตรียมสารสำหรับการทำเอ็นแคปซูลโดยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย นิยมใช้มอลโทเด็คซ์ตริน แป้งดัดแปร และกัมเป็นสารเคลือบ โดยอาจใช้เดี่ยวๆ หรือใช้ผสมกัน มีวิธีการทำเอ็นแคปซูลโดยนำสารเคลือบละลายน้ำ จากนั้นมีการเติมสารให้กลิ่นรสหรือสารแกนที่ต้องการ ทำให้เกิดเป็นอิมัลชันหยาบ จากนั้นนำไปผ่านเครื่องโฮโมจิไนซ์ เพื่อทำให้อิมัลชันหยาบเกิดการกระจายตัวทั่วทั้งระบบของสารละลาย และที่สำคัญคือจะทำให้ขนาดของสารแกนมีขนาดเล็กและสม่ำเสมอทำให้มีความคงตัวมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้อาจมีการเติมสารอิมัลซิไฟเออร์ลงไป เพื่อเพิ่มความคงตัวให้แก่สารละลายที่มีลักษณะเป็นอิมัลชันให้มากขึ้นด้วย จากนั้นของผสมดังกล่าวจะถูกนำไปพ่นเป็นละอองผ่าน nozzle หรือ spinning wheel โดยจะมีลมร้อนพ่นมา ซึ่งอาจจะพ่นตามหรือสวนทางกับของผสมทำให้เกิดการสัมผัสกันโดยตรงเกิดการระเหยของน้ำออกจากละอองของผสม ทำให้ได้ผงแห้งของผสมที่มีสารแกนกลางหรือสารให้กลิ่นรสอยู่ภายในสารเคลือบ

2.2.4 ประสิทธิภาพของการทำกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูล (efficiency of encapsulated citric acid, %EE)

ประสิทธิภาพของการทำกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติการละลายของสารเคลือบและสารแกนที่ใช้ในกระบวนการทำเอ็นแคปซูล ได้แก่ มอลโตเด็คซ์ทริน แป้งดัดแปร และกรดซิตริก ซึ่งมีคุณสมบัติการละลายดังต่อไปนี้

แป้งและอนุพันธ์ของแป้งได้แก่ มอลโตเด็คซ์ทริน เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีความสามารถในการละลายน้ำ แต่ไม่สามารถละลายได้ในแอลกอฮอล์ (Mostafa, 1988) ซึ่งมอลโตเด็คซ์ทรินสามารถละลายได้ในน้ำเย็น มีความข้นหนืดต่ำและความใส นอกจากนี้ยังมอลโตเด็คซ์ทรินที่มีค่า DE ต่ำในช่วง 1.64-4.05 มีความสามารถในการละลายน้ำร้อยละ 95.70 – 98.69 (Thirathumthavorn และคณะ, 2006)

กรดซิตริกมีคุณสมบัติในการละลายน้ำและตัวทำละลายอื่นที่ไม่ใช่น้ำ (non aqueouse solvent) เช่น แอลกอฮอล์ โดยที่กรดซิตริกปริมาณ 133 กรัม สามารถละลายได้ในน้ำ 100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นของกรดซิตริกในตัวทำละลายแอลกอฮอล์เอทานอลและเมทานอล เป็น 1.776 และ 2.267 โมลาร์ ตามลำดับ (Wikipedia, 2009) ดังนั้นจึงได้ใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลายในการหาประสิทธิภาพของการทำเอ็นแคปซูลกรดซิตริก ดังคุณสมบัติการละลายของสารเคลือบและสารแกนที่ได้กล่าวในข้างต้น

ประสิทธิภาพของการทำกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูล (efficiency of encapsulated citric acid, %EE) ดัดแปลงจาก Carmen และคณะ (2009) ซึ่งได้ศึกษาประสิทธิภาพของสารฟีนอลิก (phenolics) และสารเบตาเลน (betalains) จากเอ็นแคปซูลของ bioactive compounds จากสารสกัด cactus pear ที่ใช้มอลโตเด็คซ์ทรินเป็นสารเคลือบโดยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย สำหรับการหาค่าเบตาเลนและสารฟีนอลิก บริเวณพื้นผิวของเอ็นแคปซูล โดยนำสาร 100 มิลลิกรัมผสมกับสารละลายผสมเอทานอลและเมทานอล ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เขย่าด้วย Vortex นาน 1 นาที แล้วนำไปกรองผ่านกระดาษกรองเพื่อวัดค่าดังนี้

การหาเปอร์เซ็นต์สารประกอบไบโอแอคทีฟที่บริเวณพื้นผิว (surface bioactive, % SB) และสารประกอบไบโอแอคทีฟที่ถูกเอ็นแคปซูลไว้ (bioactive compounds microencapsulated, % BMV) คำนวณได้จากสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

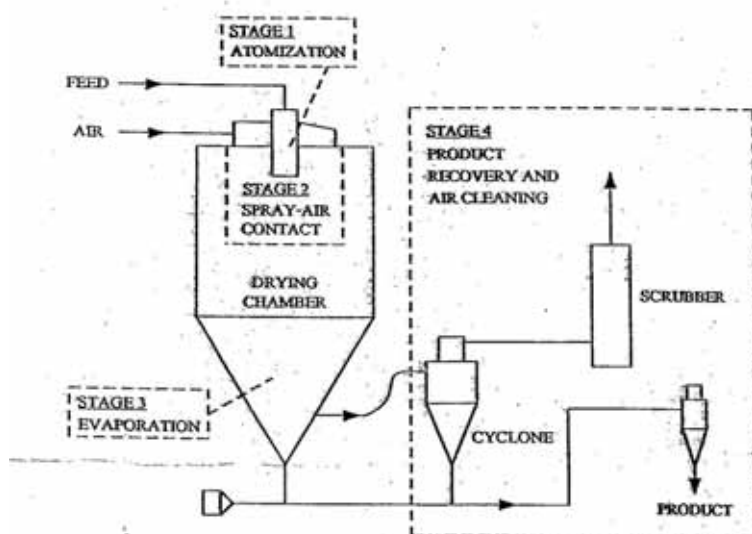
$$SB (\%) = \left(\frac{\text{surface bioactive compounds}}{\text{theoretical total bioactive compounds}} \right) \times 100 \quad \dots\dots\dots \text{สมการที่ 1}$$

$$BMV (\%) = 100 - SB (\%) \quad \dots\dots\dots \text{สมการที่ 2}$$

2.3 กระบวนการเอ็นแคปซูลโดยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย

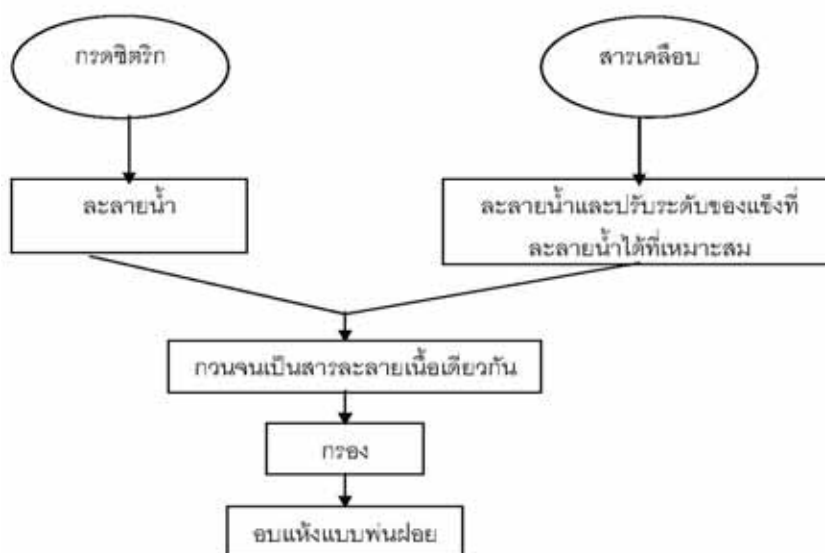
กระบวนการผลิตเอ็นแคปซูลโดยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย ประกอบด้วยสองขั้นตอน ได้แก่ การทำอิมัลชันระหว่างสารละลายของสารเคลือบกับสารแกน และการนำอิมัลชันเข้าสู่กระบวนการทำแห้ง (Priscilla และคณะ, 2005)

เริ่มต้นที่การเลือกสารที่ใช้เคลือบอย่างเหมาะสม ได้แก่ ส่วนประกอบที่ละลายน้ำได้จะ ถูกเตรียมเป็นสารละลาย สารแกนกลางจะถูกทำการกระจายตัวเตรียมเป็นอิมัลชันและนำส่วนผสม ทั้งหมดจะถูกผสมกันภายใต้แรงอัดที่สูง แล้วจึงนำไปผ่านเครื่องโฮโมจิไนซ์เพื่อให้เป็นเนื้อเดียวกัน เป็นอิมัลชัน ดังภาพที่ 5 หลังจากนั้นจะผ่านอากาศร้อนในถังเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย เพื่อ ทำให้อยู่ในรูปของแข็ง ในขณะที่การทำกรดชิทริกที่ถูกเอ็นแคปซูลนั้น สามารถละลายส่วนผสม ของสารเคลือบและสารแกนให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยไม่ต้องผ่านการทำโฮโมจิไนซ์ ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 5 ขั้นตอนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ที่มา : Master (1991)



ภาพที่ 6 ขั้นตอนการทำเอ็นแคปซูลของกระดชิตริกโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ที่มา : ดัดแปลงจาก Greenblatt และคณะ (1993)

การทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นวิธีการทำแห้งที่ใช้กับอาหาร ซึ่งอยู่ในสภาพของสารละลายที่เป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous solution) หรือสารละลายที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (non-homogeneous solution) โดยอาจอยู่ในรูปของผสมระหว่างของแข็งและของเหลว (slurry) หรือของเหลวกับของเหลว (emulsion) หลักการทำแห้งคือการทำให้อาหารของเหลวแตกตัวเป็นละอองหรือหยดเล็ก ๆ (droplet) แล้วผ่านไปในห้องทำแห้ง (chamber) ซึ่งมีอากาศร้อนไหลผ่านเนื่องจากละอองมีขนาดเล็กมากประมาณ 100-200 μm การระเหยจึงเกิดขึ้นบนพื้นผิวของละอองอย่างรวดเร็ว ใช้เวลาทำแห้งสั้น ๆ ประมาณ 1-10 วินาที ผลผลิตที่ได้หลังจากทำแห้งจะอยู่ในสภาพผงแห้ง ซึ่งคุณสมบัติและคุณภาพของผลิตภัณฑ์สามารถควบคุมและปรับเปลี่ยนได้ตามต้องการ เช่น ปริมาณความชื้น รูปร่างและขนาดของอนุภาค ความหนาแน่น โดยรวม เป็นต้น การทำแห้งแบบพ่นฝอยนี้จะได้คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ดีหรือไม่ดีขึ้นกับประสิทธิภาพในการทำให้อาหารของเหลวแตกตัวเป็นหยดเล็ก ๆ และขึ้นกับอัตราการถ่ายเทความร้อนของการสัมผัสระหว่างละอองของเหลวกับอากาศร้อนซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่เลือกใช้ในการทำแห้ง (วรเดช, 2545)

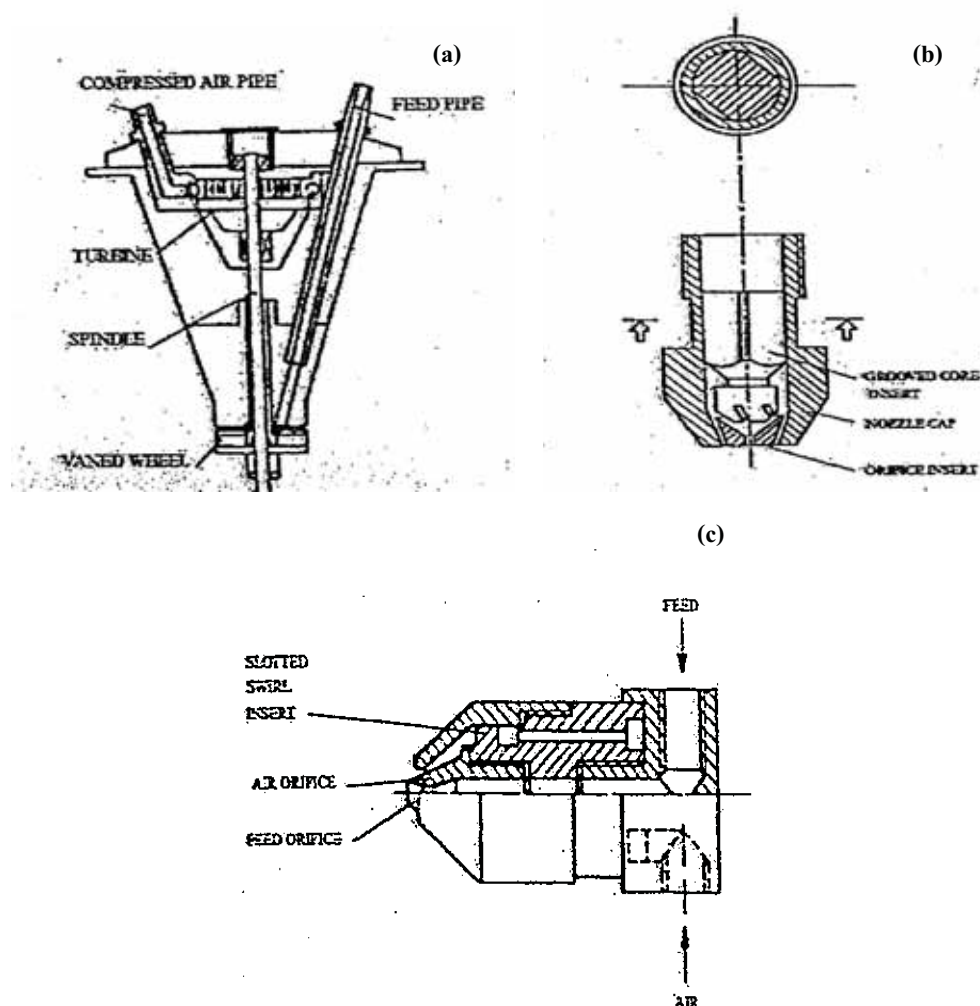
2.3.1 ขั้นตอนของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย ดังต่อไปนี้

1) การทำให้อาหารของเหลวมีขนาดเล็กหรือเป็นละอองฝอย (atomization stage)

ขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการที่มีความสำคัญมาก เนื่องจากทำให้เกิดพื้นที่ผิวในการระเหย ซึ่งถ้ามีพื้นที่ผิวสูงก็จะสามารถระเหยน้ำออกจากอาหารได้รวดเร็ว นอกจากนี้การทำให้เป็นอนุภาคเล็ก ๆ จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเฉพาะทั้งขนาด รูปร่าง ตลอดจนความหนาแน่นเนื่องจากของเหลวมีขนาดเล็กซึ่งจะเพิ่มพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อนได้มาก ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อน และการถ่ายเทมวลอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นหัวฉีด (atomizer) ในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยจึงเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญส่วนหนึ่งซึ่งช่วยให้การทำแห้งเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว และได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี หัวฉีดที่ใช้กับเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยแบ่งเป็น 3 ชนิด ดังภาพที่ 7

- หัวฉีดแบบหมุน (rotary atomizer) ดังภาพ 7(a) ของเหลวที่สามารถใช้ได้อาจเป็นเนื้อเดียวกันหรือไม่เป็นเนื้อเดียวกันก็ได้ ลักษณะของหัวฉีดคล้ายจานหมุน อาหารจะถูกส่งไปยังศูนย์กลางของวงล้อที่หมุนด้วยความเร็วสูง ทำให้อาหารเหลวกระจายเป็นแผ่นบาง ๆ บนผิวของล้อ แล้วถูกเหวี่ยงออกจากจานหมุนเป็นละอองฝอยขนาดเล็กมากตั้งแต่ 30-120 μm ประสิทธิภาพ

ของหัวฉีดแบบนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของของเหลวที่นำมาทำแห้งด้วย เช่น ความเข้มข้น ความหนืด อุณหภูมิของของเหลว เป็นต้น



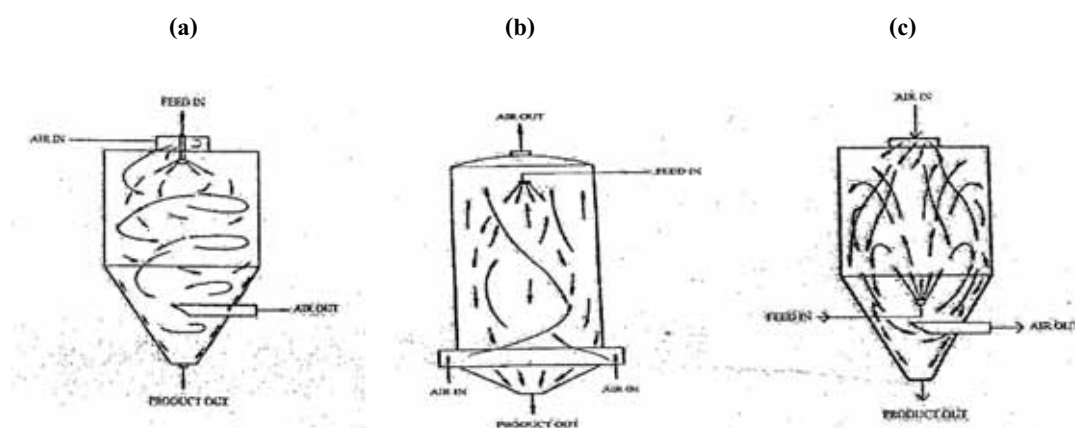
ภาพที่ 7 หัวฉีดแบบต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำแห้งแบบพ่นฝอย (a) หัวฉีดแบบหมุน (rotary atomizer), (b) หัวฉีดแบบแรงดัน (pressure nozzle) และ (c) หัวฉีดแบบ two-fluid nozzle
ที่มา : Master (1991)

- หัวฉีดแบบแรงดัน (pressure nozzle) ดังภาพ 7(b) เป็นหัวฉีดที่ใช้สำหรับการทำแห้งที่มีกำลังการผลิตมาก ๆ จะให้ละอองของเหลวที่มีรูปร่างสม่ำเสมอ (uniform) กว่าหัวฉีดแบบ two-fluid nozzle ของเหลวจะถูกทำให้หมุนรอบแกนด้วยความเร็วสูงมากภายใต้ความดัน ซึ่งความดันที่ใช้อาจสูงถึง 1000 lb/in^2 ขนาดของอนุภาคที่ได้มีตั้งแต่ $120\text{-}250 \text{ }\mu\text{m}$ ขึ้นกับความดัน และขนาดของหัวฉีดเหมาะสำหรับอาหารเหลวที่มีความหนืดสูง

- หัวฉีดแบบ two-fluid nozzle ดังภาพ 7(c) ใช้กับการทำแห้งที่ต้องการอัตราการทำแห้งต่ำ ของเหลวจะกลายเป็นละอองฝอย เนื่องจากถูกอัดด้วยอากาศภายใต้ความดัน หัวฉีดแบบนี้ประกอบด้วย ทางเข้าของอากาศ และทางเข้าของของเหลว ของเหลวจะถูกพ่นออกมาเป็นลำเล็ก ๆ เมื่อกระทบกับอากาศที่มีความดันสูง จะทำให้ของเหลวแตกตัวเป็นละอองมาก ความดันที่ใช้ประมาณ $5-60 \text{ lb/in}^2$

2) การสัมผัสระหว่างหยดของเหลวและอากาศร้อน (spray-air contact stage)

ในขั้นตอนนี้หยดของเหลวจะสัมผัสกับอากาศร้อน เพื่อให้ให้น้ำในอาหารได้รับความร้อนทำให้เกิดการระเหยออกไป การกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศร้อนเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงมาก ถ้าทิศทางการไหลของอากาศเหมาะสมก็จะทำให้การถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นได้เร็วขึ้น ทั้งนี้ขึ้นกับจุดประสงค์ของการทำแห้ง คุณสมบัติของสารละลาย รวมทั้งคุณภาพและลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ การสัมผัสระหว่างหยดของเหลวและอากาศร้อนแบ่งเป็น 3 แบบ ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 รูปแบบการไหลของสารละลายและอากาศร้อนในการทำแห้งแบบพ่นฝอย (a) การไหลในทิศทางเดียวกัน (co-current flow), (b) การไหลสวนทางกัน (counter-current flow) และ (c) การไหลแบบผสมกัน (mixed flow)

ที่มา : Master (1991)

- การไหลในทิศทางเดียวกัน (co-current flow) ดังภาพ 8(a) อาหารจะถูกพ่นฝอยในทิศทางเดียวกับอากาศร้อน วิธีนี้เหมาะสำหรับสารละลายอาหารที่ไม่ทนต่อความร้อน เนื่องจากเกิดการระเหยของน้ำได้รวดเร็ว อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จะต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ไหลออก

- การไหลสวนทางกัน (counter-current flow) ดังภาพ 8(b) อาหารเหลวที่ถูกพ่นฝอยและอากาศร้อนจะไหลในทิศทางตรงกันข้าม เริ่มจากหยดของเหลวที่มีอุณหภูมิต่ำแล้วมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนเท่ากับอุณหภูมิอากาศร้อน ลักษณะแบบนี้ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพ เหมาะกับอาหารที่ทนต่อความร้อนสูง อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะสูงกว่าอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ไหลออก

- การไหลแบบผสมกัน (mixed flow) ดังภาพ 8(c) สารละลายและอากาศร้อนจะมีทั้งไหลไปในทางเดียวกันและสวนทางพร้อม ๆ กัน อากาศร้อนที่ใช้ในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยได้จากความร้อนสองประเภทคือ การทำให้ร้อนโดยตรง และโดยทางอ้อม ประเภทแรกเป็นการเผาไหม้เชื้อเพลิงได้อากาศร้อนแล้วนำไปใช้โดยตรง หรือได้จากขดลวดไฟฟ้าให้ร้อนกับอากาศ ข้อดีคือมีการสูญเสียความร้อนน้อย ส่วนประเภททำความร้อนโดยทางอ้อมได้จากการให้อากาศไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้จากไอน้ำซึ่งจะมีการสูญเสียความร้อนมาก

3) ช่วงการระเหย (evaporation stage)

การระเหยของน้ำออกจากอนุภาคอาหารที่ถูกพ่นฝอยเกิดขึ้นจากการมีการถ่ายเทความร้อน และถ่ายเทมวลสาร การทำแห้งวิธีนี้แตกต่างจากการทำแห้งวิธีอื่นคือ การระเหยของน้ำจะเกิดขึ้นในช่วงอัตราการทำแห้งคงที่เป็นส่วนมาก เนื่องจากอนุภาคอาหารมีความชื้นสูงมาก และจะเกิดในทำนองเดียวกันกับการระเหยของหยดน้ำบริสุทธิ์ กระบวนการถ่ายเทความร้อน และการถ่ายเทมวลเกิดขึ้นดังนี้ อันดับแรกอนุภาคถูกทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นจากการนำความร้อน และการพาความร้อนซึ่งเกิดขึ้นที่ผิวของอนุภาคแล้วเปลี่ยนอยู่ในรูปของความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอน้ำ จากนั้นส่วนของไอน้ำจะถูกถ่ายมวลงให้อากาศร้อนโดยการแพร่ (diffusion) และโดยการพา (convection) ออกไปจากผิวหน้าของอนุภาค อัตราการระเหยน้ำขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ อุณหภูมิของอากาศร้อน ความชื้นสัมพัทธ์ หรือความดันไอน้ำ และคุณสมบัติในการถ่ายเทของอากาศ ขนาดอนุภาค ความเร็วลมของอากาศร้อน ตลอดจนคุณลักษณะหรือองค์ประกอบของส่วนประกอบที่เป็นของแข็งในอนุภาคด้วย

4) การแยกอาหารผงจากกระบวนการทำแห้ง (product recovery stage)

เมื่อการระเหยนํ้าออกจากหยดของเหลวเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์แล้ว อาหารผงจะตกลงสู่ส่วนล่างของถังทำแห้ง และถูกดูดออกมาตามท่อลมออก ซึ่งอาหารผงสามารถแยกออกจากอากาศร้อนด้วยระบบไซโคลน (cyclone separator) โดยอาศัยแรงเหวี่ยงและการถ่ายเทโมเมนตัม

2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

เนื่องจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีตัวแปรที่สามารถเลือกสภาวะการใช้งานได้หลายค่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีคุณภาพแตกต่างกันไป เพื่อให้ได้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ตามต้องการต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ ดังต่อไปนี้

1) การทำให้เกิดหยดของเหลวขนาดเล็ก (atomization)

การเพิ่มพลังงานในการทำให้เกิดอนุภาคฝอยจะทำให้ได้อนุภาคที่มีขนาดเล็กลง เมื่ออัตราการป้อนคงที่ กล่าวคือเมื่อเพิ่มความเร็วรอบ หรือความดันของหัวฉีด หรืออัตราส่วนการไหลระหว่างอากาศกับของเหลวในหัวฉีด จะได้อนุภาคฝอยที่มีขนาดเล็กลง ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาแน่นสูง

2) คุณสมบัติของสารป้อน

ถ้าเพิ่มปริมาณของแข็งในสารละลายป้อน โดยที่สภาวะการทำงานของหัวฉีดคงที่ จะมีผลต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเมื่อปริมาณของแข็งในอนุภาคที่พ่นฝอยเพิ่มขึ้นในขณะที่อัตราการระเหยนํ้ายังคงเดิม ดังนั้นอัตราส่วนความชื้นต่อของแข็งที่เหลืออยู่ในอนุภาคจะน้อยกว่า ในกรณีที่ปริมาณของแข็งในสารละลายป้อนต่ำ ผลที่ได้ตามมาคือผลิตภัณฑ์มีความชื้นลดลง

3) อัตราการป้อน (feed rate)

การเพิ่มอัตราการป้อน โดยที่สภาวะการทำงานของหัวฉีดคงที่ มีผลทำให้อุณหภูมิที่พื้นผิวมีขนาดใหญ่ขึ้น ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีขนาดใหญ่ด้วย และความหนาแน่นจะต่ำ และเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนโดยที่อัตราการไหลของอากาศร้อนเข้าและปริมาณความร้อนที่ให้ระบบคงที่ มีผลให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น

4) ชนิดของหัวฉีด

หัวฉีดแบบ rotary และ nozzle ที่แตกต่างกันมีความสามารถพื้นผิวได้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นกับการออกแบบ และลักษณะเฉพาะของแต่ละเครื่อง หัวฉีดแบบ rotary สามารถใช้งานได้ทั่ว ๆ ไป ส่วนหัวฉีดแบบ nozzle จะให้อุณหภูมิที่มีขนาดใหญ่กว่า ดังนั้นการเลือกใช้งานขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิตว่ามีลักษณะเช่นใด

5) การออกแบบหัวฉีด

ในหัวฉีดแต่ละชนิดมีอุปกรณ์หลายส่วนที่สามารถออกแบบให้ใช้งานได้แตกต่างกันไป เช่น ระยะห่างระหว่างซี่ (vane) จำนวน ความสูงและความกว้างของซี่ในหัวฉีดแบบ rotary มีผลทำให้อุณหภูมิที่พื้นผิวออกมามีลักษณะแตกต่างกัน

6) การไหลของอากาศ

การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของอากาศมีผลต่อเวลาที่อยู่ในห้องทำแห้ง (residence time) ของอนุภาคหรือเวลาที่ใช้ในการทำแห้งโดยตรง ถ้าอัตราการไหลของอากาศลดลง ทำให้เวลาที่อยู่ในห้องทำแห้งของอนุภาคหรือเวลาที่ใช้ในการทำแห้งเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณน้ำที่ถูกระเหยมีมากขึ้น เป็นผลให้ปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์ลดลง

7) อุณหภูมิในการทำแห้ง

ที่อัตราการไหลของอากาศคงที่ อุณหภูมิอากาศเข้า และอุณหภูมิอากาศออกมีผลต่ออุณหภูมิในการทำแห้ง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศเข้าเป็นการเพิ่มแรงขับ (driving force) ของน้ำใน

อนุภาคที่จะระเหยออกไป เป็นผลให้ความสามารถในการระเหยน้ำของเครื่องทำแห้งเพิ่มขึ้น และเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อน (thermal efficiency) ของการทำแห้ง ในสภาพการทำงานจริง ต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณความชื้นสุดท้ายค่าหนึ่งเท่านั้นเพื่อให้ได้คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีตามต้องการ ดังนั้นอุณหภูมิอากาศออกต้องอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้แน่นอน ในบางกรณีต้องเลือกสภาวะการทำงานที่อุณหภูมิอากาศออกต่ำซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสูง เพื่อป้องกันการรวมตัวหรือดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บ

2.4 เครื่องปรุงรสสำเร็จรูปชนิดผง (seasoning powder)

เครื่องปรุงรสสำเร็จรูปชนิดผงมีการนำไปใช้อย่างแพร่หลายโดยเฉพาะในกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมอาหารขบเคี้ยว บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ผลิตภัณฑ์แป้งกรอบ อาหารทะเลแปรรูป และฟาสต์ฟู้ด เป็นต้น โดยจะเป็นการผลิตตามสูตรเฉพาะที่ทางโรงงานอุตสาหกรรมแต่ละแห่งกำหนดอย่างชัดเจน การผลิตแต่ละครั้งจะผลิตในปริมาณมากใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตต่อไปในลักษณะต่างๆ กันตามประเภทของอุตสาหกรรม ดังนี้

- อุตสาหกรรมขบเคี้ยว นำไปใช้เคลือบตัวผลิตภัณฑ์ (coating) ที่ทำจากข้าว ข้าวโพด มันฝรั่ง มันสำปะหลัง ปลา เป็นต้น ปริมาณการใช้ประมาณร้อยละ 5-10 ของส่วนผสม
- อุตสาหกรรมบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป นำไปใช้ปรุงรสในน้ำซุ๊ป และเป็นส่วนผสมในซองปรุงรส ซึ่งตลาดเครื่องปรุงรสในส่วนนี้จัดเป็นตลาดที่ใหญ่
- อุตสาหกรรมอาหารสำเร็จรูปทั้งอาหารทะเล และอาหารประเภทเนื้อจะใช้ในการหมักคลุก หรือผสมในตัวผลิตภัณฑ์ เช่น ไส้กรอก เพื่อเพิ่มรสชาติอาหาร
- อุตสาหกรรมอาหารฟาสต์ฟู้ด เช่น เป็นส่วนผสมในแป้งที่ใช้ทอดเนื้อไก่ KFC เป็นต้น

สำหรับเครื่องปรุงรสสำเร็จรูปชนิดผงที่จำหน่ายแก่ผู้บริโภคในระดับครัวเรือนจะเป็นการผลิตในลักษณะขนาดเล็ก และมีรสชาติหลากหลาย เช่น รสหมู รสเนื้อ รสไก่ รสเครื่องแกงต่างๆ เป็นต้น โดยเน้นรสชาติกลางๆ ซึ่งเป็นที่นิยมในกลุ่มผู้บริโภคทั่วไป ทำการบรรจุในซองหรือขวด ในขนาดที่พอเหมาะต่อการใช้อย่างสะดวก วัตถุประสงค์ของการนำเครื่องปรุงรสสำเร็จรูปไปใช้ในครัวเรือนก็เพื่อเป็นการเพิ่มรสชาติให้กับอาหารประเภทต่างๆ เป็นหลัก เช่น ผัดกับผัก หมัก

กับเนื้อสัตว์ประเภทต่างๆ เป็นต้น คุณภาพของเครื่องปรุงรสสำเร็จรูปชนิดผงที่ดี ควรมีเนื้อของผลิตภัณฑ์ที่ผสมคลุกเคล้าเป็นเนื้อเดียวกันอย่างสม่ำเสมอ อยู่ในลักษณะเป็นผงร่อน ถ้าจับตัวเป็นก้อนต้องสามารถทำให้แตกออกเป็นผงได้ง่ายด้วยมือ สีของส่วนผสมต้องมีสีเหลืองอมน้ำตาล หรือสีตามธรรมชาติของส่วนประกอบที่ใช้ มีกลิ่นรสตามธรรมชาติของส่วนประกอบที่ใช้จนรับประทาน สามารถนำไปใช้ได้อย่างสะดวก และเก็บไว้ได้นาน เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพของเครื่องปรุงรสสำเร็จรูปชนิดผงที่ผู้ประกอบการจำหน่ายอยู่ในปัจจุบันกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมพบว่า ปริมาณส่วนผสมอยู่ในเกณฑ์ที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนดไว้ และพบว่าผู้ผลิตบางรายได้เพิ่มส่วนผสมเนื้อสัตว์อยู่ในปริมาณสูงกว่ามาตรฐาน เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณค่าทางโภชนาการเพิ่มมากขึ้น (สุมาลี และคณะ, 2543)

2.4.1 เทคโนโลยีการผลิตเครื่องปรุงรส

เครื่องปรุงรสสำเร็จรูปชนิดผง เป็นอุตสาหกรรมที่ใช้เทคโนโลยีง่ายๆ ไม่ซับซ้อน สามารถดัดแปลง และเลียนแบบได้ง่าย การหาแหล่งวัตถุดิบที่มีคุณภาพได้มาตรฐานตามที่โรงงานกำหนด และสามารถป้อนเข้าสู่โรงงานได้อย่างต่อเนื่องเป็นสิ่งสำคัญที่สุด โดยแหล่งวัตถุดิบที่แต่ละโรงงานใช้อยู่ในปัจจุบันมาจากทั้งในประเทศและต่างประเทศ เนื่องจากวัตถุดิบในประเทศยังมีคุณภาพไม่ได้มาตรฐาน หรือไม่สามารถหาซื้อวัตถุดิบภายในประเทศได้ เครื่องจักรอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตเครื่องปรุงรสสำเร็จรูปชนิดผงเป็นเครื่องจักรอุปกรณ์แบบง่ายๆ เน้นในเรื่องการผสมวัตถุดิบแต่ละชนิดให้รวมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งเป็นเครื่องมือผสมแบบผสมแห้ง (dry mix) ผู้ผลิตเครื่องจักรในเมืองไทยก็สามารถดัดแปลง และผลิตเครื่องจักรเองได้ ในส่วนของการบรรจุก็อาจบรรจุโดยใช้แรงงานคน หรือเครื่องบรรจุที่ผลิตขึ้นในประเทศเช่นกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกำลังความสามารถในการลงทุนของผู้ประกอบการว่าจะเลือกใช้เครื่องจักรที่ทันสมัยและได้มาตรฐานมากเพียงใด อย่างไรก็ตามการเข้าสู่อุตสาหกรรมนี้สามารถทำได้โดยง่าย เนื่องจากเทคโนโลยีไม่ซับซ้อน วัตถุดิบหาง่าย ขั้นตอนการผลิตไม่ยุ่งยากจึงทำให้มีผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมนี้อยู่เป็นจำนวนมาก (สุมาลี และคณะ, 2543)

2.5 การวัดค่าสี

ผลิตภัณฑ์ใดๆ ที่มีการผลิตออกมาจำหน่าย เพื่อการบริโภคหรืออุปโภค พบว่าสิ่งสำคัญในการที่จะดึงดูดความสนใจคือ สีที่แตกต่างกันไปและความสม่ำเสมอของสี ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่มีการผลิตออกมาแล้ว มีสีที่สม่ำเสมอ ผู้บริโภคอาจจะพิจารณาว่าผลิตภัณฑ์นั้นไม่มีคุณภาพ ซึ่งส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ แต่การตัดสินใจของแต่ละคนนั้นก็แตกต่างกันไป ทั้งนี้เนื่องจากการเห็นสีนั้นเกิดจากตา และสมองสั่งการ รวมทั้งประสบการณ์ที่ไม่เหมือนกัน ดังนั้นจึงได้มีการกำหนดการวัดสีในระบบที่เป็นตัวเลขขึ้นมา เพื่อควบคุมคุณภาพของสินค้า และสีที่ใช้ในทางอุตสาหกรรมให้เป็นไปตามมาตรฐานในระดับสากล (ภักขิณ, 2550)

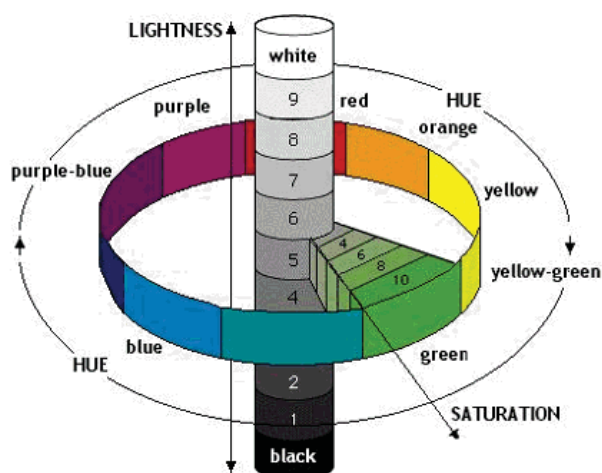
การมองเห็นสีของมนุษย์เกิดจากการที่แสงที่สะท้อนจากวัตถุนั้นๆ มากระทบตาเรา และส่งไปสมอง เพื่อแปลออกมาเป็นสีที่เห็น ดังนั้นในการมองเห็นจึงมีปัจจัยอยู่ 3 อย่าง คือ แหล่งกำเนิดแสง วัตถุที่มีสี และ สายตาของคนเรา เมื่อแสงจากแหล่งกำเนิดแสงส่องมาตกกระทบวัตถุที่มีสี จะสะท้อน เข้าสู่ตา และตาของมนุษย์เราจะไวต่อแม่สีแสง 3 สีคือ สีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน

2.5.1 ระบบการวัดสี

การวัดค่าของสีจะระบุค่าสีของวัตถุเป็น 3 ค่า เพื่อความชัดเจนและสมบูรณ์ที่สุด ค่าของสีทั้ง 3 ค่าดังกล่าว จะมีหน่วยต่างกันตามระบบการวัดที่แตกต่างกัน ระบบการวัดสีที่นิยมแบ่งได้ 3 ระบบ ได้แก่ ระบบ Munsell, ระบบ CIE และระบบ Hunter Lab (Kanthamoon, 2009) แต่ละระบบมีรายละเอียดดังนี้

1) Munsell Color System

ในปี 1915 Albert Munsell สร้างระบบสีมาตรฐาน เพื่อใช้ในงานด้านวิทยาศาสตร์ และอุตสาหกรรม การแทนค่าสีโดยใช้ระบบนี้ใช้ค่า 3 ค่า ได้แก่ Hue, Value และ Chroma ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 Munsell color dimensions

ที่มา : Kanthamoon, 2009

Hue (เฉดสี) คือชื่อของสีหลัก แบ่งเป็นสีแตกต่างกัน โดย Principle Hues มี 5 สี คือ แดง (R) เหลือง (Y) เขียว (G) น้ำเงิน (B) ม่วง (P)

Value คือค่าแสดงความสว่างของสี (lightness) หรือปริมาณแสงที่สะท้อนออกมาจากวัตถุ ถ้าปริมาณแสงสะท้อนมีมากจะทำให้เห็นสีสว่าง (light color) ถ้าปริมาณแสงสะท้อนออกมาน้อยจะทำให้เห็นสีเข้ม หรือมืด (dark color) Value มีค่าตั้งแต่ 0 หมายถึง วัตถุดำสมบูรณ์ ถึง 10 หมายถึง วัตถุขาวสมบูรณ์

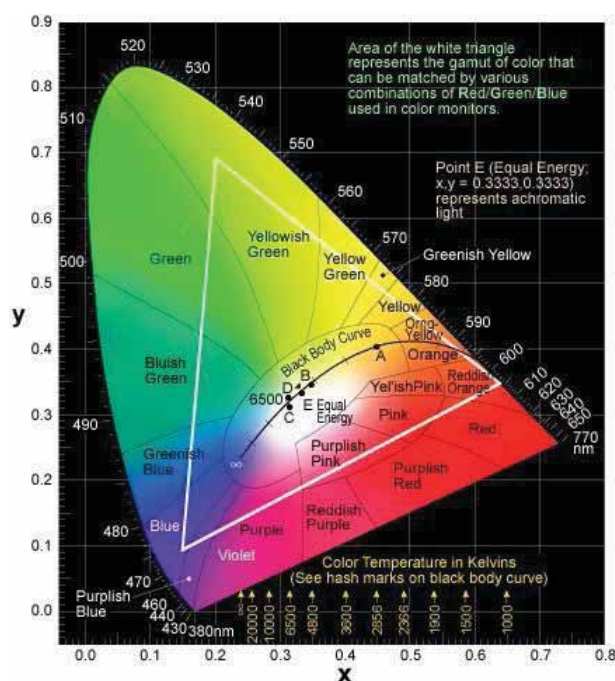
Chroma คือค่าที่แสดงความบริสุทธิ์ (purity) ของสี สีที่บริสุทธิ์มากที่สุด คือสีที่ไม่มีแสงสีเทาผสมเลย ซึ่งได้แก่สีหลัก (Hue) ทั้ง 100 สี แบ่งสเกลเป็น 0 ถึง 18 เป็นการวัดความแตกต่างของสีหลักจากสีเทาที่ความสว่างเดียวกัน

2) CIE system (Commission International de l'Eclairage) หรือ (International Commission on Illumination, ICI)

CIE system เป็น Trichromatic system ที่อาศัยพื้นฐานที่ว่าสีใดๆ เกิดจากการผสมแม่สีสเปกตรัม (primary spectrum) 3 สีเข้าด้วยกัน คือ สเปกตรัมสีแดง สเปกตรัมสีเขียว และสเปกตรัมสีน้ำเงิน โดยใช้ สัญลักษณ์ X, Y, Z Tristimulus colorimeter การแปลงค่า X, Y, Z ให้อยู่ในรูปค่าคู่

ลำดับ (X, Y) และหน่วยการบอกค่าสี (Mathematical Unit in CIE) CIE กำหนดแม่สีในอุดมคติ (imaging primaries) ขึ้นมาแทนแม่สีที่มีอยู่จริง (แดง เขียว น้ำเงิน) โดยใช้สัญลักษณ์เป็น X, Y, Z ซึ่งเรียกว่า tristimulus values โดยที่ X คือปริมาณสีแดงที่นำมาผสม Y คือปริมาณสีเขียวที่นำมาผสม Z คือปริมาณสีน้ำเงินที่นำมาผสม และ Y ยังบอกถึงความสว่าง (brightness) ด้วย ซึ่งเทียบได้กับค่า Value ในระบบ Munsell เรียกว่า xyz นี้ว่า chromaticity coordinate หรือ trichromatic coefficient หรือ color coordinate ดังนั้น $x+y+z = 1$ แทนสเปกตรัมสีทั้ง 3 ตามลำดับ ค่า X, Y, Z

เมื่อนำค่า x และ y ในแต่ละ wavelength มา plot กราฟ โดยให้แกน Y แทนค่า y และแกน X แทนค่า x จะได้กราฟดังภาพที่ 10 เรียกว่า Chromaticity diagram



ภาพที่ 10 Chromaticity diagram

ที่มา : Kanthamoon, 2009

3) CIE LAB Color Space

ในปี 1976 ได้กำหนด uniform color space ขึ้นมา เพื่อลดปัญหาที่เกิดขึ้นกับ CIE Yxy color space เนื่องจากสีที่ต่างกันในระยะเท่ากัน ใน Yxy color space ให้ความแตกต่างของสีไม่เหมือนกัน ทั้งนี้เนื่องจาก scale ที่ใช้ไม่ uniform ระบบใหม่ที่ CIE กำหนดขึ้น คือ L^*, a^*, b^* color

space โดยที่ แกน L^* จะบ่งบอกถึงความสว่างของสี โดยมีค่าตั้งแต่ 0 (สีดำ) ถึง 100 (สีขาว) แกน a^* จะบ่งถึงสีแดง และสีเขียว โดยค่าเป็นบวกก็จะเป็นสีแดงมากขึ้น และถ้าค่าเป็นลบก็จะเป็นสีเขียวมากขึ้น ส่วนแกน b^* จะบ่งถึงสีเหลือง และสีน้ำเงิน โดยค่าเป็นบวกก็จะเป็นสีเหลือง และถ้าค่าเป็นลบก็จะเป็นสีน้ำเงินมากขึ้น

อย่างไรก็ตามในระบบ CIE LAB นั้น ไม่มีค่าในส่วนที่แสดงค่าของ tristimulus value หรือ chromaticity coordinate ตามที่ CIE ได้ตั้งไว้ในปี 1931 ดังนั้นทาง CIE จึงได้แปลงระบบ CIE LAB ให้เป็นระบบ cylindrical coordinate อันจะทำให้การอธิบายสีเหมือนกับระบบดั้งเดิมโดย L^* จะแสดง ค่า lightness C^* แสดงค่า chroma และ h แสดงค่า hue angle

L^*, a^*, b^* color space สำหรับค่า C^* เริ่มจาก 0 ซึ่งเป็นค่าที่ศูนย์กลาง และเพิ่มมากขึ้นตามระยะที่ห่างจากศูนย์กลางมากขึ้น สำหรับ Hue angle (h) เป็นค่ามุมที่ทำกับแกน $+a^*$ โดยค่า 0° เท่ากับ $+a^*$ (red), ค่า 90° เท่ากับ $+b^*$ (yellow), ค่า 180° เท่ากับ $-a^*$ (green) และค่า 270° เท่ากับ $-b^*$ (blue) ซึ่งค่า C^* และ h สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

$$\text{Chroma, } C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad \dots\dots\dots \text{สมการที่ 3}$$

$$\text{Hue angle, } h = \tan^{-1} (b^*/a^*) \quad \dots\dots\dots \text{สมการที่ 4}$$

นอกจากนี้ในอุตสาหกรรมอาหาร และเครื่องเทศยังมีการนำ L^*, a^*, b^* color space มาประยุกต์ใช้ร่วมกับวิธีการวัดสีอื่นๆอีกด้วย

Vracar และคณะ (2007) ศึกษาอิทธิพลการให้ความร้อนต่อค่าสีของ ground pepper (*Capsicum annuum* L.) ได้แก่ สีที่สกัดได้ (extractable colour) และสีที่พื้นผิว (surface colour) ได้แก่ค่า L^*, a^*, b^* และ hue angle รวมถึงคุณภาพและปริมาณแคโรทีนอยด์ (qualitative and quantitative carotenoid content) ในการศึกษาได้พิจารณาเปลี่ยนแปลงของสีโดยการสกัดสีตามวิธีของ ASTA (American Spice Trade Association) ซึ่งทำได้โดยนำตัวอย่าง ground pepper 0.07-0.1 กรัม ลงในขวดแก้ว (flask) เติมน้ำด้วยเครื่องเขย่าสาร และเก็บในที่มืด 4 ชั่วโมง นำส่วนที่ถูกสกัดไปทำการวัดค่า โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 460 นาโนเมตร แล้วจึงนำค่าที่อ่านได้มาคำนวณตามสมการที่ 5

$$\text{ASTA 20} = \left\{ \frac{A \times 16.4}{m} \right\} \times I_f \quad \dots\dots\dots\text{สมการที่ 5}$$

เมื่อ ASTA	คือ ค่าสีที่สกัดได้ (extractable color) ตามวิธี ASTA 20
A	คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารที่มีความยาวคลื่น 460 นาโนเมตร
m	คือ น้ำหนักของตัวอย่าง หน่วย กรัม
I_f	คือ ปัจจัยการแก้ไขสำหรับเครื่องมือที่มีการคำนวณ จาก absorbance ของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต, แอมโมเนียซัลเฟต และโคบอลต์ซัลเฟต

Park และ Chang (2007) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสี และ antioxidant compounds ของพริกปาปริกาภายใต้สภาวะการทำแห้งและการเก็บรักษาที่เหมาะสม โดยวิธีทำแห้ง 4 วิธี ได้แก่ การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) การทำแห้งแบบสูญญากาศ (vacuum drying) การทำแห้งแบบการใช้รังสีอินฟราเรด (far infrared-ray drying) และ การทำแห้งแบบใช้ลมร้อน (hot air drying) มีการศึกษาคุณภาพได้แก่ การวัดค่าปริมาณความชื้น ค่าสี และ antioxidant compounds ในช่วงระยะเวลา 120 วัน โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิที่ 4 และ 30 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พบว่าค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ยของพริกปาปริกาเริ่มต้นร้อยละ 14.4 และปริมาณความชื้นจะลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น พบว่าที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จะมีการเปลี่ยนแปลงลดลงอย่างช้า ๆ โดยมีปริมาณความชื้นร้อยละ 11.8-10.23 ขณะที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน มีปริมาณความชื้นร้อยละ 9.42-4.35 ซึ่งพริกที่บรรจุอยู่ในถุงพลาสติกประเภทไนลอนที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถรักษาความชื้น ค่าสี และ antioxidant compounds ไว้ได้ดีกว่าถุงพลาสติกประเภท LDPE เนื่องจากมีคุณสมบัติในการซึมผ่านของอากาศและความชื้นที่ดี นอกจากนี้ยังพบว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการรักษาคุณภาพของพริกปาปริกา ดังนั้นวิธีการทำแห้ง อุณหภูมิการเก็บรักษา และภาชนะบรรจุมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสี และยังพบว่ายังมีความสัมพันธ์ระหว่างการสกัดค่าสีโดยวิธีของ ASTA กับพื้นที่ผิวของสีพริกโดยวิธี Hunter LAB

Aleksandra และ Biserka (2004) ศึกษาความสัมพันธ์ของพริกผง (pepper powder) ที่ถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (ambient temperature) ที่กระตุ้นโดยใช้แสงสว่าง มีการประเมินคุณภาพสีโดย

วิธีการวัดค่าพื้นผิวสี (surface color measurement) ได้แก่ ค่า L^* , a^* และ b^* และการสกัดค่าสี (extractable color measurement) โดยวิธีของ ASTA พบว่า ค่า ASTA มีแนวโน้มลดลงระหว่างการเก็บรักษา ในขณะที่ Hue angle มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งชี้บ่งการเปลี่ยนแปลงของสีพริกจากสีแดงเป็นสีส้ม นอกจากนี้ Hue angle ของสีปาปริกามีค่าเพิ่มขึ้นจาก 39.53 เป็น 45.67 ในพริก Djala และ 38.53 เป็น 43.45 ของพริกพันธุ์ Stara Pazova จากระยะเวลาการเก็บเริ่มต้นถึง 4 เดือน ตามลำดับ

Topuz (2008) ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและ a_w ต่อค่าการเสื่อมสลายของสีในผงพริกปาปริกา ปัจจัยตัวแปรของค่าสี คือ Hunter color (L^* , a^* , b^*), hue angle (h°) และความแตกต่างของสีทั้งหมด (total color difference, TCD) ถูกใช้ประเมินการเปลี่ยนแปลงของค่าสีของพริกปาปริกา ระหว่างการทดลองการ โดยให้ความร้อนที่ 60, 80, และ 99 องศาเซลเซียส และ a_w ที่ 0.459, 0.582 และ 0.703 พบว่าอิทธิพลของ a_w ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี L^* , a^* , b^* และ TCD กล่าวคือเมื่อ a_w มีค่าที่ 0.459, 0.582 และ 0.703 มีผลทำให้ค่า L^* มีค่าลดลงจากเริ่มต้น 37.49 เป็น 29.16, 28.21 และ 27.21 ตามลำดับ ค่า a^* มีค่าลดลงจากเริ่มต้น 21.51 เป็น 3.93, 2.86 และ 2.37 ตามลำดับ ค่า b^* มีค่าลดลงจากเริ่มต้น 13.56 เป็น 2.74, 1.80 และ 1.42 ตามลำดับ และค่า TCD มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจาก 0.80 ไปเป็น 22.98, 24.29 และ 24.76 ตามลำดับ นอกจากนี้การเสื่อมสลายของสีปาปริกายังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิการทำแห้งโดยอธิบายความสัมพันธ์จากสมการของ Arrhenius และสรุปได้ว่าค่า a_w ที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการเสื่อมสลายของสีพริกปาปริกาเร็วขึ้น

Topuz และคณะ (2009) ศึกษาอิทธิพลการทำแห้งและการเก็บรักษาต่อลักษณะของสีพริกปาปริกา ซึ่งในการศึกษาได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างการทำแห้งแบบ Refractance Window™ drying (RWD) การทำแห้งแบบแช่แข็ง (freeze drying) การทำแห้งแบบลมร้อน (hot air oven) และการตากแห้งโดยธรรมชาติ (natural convective drying) เพื่อประเมินคุณภาพของสีปาปริกา โดยการวัดค่าสี ได้แก่ CIE LAB, hue angle และ chroma, การสกัดค่าสี และอัตราความเป็นสีแดงต่อสีเหลือง (red/yellow pigment ratio) พบว่าการทำแห้งแบบแช่แข็ง และการทำแห้งแบบ RWD มีประสิทธิภาพในการรักษาค่าสีของปาปริกา โดยเมื่อระยะเวลาการเก็บมากขึ้น ค่า L^* เปลี่ยนแปลงจาก 45.62 เป็น 42.66 ค่า a^* เปลี่ยนแปลงจาก 29.71 เป็น 24.99 ค่า b^* เปลี่ยนแปลงจาก 21.88 เป็น 18.31 ค่า hue angle จาก 36.35 เป็น 36.22 และค่า Chroma จาก 36.90 เป็น 30.98 จากระยะเวลาเริ่มต้นถึง 90 วันตามลำดับ พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของค่าสี ลดลงในทุกๆ ตัวอย่างของปาปริกาในระหว่างการเก็บรักษา

Horváth และ Hodúr (2007) ศึกษาลักษณะสีของผงพริกปาปริกาที่มีความชื้นแตกต่างกัน อธิบายโดยใช้ค่าสี CIE LAB ในการศึกษาหลายๆ คุณภาพของ Hungarian paprika powder ความชื้นของปาปริกาถูกเพิ่มขึ้นร้อยละ 1, 2, 3, 4 และ 5 จากตัวอย่างเริ่มต้น การเพิ่มขึ้นของความชื้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า L^* , b^* , Chroma และ hue angle อย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ความชื้นเพิ่มขึ้นร้อยละ 3-5 เป็นสาเหตุของการลดลงของ h° เท่ากับ 2-4 องศา การลดลงของความสว่าง 1.5-2 หน่วย และการลดลงของ Chroma 1.5-2.0 หน่วย ค่าความแตกต่างของสีทั้งหมดระหว่างตัวอย่างเริ่มต้นและตัวอย่างที่เพิ่มความชื้นมีค่าเท่ากับ 1.5 หน่วย

2.6 งานวิจัยเกี่ยวกับการทำเอ็นแคปซูลในอุตสาหกรรมอาหาร

Jon (1987) ศึกษากระบวนการผลิตเอ็นแคปซูลของกรดฟอสฟอริกซึ่งโดยปกติอยู่ในรูปของเหลว โดยใช้เทคนิคเอ็กทรูชัน (extrusion) และการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตได้แก่ สารละลายกรดบัพเฟอร์ที่มีช่วง pH 4.4-8.8 น้ำ และสารเคลือบ ได้แก่ มอลโตเด็คซ์ทริน และ แป้งข้าวโพดคัดแปร ที่มีชื่อทางการค้า เรียกว่า แคปซูล (capsule) ซึ่งมีคุณสมบัติในการละลายน้ำ สร้างฟิล์ม และเป็นสารห่อหุ้มที่ดี ในการทดลองพบว่าปริมาณสารเคลือบที่มีของแข็งอย่างน้อยร้อยละ 20 ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีการดูดความชื้นต่ำ และสารเคลือบทั้งสองชนิดสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการทำเอ็นแคปซูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Uddin และคณะ (2001) ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในกระบวนการผลิตของกรดแอสคอร์บิกเอ็นแคปซูล ซึ่งใช้เทคนิคในการทำเอ็นแคปซูล 4 เทคนิค ได้แก่ การแยก การหลอมละลาย การระเหยด้วยตัวทำละลาย และการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้วัตถุดิบในการห่อหุ้ม 4 ชนิด ทั้งเดี่ยวและแบบผสม ซึ่งประกอบด้วย เจล แป้ง เอทิลเซลลูโลส (ethyl cellulose) และ เบต้า-ไซโคลเด็คซ์ทริน (β -cyclodextrin) ผลการทดลองพบว่า กรดแอสคอร์บิกมีการสูญเสียระหว่างการทำเอ็นแคปซูลโดยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอยเพียงร้อยละ 20 และขนาดของเอ็นแคปซูลที่ใช้วัสดุห่อหุ้มแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน

Taxi และคณะ (2003) ได้ทำการศึกษาการทำเอ็นแคปซูลของน้ำผลไม้ camu-camuc (*Myciariadubia*) โดยใช้วิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตเอ็นแคปซูลที่มีผลต่อการคงอยู่ของวิตามินซี และหาสภาวะการผลิตที่เหมาะสม ซึ่งใช้สารเคลือบสองชนิดได้แก่

กัมอาราบิก และมอลโตเด็กซ์ตริน DE 10 มีสภาวะการทดลองดังนี้ อุณหภูมิอากาศเข้า (inlet air temperature) อยู่ในช่วง 100-160 องศาเซลเซียส เมื่อใช้มอลโตเด็กซ์ตรินเป็นสารเคลือบร้อยละ 12-32 จะให้ผลิตผลสูง ที่อุณหภูมิระหว่าง 120-152 องศาเซลเซียส ปริมาณสารเคลือบร้อยละ 15 และอุณหภูมิอากาศเข้า 150 องศาเซลเซียส จะได้ผลิตผลของน้ำผลไม้ที่สูงที่สุดคือร้อยละ 26 และวิตามินซีร้อยละ 7 ในขณะที่การใช้สารเคลือบจากกัมอาราบิกจะให้ผลิตผลที่เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณสารเคลือบ โดยพบว่าการใช้สารเคลือบร้อยละ 15 และอุณหภูมิอากาศเข้า 150 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณผลิตผลร้อยละ 24 และวิตามินซีร้อยละ 6 สรุปว่ามอลโตเด็กซ์ตรินและกัมอาราบิกให้สภาวะที่เหมาะสมในทิศทางเดียวกัน และได้ผลิตผลที่ใกล้เคียงกัน

Priscilla และคณะ (2005) ศึกษาการทำให้เย็นแคปซูลของกรดแอสคอร์บิก เพื่อยังคงรักษาคุณค่าของวิตามินซีไว้ โดยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งใช้มอลโตเด็กซ์ตริน DE ระหว่าง 19-22 แป้งคัดแปรแคปซูล และสารผสมระหว่างมอลโตเด็กซ์ตรินและแป้งคัดแปรแคปซูลเป็นสารเคลือบแทนที่กัมอาราบิก เนื่องจากมีราคาถูก และมีคุณสมบัติที่ดีในการเป็นสารเคลือบ โดยศึกษาถึงปริมาณของแข็งทั้งหมด (total soluble solids) ร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนัก ทำการเย็นแคปซูลด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยกำหนดความเร็ว 20 มิลลิลิตรต่อนาที ความดัน 6 atm. อุณหภูมิอากาศเข้าที่ 190 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศออกที่ 90 องศาเซลเซียส ศึกษาปริมาณของกรดแอสคอร์บิกที่เก็บที่อุณหภูมิ 28 และ 45 องศาเซลเซียส พบว่าสารเคลือบจากสารผสมระหว่างมอลโตเด็กซ์ตรินและแป้งคัดแปรแคปซูล ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นระยะ 60 วัน มีการลดลงของกรดแอสคอร์บิกร้อยละ 7 โดยที่มีขนาดของอนุภาคที่เล็กที่สุด 4.8 ไมครอน และมีผลิตผลสูงสุดที่ร้อยละ 52 ในขณะที่กรดแอสคอร์บิกที่ถูกเย็นแคปซูลที่เก็บรักษาที่ 45 องศาเซลเซียส มีปริมาณลดลงสูงกว่าที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส และเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น กรดแอสคอร์บิกเสื่อมสลายไป สามารถนำกรดแอสคอร์บิกที่ถูกเย็นแคปซูลมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น ผลิตภัณฑ์ธัญพืช ขนมปัง คุกกี้ และอื่นๆ

Rosenberg และคณะ (1985) รายงานผลการทดลองรูปร่างและขนาดเย็นแคปซูลจากแป้งคัดแปรมันสำปะหลังมีลักษณะเป็นทรงกลมที่มีรอยเว้า ในขณะที่จากแป้งมันสำปะหลังมีลักษณะเป็นทรงกลม พื้นผิวเรียบ ไม่มีรอยเว้า ส่วนมอลโตเด็กซ์ตรินมีลักษณะเป็นทรงกลมที่มีผิวเรียบ และมีหลายรอยเว้าบนพื้นผิว เมื่อพิจารณาถึงขนาดอนุภาคพบว่าแป้งคัดแปรมีขนาดอนุภาคระหว่าง 5 ถึง 30 ไมครอน ส่วนแป้งมันสำปะหลังมีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 2 ถึง 18 ไมครอน ลักษณะของโครงสร้างที่เป็นรอยเว้าเนื่องจากของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งทำให้เกิดการหดตัวของอนุภาคในระหว่างกระบวนการทำแห้ง พื้นผิวที่มีรอยเว้าของแป้งคัด

แปรอาจจะเป็นผลของคุณลักษณะของการแตกหรือการกระจายของอนุภาคของแป้งที่มีความไวต่อการหดตัวในระหว่างการทำแห้ง

Sheu และ Rosenberg (1998) รายงานว่า ขนาด โครงสร้าง และลักษณะปรากฏของ droplets ในระหว่างกระบวนการทำแห้ง droplets เหล่านี้เริ่มต้นจากทรงกลม และมีการสร้างอนุภาคด้วยพื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอ โดยมีลักษณะขรุขระในระหว่างการทำแห้งแบบสุญญากาศ และมีลักษณะแตกเว้าเป็นหลุม พื้นผิวด้านนอก นอกจากนี้ยังกล่าวถึง ไมโครแคปซูลจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยด้วยสารเคลือบที่เป็นโพลีแซคคาไรด์ มีผลต่อพื้นผิวและโครงสร้างของสารเคลือบที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการพ่นละออง และการทำแห้ง ทำให้พื้นผิวการไหลของของเหลว การขยายตัวของอากาศ และการระเหยของน้ำภายในอนุภาคไม่สม่ำเสมอ และเกิดการหดตัว ซึ่งอัตราการทำแห้งนั้นมีความสัมพันธ์ต่อประสิทธิภาพของความเรียบ และการหดตัวหรือรอยแตกของอนุภาค

Risch (2006) ศึกษาการทำแห้งแบบสุญญากาศชนิดต่าง ๆ ได้แก่ กรดซิตริก กรดแลคติก กรดอะซิติก กรดมาลิก เป็นต้น ที่ใช้ในเครื่องปรุงรสผงบรอนซ์ต่าง ๆ เช่น sour cream onion, cheese ซึ่งโดยปกติแล้วจะมีลักษณะของกลิ่นกรด (acid note) พบว่าการทำ microwave popcorn จะมีปัญหาคือกรดสามารถทำลายบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ดังกล่าวเพื่อป้องกันปฏิกิริยาของกรดที่มีต่อบรรจุภัณฑ์ ผู้วิจัยได้ศึกษาการทำแห้งแบบสุญญากาศโดยใช้ partial hydrogenated vegetable oil โดยการเตรียมกรดที่ต้องการผสมกับ hydrogenated oil ในลักษณะที่เป็น slurry หลังจากนั้นล้าง (rinse) ด้วยน้ำเปล่า ผ่านกระดวยกรองที่มีขนาดของรูเล็กกว่าขนาดอนุภาคที่ได้ เพื่อขจัดกรดที่ตกค้างอยู่ด้านนอก จะได้สารที่มีลักษณะเป็นกลุ่มก้อน (clumping) ทำแห้งด้วยลม (air dry) หรือใช้เทคนิคอื่นๆ เช่น Fluidized bed dryer

Loksuwan (2007) ศึกษาเอ็นแคปซูลแบบด้าแคโรทีน (β -carotene) โดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยนำสารเคลือบ ได้แก่ แป้งมันสำปะหลังดัดแปร (modified tapioca starch) แป้งมันสำปะหลัง (native tapioca starch) และมอลโตเด็คซ์ตริน (maltodextrin) พบว่าปริมาณเบต้าแคโรทีนทั้งหมด (total β -carotene) และเบต้าแคโรทีนที่พื้นผิว (surface β -carotene) ของแป้งมันสำปะหลังดัดแปรมีความสูงที่สุด ในขณะที่มอลโตเด็คซ์ตรินมีความต่ำที่สุด แป้งมันสำปะหลังดัดแปรจึงเป็นสารเคลือบที่มีประสิทธิภาพมากกว่าแป้งมันสำปะหลังและมอลโตเด็คซ์ตรินในด้านการคงอยู่ของเบต้าแคโรทีน (β -carotene retention) โดยมีสถานะทำแห้งแบบพ่นฝอย ที่อุณหภูมิเข้า 170 ± 5 องศาเซลเซียส และ อุณหภูมิออก 95 ± 5

องศาเซลเซียส ตามลำดับ ปริมาณแคโรทีนทั้งหมด (total carotene) และปริมาณแคโรทีนที่ผิว (surface carotene contents) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยสารเคลือบที่ได้จากแป้งมันสำปะหลังดัดแปร แป้งมันสำปะหลัง และมอลโตเด็คซ์ตรินมีปริมาณแคโรทีนร้อยละ 82.18, 68.35 และ 46.74 ตามลำดับ ในขณะที่แป้งมันสำปะหลังมีปริมาณแคโรทีนที่พื้นผิวสูงที่สุด สรุปว่าสารเคลือบแป้งมันสำปะหลังดัดแปรมีประสิทธิภาพของการเ็นแคปซูลสูงที่สุด ซึ่งอาจจะเป็นองค์ประกอบของแป้งดัดแปรที่ผ่านความดันไอน้ำ (steam pressure) มีอะไมโลสที่ละลายน้ำได้อิสระ (free soluble amylose) เป็นโครงสร้างเครือข่ายร่วมกับพันธะไฮโดรเจน ทำให้สามารถสร้างโครงสร้างของเจล (gel structure) มีการห่อหุ้มเบต้าแคโรทีน (β -carotene) ในโครงสร้าง นอกจากนี้อะไมโลส (amylose) มีความสามารถในการสร้างฟิล์มที่ดีซึ่งแสดงให้เห็นว่าอะไมโลสที่ละลายน้ำได้อิสระ (free soluble amylose) ของแป้งมันสำปะหลังดัดแปรอยู่ในระดับที่สูง ซึ่งอาจจะเป็นข้อดีของการเกิดพื้นผิวหรือเปลือกล้อมรอบเบต้าแคโรทีน (β -carotene) อย่างรวดเร็ว ซึ่งสามารถป้องกันการสูญเสียของสารประกอบที่ระเหยได้ (volatile compounds)

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) มาใช้ในการผลิตกรดซิตริกเ็นแคปซูลโดยนำอนุพันธ์ของแป้งได้แก่ มอลโตเด็คซ์ตรินและแป้งดัดแปรแคปซูลเป็นสารเคลือบ เพื่อนำมาประยุกต์กรดซิตริกที่ถูกเ็นแคปซูลใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องปรุงรสผง เพื่อลดปัญหาการซีดจางของสีผลิตภัณฑ์

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

1. วัตถุดิบ และสารเคมี

- 1.1 กรดซิตริก โมโนไฮเดรต (citric acid monohydrate) จากบริษัท Citric Acid Industry Co., Ltd. ประเทศไทย
- 1.2 มอลโตเดกซ์ตริน (maltodextrin) DE 10 จากบริษัท Corn Product Amardass Thailand Ltd. ประเทศไทย
- 1.3 แป้งข้าวโพดตัดแปร์ ชื่อทางการค้า “capsule” จากบริษัท National Starch & Chemical (Thailand) Ltd
- 1.4 ซิลิคอนไดออกไซด์ (silicon dioxide) “Sipernat 22S” จากบริษัท JJ-Degussa Chemical (T) Ltd.
- 1.5 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) จากบริษัท Merck ประเทศเยอรมัน
- 1.6 ฟีนอล์ฟทาลีน (phenolphthalein, $C_{27}H_{14}O_4$) จากบริษัท Asia Pacific Specialty Chemical ประเทศออสเตรเลีย
- 1.7 เมทานอล (methanol, CH_3OH) จากบริษัท Merck ประเทศเยอรมัน
- 1.8 ไธมอลบลู (thymol blue, $C_{27}H_{30}O_5S$) จากบริษัท POCH ประเทศอังกฤษ
- 1.9 น้ำกลั่น (distilled water)
- 1.10 น้ำกรอง (filter water)

2. อุปกรณ์และเครื่องมือ

- 2.1 เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray dryer) ผลิตภัณฑ์ APV รุ่น PSD 52 ประเทศเดนมาร์ก
- 2.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscopy, SEM) รุ่น Cam Scan MX-2000 ประเทศสหราชอาณาจักร
- 2.3 เครื่องวัดความเป็นกรดด่าง (pH meter) (รุ่น Meterlab, Radiometer) ประเทศโปแลนด์

2.4 เครื่องวัดค่าสี จากบริษัท Hunter Lab รุ่น Color Flex, Virginia ประเทศสหรัฐอเมริกา

2.5 เครื่องวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (hand refractometer N1, 0-30% ผลิตภัณฑ์ ATAGO) จาก ประเทศญี่ปุ่น

2.6 ตู้อบลมร้อน (hot air oven) ผลิตภัณฑ์ Binder ประเทศเยอรมัน

2.7 เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (water activity, a_w) ผลิตภัณฑ์ Thermoconstanter Novasina รุ่น Axair AG8808 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

2.8 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียดชนิด 4 ตำแหน่ง ผลิตภัณฑ์ Sartorius รุ่น BP3100S ประเทศเยอรมัน

2.9 เทอร์โมมิเตอร์ (thermometer)

2.10 บิวเรต (buret)

2.11 บีกเกอร์ (beaker)

2.12 ขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer flask)

2.13 แท่งแก้วคน (stirring rod)

2.14 หลอดหยด (dropper)

2.15 โถดูดความชื้น (desiccator)

2.16 ภาชนะใส่ตัวอย่าง (moisture can)

2.17 กระดาษกรอง (filter paper) เบอร์ 4 เส้นผ่าศูนย์กลาง 110 มิลลิเมตร ผลิตภัณฑ์

Whatman

2.18 ถุงอูมิเนียมฟอย OPP40/A17/LLDPE100 สีบรอนด์ จากบริษัท world packaging

- อัตราการซึมผ่านของไอน้ำเท่ากับ 0.0197 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน

- อัตราการซึมผ่านของออกซิเจนเท่ากับ 0.03 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อตารางเมตรต่อวัน

2.19 ถุงพลาสติก Nylon15/LLDPE135 สีน้ำเงิน จากบริษัท world packaging

- อัตราการซึมผ่านของไอน้ำเท่ากับ 1.82 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน

- อัตราการซึมผ่านของออกซิเจนเท่ากับ 36 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อตารางเมตรต่อวัน

หมายเหตุ: ค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (water vapour transmission rate) วัดที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90% และอัตราการซึมผ่านของออกซิเจน (oxygen gas transmission rate) วัดที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 0%

2.20 หม้อสแตนเลสและอุปกรณ์เครื่องครัว

2.21 เตาแก๊ส

3. วิธีการทดลอง

3.1 การผลิตกรดซัลฟิวริกที่อุณหภูมิเย็น

3.1.1 การใช้กรดซัลฟิวริกเป็นสารเคลือบ

3.1.1.1 ชั่งน้ำหนักกรดซัลฟิวริกและส่วนผสมอื่น ๆ ตามสัดส่วน ดังตารางที่ 3

3.1.1.2 นำมาละลายในน้ำกรองที่มีอุณหภูมิ 35-40 องศาเซลเซียส จนกรดซัลฟิวริกละลายน้ำ หลังจากนั้นใส่กรดซัลฟิวริกลงไป โดยใช้กรดซัลฟิวริกต่อกรดซัลฟิวริกในอัตราส่วนต่าง ๆ ดังนี้ 1: 24, 1:19, 1:14, 1:9 และ 1:4 เพื่อกำหนดค่าของแข็งที่ละลายได้ (total soluble solid, TSS) ร้อยละ 25, 20, 15, 10 และ 5 (w/w) ตามลำดับ ดังตารางที่ 3

3.1.1.3 กวนผสมให้เข้ากัน และวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ก่อนการทำแห้งแบบพ่นฝอย ได้แก่ ค่าของแข็งที่ละลายได้ (total soluble solids, TSS) ด้วย Hand refractometer วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณกรดของสารละลายแต่ละการทดลอง

3.1.1.4 กรองสารละลายด้วยผ้าบางสะอาดเพื่อป้องกันตะกอนหรือส่วนที่ไม่ละลายถูกป้อนสู่เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

3.1.1.5 ส่งสารละลายไปยังเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ใช้หัวฉีดพ่นแบบแรงดัน (pressure nozzle) อัตราการป้อน 33 มิลลิลิตร/นาที่ โดยกำหนดค่าความดัน 0.6 MPa อุณหภูมิอากาศเข้า 190 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิอากาศออก 90 องศาเซลเซียส (อ้างอิงตามวิธีของ Priscilla และคณะ, 2005)

3.1.1.6 เก็บตัวอย่างที่ได้จากการทำเย็นแบบพ่นฝอยใส่ในถุงออลูมิเนียมฟอยล์ที่ปิดสนิท เพื่อป้องกันการซึมผ่านของอากาศ เก็บตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 65 โดยชั่งน้ำหนักตัวอย่างถุงละ 30 กรัม เพื่อนำไปศึกษาคุณภาพทางด้านกายภาพและเคมีในการทดลองต่อไป

ตารางที่ 3 สัดส่วนของส่วนผสมในการทำกรดซัลฟริกที่ถูกเอ็นแคปซูลโดยใช้มอลโตเด็กซ์ตรินเป็นสารเคลือบ

การทดลอง ที่	ร้อยละของแข็ง ที่ละลายได้ (w/w)	สัดส่วนระหว่างกรดและมอลโตเด็กซ์ตริน				น้ำหนักรวม (กรัม)
		กรดซัลฟริก (กรัม)	มอลโตเด็กซ์- ตริน (กรัม)	ซิลิคอนได- ออกไซด์(กรัม)	น้ำกรอง (กรัม)	
1	5	40	160	2	3798	4000
2	10	40	360	4	3596	4000
3	15	40	560	6	3394	4000
4	20	40	760	8	3192	4000
5	25	40	960	10	2990	4000

3.1.2 การใช้แป้งข้าวโพดดัดแปรเป็นสารเคลือบ

ทำเช่นเดียวกันกับการทดลองที่ 3.1.1 โดยชั่งน้ำหนักของส่วนผสมดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สัดส่วนของส่วนผสมในการทำกรดซัลฟริกที่ถูกเอ็นแคปซูลโดยใช้แป้งข้าวโพดดัดแปรเป็นสารเคลือบ

การทดลอง ที่	ร้อยละของแข็ง ที่ละลายได้ (w/w)	สัดส่วนระหว่างกรดและแป้งข้าวโพดดัดแปร				น้ำหนักรวม (กรัม)
		กรดซัลฟริก (กรัม)	แคปซูล (กรัม)	ซิลิคอนได- ออกไซด์(กรัม)	น้ำกรอง (กรัม)	
1	5	40	160	2	3798	4000
2	10	40	360	4	3596	4000
3	15	40	560	6	3394	4000
4	20	40	760	8	3192	4000
5	25	40	960	10	2990	4000

3.2 การศึกษาคุณลักษณะด้านกายภาพและคุณภาพด้านเคมี

3.2.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของอนุภาคกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลหยาบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM)

นำตัวอย่างของวัตถุดิบที่ใช้เป็นสารเคลือบและสารแกน ได้แก่ มอลโตเด็คซ์ทริน แป้งข้าวโพดคั่วแปรรูป กรดซิตริก และกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูล ศึกษารูปร่างภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน SEM โดยนำตัวอย่างประมาณ 10 มิลลิกรัม วางบน stubs ที่ติดด้วย two-sided adhesive tape นำตัวอย่างเข้าเครื่องสำหรับเคลือบทองคำ และวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน SEM

3.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณกรด (total acid) และค่าความเป็นกรด-ด่างของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลหยาบ

3.2.2.1 วิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด (total acid) โดยชั่งตัวอย่างกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลน้ำหนัก 5 กรัม ทำการเจือจางด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร

3.2.2.2 คูดตัวอย่างสารละลายกรดปริมาตร 10 มิลลิลิตร หยดสารละลายฟีนอล์ฟทาไลน์ 2-3 หยด เขย่าให้เข้ากัน

3.2.2.3 ไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร จนถึงจุดยุติเมื่อสารละลายเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพู คำนวณเป็นจำนวนกรัมของกรดซิตริกต่อปริมาตร 100 มิลลิลิตร (AOAC, 2000)

3.2.2.4 เตรียมสารละลาย blank ทำเช่นเดียวกับข้อ 3.2.2.1-3.2.2.3 โดยเปลี่ยนจากตัวอย่างกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลหยาบเป็นสารที่ใช้เคลือบได้แก่ มอลโตเด็คซ์ทรินหรือแป้งข้าวโพดคั่วแปรรูป

3.2.3 การหาประสิทธิภาพของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลหยาบ (efficiency of encapsulated citric acid, %EE) คัดแปลงจาก Carmen และคณะ (2009)

3.2.3.1 นำกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลหยาบจำนวน 5 กรัม ละลายในเมทานอล ปรับปริมาตรจนครบ 100 มิลลิลิตร

3.2.3.2 เขย่าด้วยเครื่อง Vortex นาน 1 นาที แล้วนำไปกรองผ่านกระดาษกรอง

3.2.3.3 คัดสารละลายส่วนใสที่กรองผ่านกระดาษกรองใส่ในเมทานอล ปริมาตร 10 มิลลิลิตร หยดสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน 2-3 หยด เขย่าให้เข้ากัน

3.2.3.4 ไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร จนถึงจุดยุติโดยสารละลายเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพู คำนวณเป็นจำนวนกรดซิตริกต่อปริมาตร 100 มิลลิลิตร จะได้ปริมาณกรดอิสระ (free acid) ซึ่งเป็นกรดที่ไม่ถูกเอ็นแคปซูลแล้ว

3.2.3.5 นำมาคำนวณหาประสิทธิภาพของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลโดยนำ ปริมาณกรดอิสระ (free acid) ลบออกจากปริมาณกรดทั้งหมด (total acid) ตามข้อ 3.2.2 และ คำนวณปริมาณกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูล หรือประสิทธิภาพของการทำกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูล ตามสมการที่ 6

3.2.2.4 เตรียมสารละลาย blank ทำเช่นเดียวกับข้อ 3.2.3.1-3.2.2.5 โดยเปลี่ยนจาก ตัวอย่างกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลเป็นสารที่ใช้เคลือบได้แก่มอลโตเด็คซ์ทรินหรือแป้งข้าวโพด คัดแปร

$$\% \text{Efficiency of Encapsulated Citric acid (\%EE)} = \left(\frac{\text{Total acid} - \text{Free acid}}{\text{Total acid}} \right) \times 100 \dots\dots \text{สมการที่ 6}$$

3.2.4 การชักตัวอย่างของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลในแต่ละการทดลอง เพื่อทำการ วิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพและเคมี ทุกเดือนเป็นระยะเวลา 3 เดือน โดยวิเคราะห์คุณภาพ ดังต่อไปนี้

3.2.4.1 ปริมาณความชื้น (moister content) ด้วยตู้อบลมร้อน (hot air oven)

3.2.4.2 ปริมาณน้ำอิสระ (water activity) โดยเครื่องวัด water activity

3.2.4.3 ปริมาณกรดทั้งหมด (total acid) ในรูปของกรดซิตริกด้วยการไตเตรต

3.2.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และความแตกต่างของตัวอย่างกรด ซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลในแต่ละการทดลอง ที่อายุการเก็บต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี Duncan New's Multiple Range โดยใช้ Soft ware SPSS (version 11.0; SPSS Inc., Chicago, IL, USA)

3.3 การศึกษาประสิทธิภาพของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลที่มีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงระหว่างการเก็บรักษา

3.3.1 การศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผง โดยเตรียมผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงคัมย่า ซึ่งมีส่วนประกอบพริกผงปาปริกาและกรดซิตริก (ตามตารางที่ 1 และ 2 ภาคผนวก ข) ซึ่งเป็นสูตรมีอายุเก็บรักษาค่อนข้างสั้น และพบปัญหาด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในการทดลอง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยแบ่งตัวอย่างผลิตภัณฑ์ออกเป็น 2 ชุดสำหรับเติมกรดซิตริกเข้าไป ดังนี้

ชุด A: เป็นชุดควบคุมที่ใช้กรดซิตริกโมโนไฮเดรต

ชุด B: เป็นชุดทดลองที่ใช้กรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลจากการทดลองที่ 3.2.3

3.3.2 นำตัวอย่างเก็บในถุงพลาสติกไนลอน ถุงละ 50 กรัม ปิดปากถุงด้วยความร้อนเพื่อป้องกันแสงและก๊าซ เก็บตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 45 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 5 เดือน (0, 1, 2, 3, 4 และ 5 เดือน)

3.3.3 วิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์เริ่มต้น และสุ่มตัวอย่างตรวจสอบคุณภาพค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี Hunter Lab ทุก ๆ 1 เดือน

3.3.4 ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และความแตกต่างของเครื่องปรุงรสผงชุดควบคุมและชุดทดลอง ที่อายุการเก็บต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี Duncan New's Multiple Range จาก Soft ware SPSS (version 11.0; SPSS Inc., Chicago, IL, USA)

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การผลิตเอ็นแคปซูลของกรดซิตริก

การผลิตเอ็นแคปซูลของกรดซิตริก โดยใช้วิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งมีสถานะในการทดลองที่มีค่าความดัน 0.6 MPa อุณหภูมิอากาศเข้า 190 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิอากาศออก 90 องศาเซลเซียส (อ้างอิงจากงานวิจัยของ Priscilla และคณะ, 2005) โดยใช้สารเคลือบ 2 ชนิดในการทดลอง คือ มอลโตเด็คซ์ตรินและแป้งข้าวโพดดัดแปร มีผลการทดลองดังนี้

4.1.1 การใช้มอลโตเด็คซ์ตรินเป็นสารเคลือบ

การเตรียมสารละลายกรดซิตริกผสมกับสารเคลือบจากมอลโตเด็คซ์ตริน โดยมีของแข็งที่ละลายได้ 5 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 5, 10, 15, 20 และ 25 ตามลำดับ จากการคำนวณปริมาณกรดซิตริกเท่ากันทุกการทดลอง ส่วนปริมาณสารเคลือบมีการปรับตามระดับของแข็ง ซึ่งทำการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมีของสารละลาย ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณกรดทั้งหมด และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 คุณภาพทางด้านเคมีของสารละลายกรดซิตริกโดยใช้มอลโตเด็คซ์ตรินเป็นสารเคลือบก่อนทำเอ็นแคปซูลโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอย

การทดลอง ที่	ร้อยละของแข็ง ที่ละลายได้ ¹ (w/w)	วิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมี		
		pH	ปริมาณกรด ² (ร้อยละ)	ปริมาณของแข็งทั้งหมด ที่ละลายได้ ³ (ร้อยละ)
1	5	2.31 ± 0.01 ^{ab}	1.12 ± 0.03 ^b	5.40 ± 0.04 ^c
2	10	2.32 ± 0.05 ^a	1.13 ± 0.02 ^b	10.40 ± 0.03 ^d
3	15	2.27 ± 0.02 ^b	1.14 ± 0.02 ^{ab}	15.20 ± 0.07 ^c
4	20	2.31 ± 0.01 ^{ab}	1.17 ± 0.02 ^{ab}	21.80 ± 0.02 ^b
5	25	2.30 ± 0.03 ^{ab}	1.20 ± 0.05 ^a	25.80 ± 0.04 ^a

หมายเหตุ ¹ ร้อยละของแข็งที่ละลายได้ จากการคำนวณปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในสารละลาย

² ปริมาณกรด จากการไตเตรตปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดซิตริก

³ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ โดยการวัดค่าจาก hand refractometer

^{abcde} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวแนวนอน ที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 5 พบว่าเมื่อปริมาณร้อยละของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้น ค่า pH และปริมาณกรด ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของแข็งทั้งหมดที่เติมเข้าไปก่อนทำแห้งแบบพ่นฝอย

4.1.2 การใช้แป้งข้าวโพดคัดแปรเป็นสารเคลือบ

การเตรียมสารละลายผสมระหว่างกรดซิตริกและแป้งข้าวโพดคัดแปร ก่อนนำไปเอ็นแคปซูลด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 5 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 5, 10, 15, 20 และ 25 ตามลำดับ ซึ่งทำการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมีของสารละลาย ได้แก่ ค่า pH, ปริมาณกรดทั้งหมด และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 คุณภาพทางด้านเคมีของสารละลายกรดซิตริกโดยใช้แป้งข้าวโพดคัดแปรเป็นสารเคลือบ ก่อนทำเอ็นแคปซูลโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอย

การทดลอง ที่	ร้อยละของแข็ง ที่ละลายได้ ¹ (w/w)	วิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมี		
		pH	ปริมาณกรด ² (ร้อยละ)	ปริมาณของแข็งที่ละลาย ได้ ³ (ร้อยละ)
1	5	2.23 ± 0.04 ^a	1.16 ± 0.03 ^b	5.10 ± 0.11 ^c
2	10	2.25 ± 0.03 ^a	1.17 ± 0.02 ^{ab}	9.70 ± 0.02 ^d
3	15	2.28 ± 0.03 ^a	1.18 ± 0.02 ^{ab}	14.20 ± 0.02 ^c
4	20	2.24 ± 0.02 ^a	1.19 ± 0.02 ^{ab}	19.50 ± 0.05 ^b
5	25	2.27 ± 0.03 ^a	1.21 ± 0.04 ^a	24.50 ± 0.05 ^a

หมายเหตุ ¹ ร้อยละของแข็งที่ละลายได้ จากการคำนวณปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในสารละลาย

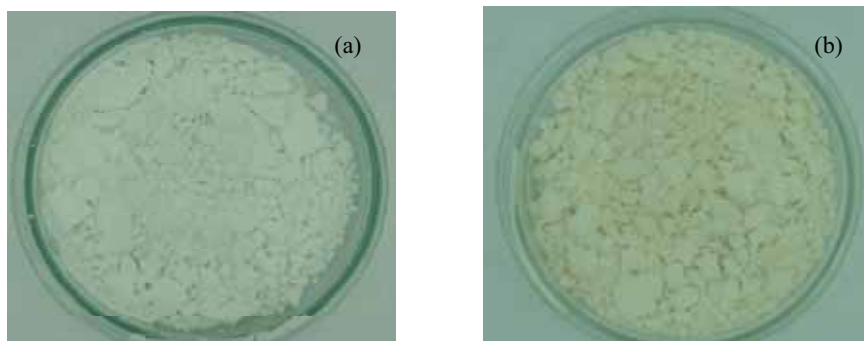
² ปริมาณกรด จากการไตเตรตปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดซิตริก

³ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ โดยการวัดค่าจาก hand refractometer

^{abcde} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวแนวนอน ที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

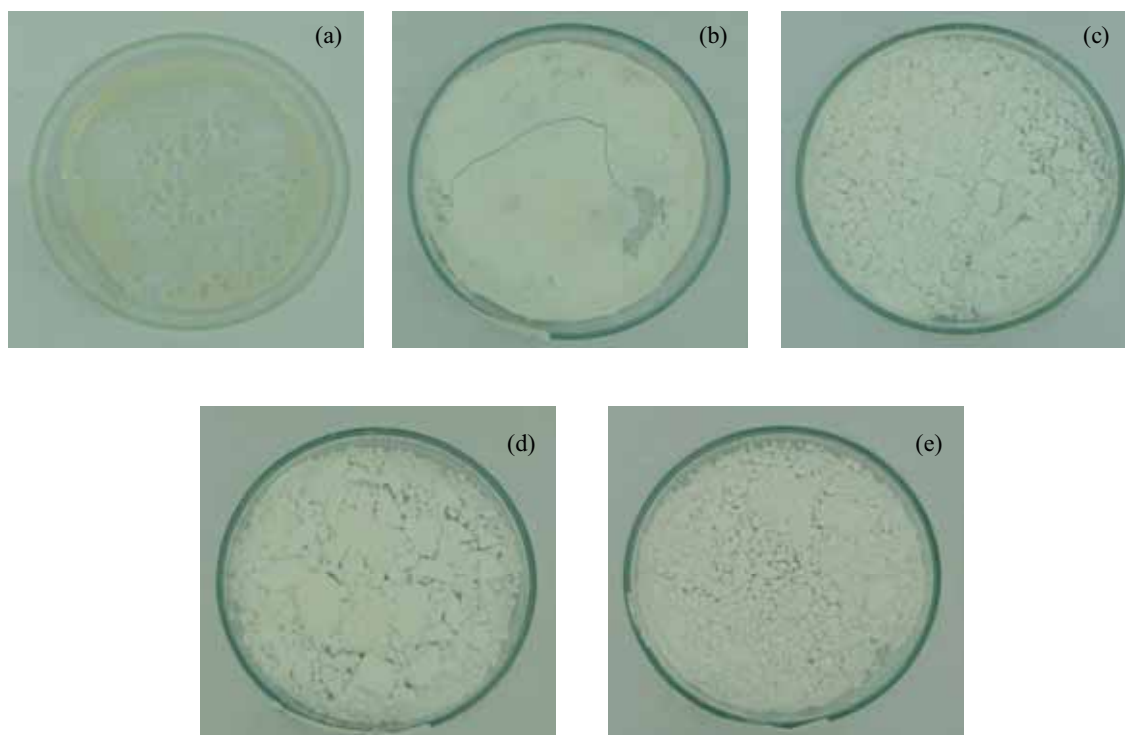
จากตารางที่ 6 พบว่าเมื่อปริมาณร้อยละของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้น ค่า pH และปริมาณกรดทั้งหมด ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของแข็งทั้งหมดที่เติมเข้าไปก่อนทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยมีคุณภาพทางด้านเคมีเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง กล่าวคือเป็นการทดสอบความถูกต้องของการเตรียมสารที่ต้องการทำเอ็นแคปซูลด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย

จากภาพที่ 11 (a-b) พบว่าสีของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลโดยใช้มอลโตเด็คซ์ตรินมีลักษณะเป็นผง มีสีขาว ในขณะที่กรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลที่ใช้แป้งข้าวโพดคั่วแปรรูปจะมีลักษณะเป็นผงสีเหลืองอ่อน ซึ่งเป็นสีของสารเคลือบที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 11 ลักษณะทางกายภาพของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลหลังจากผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นเวลา 1 เดือน สภาวะการเก็บอุณหภูมิ 25-28 องศาเซลเซียส (a) กรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลโดยใช้มอลโตเด็คซ์ตรินเป็นสารเคลือบ และ (b) กรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลโดยใช้แป้งข้าวโพดคั่วแปรรูปเป็นสารเคลือบ

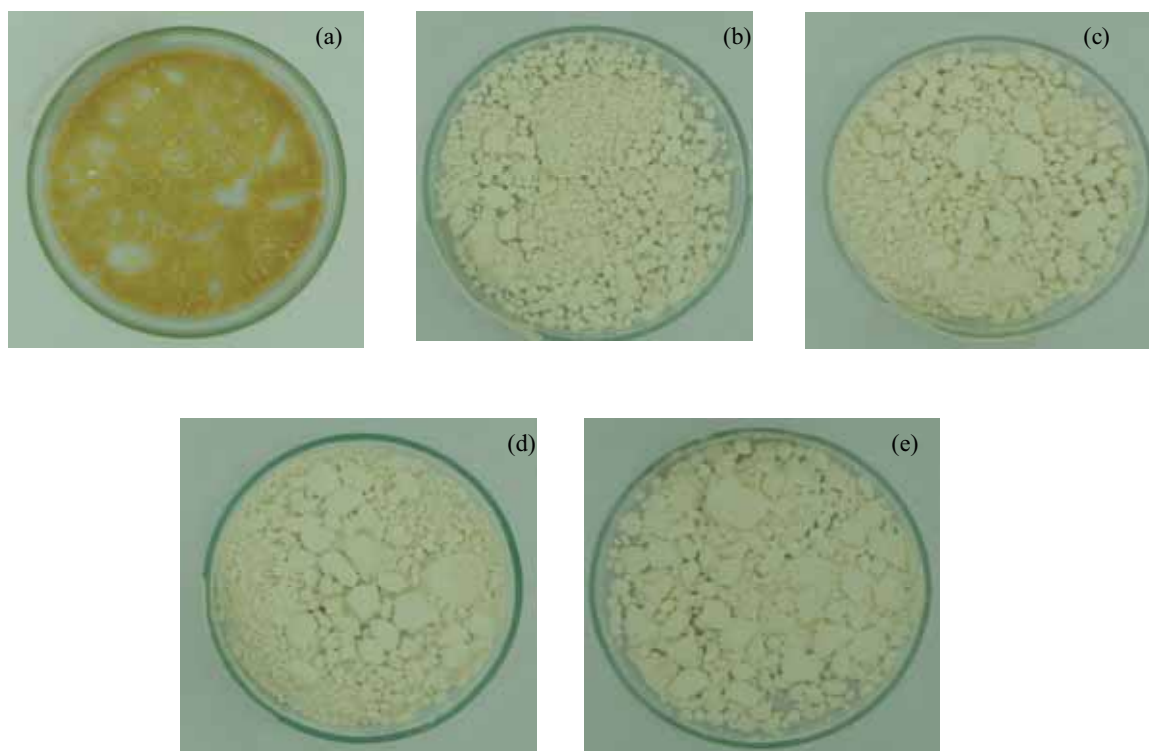
จากภาพที่ 12 (a-e) กรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลโดยใช้มอลโตเด็คซ์ตรินเป็นสารเคลือบ โดยมีปริมาณของแข็งร้อยละ 5, 10, 15, 20 และ 25 ตามลำดับ จากการเก็บตัวอย่างน้ำหนัก 30 กรัม (น้ำหนักเปียก) ไว้ในจานเพาะเชื้อที่ปิดฝา เป็นเวลา 3 เดือน สภาวะอุณหภูมิห้อง 25-28 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 40-65 พบว่าที่ระดับของแข็งร้อยละ 5 ตัวอย่างมีลักษณะจับตัวเหนียวติดกัน ดังภาพที่ 12(a) ที่ระดับของแข็งร้อยละ 10 มีลักษณะจับตัวแข็งดังภาพ 12(b) ส่วนที่ระดับของแข็งร้อยละ 15-25 ตัวอย่างยังคงมีลักษณะเป็นผงสีขาว ดังภาพที่ 12 (c-e) และการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลที่ระยะเวลาต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 7



ภาพที่ 12 ลักษณะทางกายภาพของกรดซिटริกที่ถูกเอ็นแคปซูลโดยใช้มอลโตเด็คซ์ทรินเป็นสารเคลือบ โดยเก็บตัวอย่าง 30 กรัม (น้ำหนักเปียก) ไว้ในจานเพาะเชื้อที่ปิดฝา เป็นเวลา 3 เดือน (a) 5% TSS (b) 10% TSS (c) 15% TSS (d) 20% TSS และ (e) 25% TSS

จากภาพที่ 13 (a-e) กรดซิทริกที่ถูกเอ็นแคปซูลโดยใช้แป้งข้าวโพดตัดแปรเป็นสารเคลือบ โดยมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ร้อยละ 5, 10, 15, 20 และ 25 ตามลำดับ จากการเก็บตัวอย่างน้ำหนัก 30 กรัม (น้ำหนักเปียก) ไว้ในจานเพาะเชื้อที่ปิดฝา เป็นเวลา 3 เดือน สภาวะอุณหภูมิห้อง 25-28 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 40-65 พบว่ามีผลเช่นเดียวกันกับกรดซิทริกที่ถูกเอ็นแคปซูลโดยใช้มอลโตเด็คซ์ทรินเป็นสารเคลือบ ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากปริมาณน้ำในสารละลายก่อนการทำแห้งแบบพ่นฝอยถูกแทนที่ด้วยปริมาณของแข็ง โดยกรดซิทริกที่ถูกเอ็นแคปซูลที่ใช้ของแข็งที่ละลายได้ในปริมาณสูง จะมีปริมาณน้ำในระบบน้อย ดังนั้นโอกาสที่สารจะจับกันเป็นก้อนจะน้อยกว่าสารเอ็นแคปซูลของกรดซิทริกที่มีปริมาณของแข็งต่ำกว่า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Siew และคณะ (2007) ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพเคมีของแอมโพลฟจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้มอลโตเด็คซ์ทรินเป็นสารเคลือบ ซึ่งกล่าวว่าถ้าใช้ปริมาณ

ของแข็งที่ละลายได้ ในปริมาณเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอกติวิตีลดลงด้วย



ภาพที่ 13 ลักษณะทางกายภาพของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลโดยใช้แป้งข้าวโพดตัดแปร เป็นสารเคลือบ โดยเก็บตัวอย่าง 30 กรัม (น้ำหนักเปียก) ไว้ในจานเพาะเชื้อที่ปิดฝา เป็นเวลา 3 เดือน (a) 5% TSS (b) 10% TSS (c) 15% TSS (d) 20% TSS และ (e) 25% TSS

จากตารางที่ 7 พบว่ากรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลมีการเปลี่ยนแปลงด้านกายภาพจากลักษณะเป็นผงไปเป็นก้อนจับตัวเหนียวติดกัน ทั้งนี้มีความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอกติวิตี สภาวะการทำแห้งและสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษา โดยพบว่าที่ระดับของแข็งร้อยละ 5-10 ปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอกติวิตีมีค่า 1.7-3.26 และ 0.082-0.152 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำ ดังนั้น ผลผลิตจึงควรควบคุมความชื้นกลับคืนค่อนข้างเร็ว

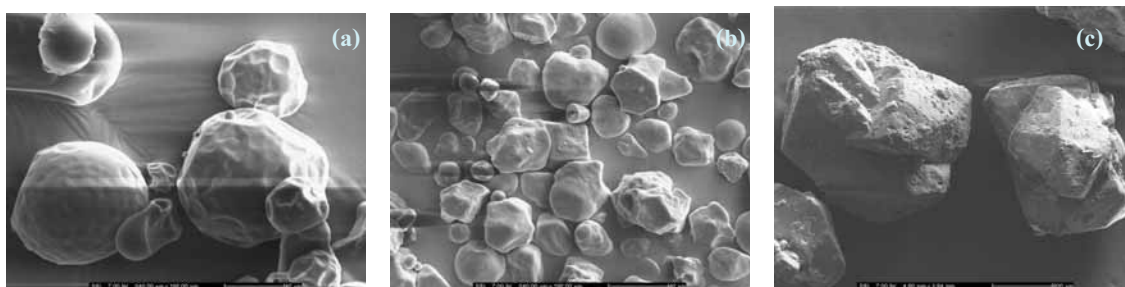
ตารางที่ 7 ผลการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพทางด้านกายภาพของกรดซัลฟริกที่ถูกละลายในน้ำ (น้ำหนักเปียก) ไว้ในจานเพาะเชื้อที่ปิดฝาเป็นเวลา 3 เดือน

อายุการเก็บ(เดือน)	กรดซัลฟริกที่ถูกละลายในน้ำที่ใส่น้ำตาลเคี้ยว					กรดซัลฟริกที่ถูกละลายในน้ำที่ใส่น้ำตาลเคี้ยว				
	5% TSS	10% TSS	15% TSS	20% TSS	25% TSS	5% TSS	10% TSS	15% TSS	20% TSS	25% TSS
เริ่มต้น	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
1	0	+	+++	+++	+++	0	++	+++	+++	+++
2	0	+	++	++	++	0	+	++	++	++
3	0	0	++	++	++	0	+	++	++	++

หมายเหตุ : +++ หมายถึง free flowing + หมายถึง lumping
 ++ หมายถึง less free flow 0 หมายถึง sticky

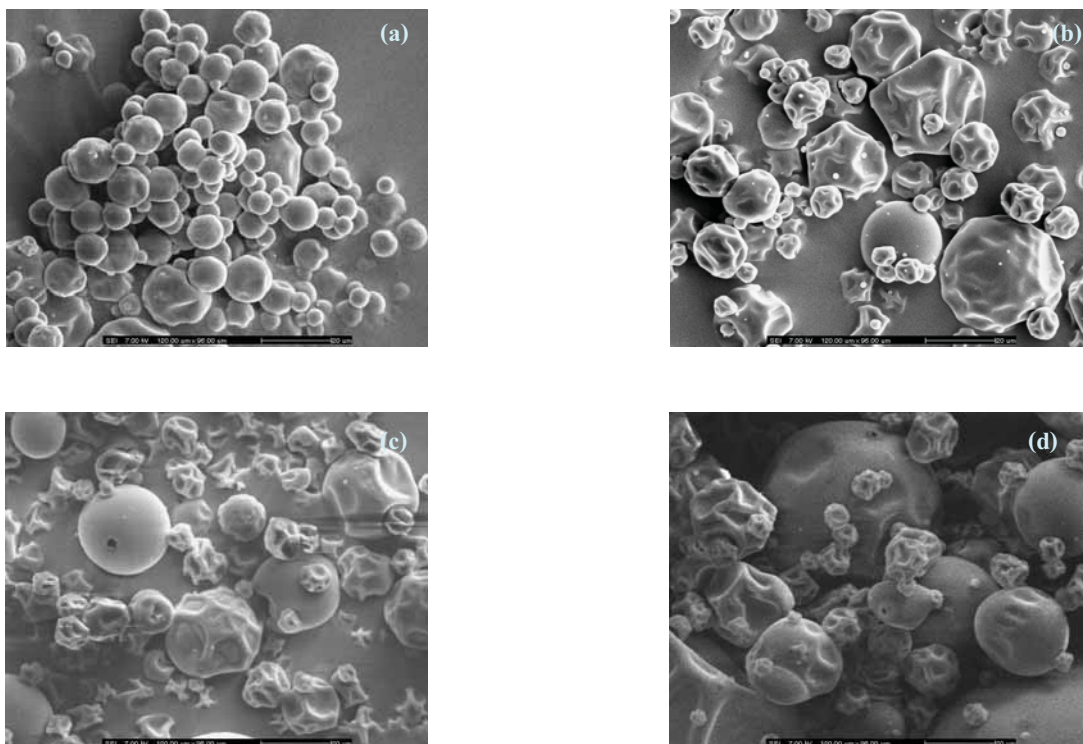
4.2 การศึกษาคุณลักษณะด้านกายภาพและคุณภาพด้านเคมี

4.2.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของอนุภาคกรดซัลฟิวริกที่ถูกเอ็นแคปซูลภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM)



ภาพที่ 14 ลักษณะทางกายภาพของสารเคลือบและสารแกนที่ใช้ในการทำเอ็นแคปซูล ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (a) มอลโตเด็คซ์ตริน กำลังขยาย 500x (b) แป้งข้าวโพดตัดแปร กำลังขยาย 500x และ (c) กรดซัลฟิวริก กำลังขยาย 25x

จากภาพที่ 14 แสดงลักษณะทางกายภาพของสารเคลือบ (wall materials) และสารแกน (core material) ที่ใช้ในการทำเอ็นแคปซูลภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่ามอลโตเด็คซ์ตรินมีรูปร่างเป็นทรงกลม (spherical shape) มีผิวภายนอกเรียบ (smooth) ที่กำลังขยาย 500x และบางส่วนหดตัว (shrinkage) ดังภาพที่ 14(a) สำหรับแป้งข้าวโพดตัดแปรมีลักษณะพื้นผิวเรียบ และมีหลายรูปทรง (irregular shape) ที่กำลังขยาย 500x ดังภาพที่ 14(b) และกรดซัลฟิวริกมีรูปทรงเหลี่ยม และมีลักษณะเป็นผลึก (crystallization) ที่กำลังขยาย 25x ดังภาพที่ 14(c) นอกจากนี้เมื่อเทียบขนาดอนุภาคของแป้งข้าวโพดตัดแปรมีขนาดเล็กกว่ามอลโตเด็คซ์ตริน



ภาพที่ 15 ลักษณะสัณฐาน (morphology) ของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลูเลทภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (a) ร้อยละ 5 ของของแข็งโดยใช้มอลโตเด็คซ์ทรินเป็นสารเคลือบ (b) ร้อยละ 15 ของของแข็งโดยใช้มอลโตเด็คซ์ทรินเป็นสารเคลือบ (c) ร้อยละ 5 ของของแข็งโดยใช้แป้งข้าวโพดตัดแปรเป็นสารเคลือบ และ (d) ร้อยละ 15 ของของแข็งโดยใช้แป้งข้าวโพดตัดแปรเป็นสารเคลือบ ภาพ (a)-(d) กำลังขยาย 1000x

จากภาพที่ 15 (a)-(b) แสดงรูปทรงของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลูเลทโดยใช้มอลโตเด็คซ์ทรินเป็นสารเคลือบ พบว่าที่ร้อยละ 5 ของของแข็ง มีลักษณะพื้นผิวเรียบ และลักษณะกลม (spherical shape) ในขณะที่ระดับของแข็งร้อยละ 15 มีลักษณะพื้นผิวเรียบและหดตัวเหี่ยวย่น (smooth and shrinkage surface) ภาพที่ 15 (c)-(d) แสดงถึงรูปทรงของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลูเลทที่ใช้แป้งข้าวโพดตัดแปรเป็นสารเคลือบ พบว่าที่ระดับของแข็งร้อยละ 5 และ 15 มีลักษณะเป็นทรงกลม พื้นผิวมีลักษณะเรียบและยุบหดตัว นอกจากนี้ ยังพบรูพรุน (porosity) บนพื้นผิวอีกด้วย เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับขนาดอนุภาค พบว่ากรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลูเลทโดยใช้มอลโตเด็คซ์ทรินเป็นสารเคลือบ ที่ระดับของแข็งร้อยละ 15 มีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย 10-20 ไมครอน ในขณะที่ระดับของแข็งร้อยละ 5 มีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย 5-10 ไมครอน ซึ่งพบว่ามีขนาดเล็กกว่า ที่ระดับของแข็ง

ร้อยละ 15 และมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับเอ็นแคปซูลของกรดซิตริกโดยใช้แป้งข้าวโพดคั่วแปรรูปเป็นสารเคลือบ โดยพบว่าซึ่งขนาดของอนุภาคและลักษณะรูปทรงนั้นมีผลต่อประสิทธิภาพของการกักเก็บสารแก๊สภายใน Sheu และ Rosenberg (1998) กล่าวถึงเอ็นแคปซูลจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยด้วยสารเคลือบที่เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ มีพื้นผิวและโครงสร้างของสารเคลือบ ที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการพ่นละออง และการทำแห้งตั้งแต่ขั้นตอนการให้ความร้อนที่ไม่สม่ำเสมอทำให้ พื้นผิวการไหลของของเหลว การขยายตัวของอากาศ และการระเหยของน้ำภายในอนุภาคไม่สม่ำเสมอและเกิดการหดตัว ซึ่งอัตราการทำแห้งนั้นมีความสัมพันธ์ต่อประสิทธิภาพของความเรียบ และการหดตัวหรือรอยแตกของอนุภาค นอกจากนี้ Rosenberg และคณะ (1985) ได้กล่าวถึงพื้นผิวด้านนอกของเอ็นแคปซูลที่ทำแห้งแบบพ่นฝอยมีลักษณะเป็นรอยแตก รอยแตกนั้นเกิดจากการหดตัวของอนุภาคระหว่างการทำแห้งและการทำให้เย็น

ความหลากหลายของโครงสร้าง เช่น ขนาด โครงสร้าง และลักษณะปรากฏของ droplets ในระหว่างกระบวนการทำแห้ง ในหลาย ๆ กรณี droplets เหล่านี้เริ่มต้นจากทรงกลม และมีการสร้างอนุภาคด้วยพื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอโดยมีลักษณะขรุขระการแตกแหว่ เป็นหลุมพื้นผิวด้านนอก ในระหว่างการสร้างเอ็นแคปซูล (Sheu และ Rosenberg, 1998) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Rosenberg และคณะ (1990) ที่พบว่าโครงสร้างรูพรุนมีผลต่อระดับความเสถียรของเอ็นแคปซูล การยังคงอยู่หรือการปกป้องอนุภาคภายในเอ็นแคปซูล ดังนั้นเอ็นแคปซูลที่ใช้มอลโตเด็คซ์-ทรินเป็นสารเคลือบจึงน่าจะมีประสิทธิภาพในการห่อหุ้มที่ดีกว่าเอ็นแคปซูลที่ใช้ของแป้งข้าวโพดคั่วแปรรูปเป็นสารเคลือบ

4.2.2 การศึกษาคุณภาพด้านเคมีและวัดประสิทธิภาพของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูล

4.2.2.1 ความชื้น

วิเคราะห์ปริมาณความชื้นโดยน้ำหนักแห้ง (dry basis) ของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลจากการใช้มอลโตเด็คซ์-ทรินและแป้งข้าวโพดคั่วแปรรูปเป็นสารเคลือบโดยมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 5 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 5, 10, 15, 20 และ 25 ตามลำดับ บรรจุในถุงออลูมิเนียมฟอยล์ที่ปิดสนิท และเก็บในห้องควบคุมอุณหภูมิ 26 ± 2 องศาเซลเซียส โดยมีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 เป็นระยะเวลา 3 เดือน แสดงตารางที่ 8 และ 9 ตามลำดับ

ตารางที่ 8 ปริมาณความชื้นของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลโดยใช้มอลโตเด็คซ์ทรินเป็นสารเคลือบในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 26±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65

ลำดับ ที่	ร้อยละของแข็ง ที่ละลายได้ (w/w)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)			
		0 เดือน	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน
1	5	3.00±0.08 ^{a NS}	2.90±0.07 ^{a NS}	2.23±0.05 ^{a NS}	2.17±0.10 ^{a NS}
2	10	1.90±0.12 ^{b NS}	1.80±0.24 ^{b NS}	2.23±0.25 ^{b NS}	1.70±0.13 ^{b NS}
3	15	1.76±0.13 ^{c NS}	1.66±0.23 ^{c NS}	1.61±0.42 ^{c NS}	1.62±0.42 ^{c NS}
4	20	1.64±0.10 ^{c NS}	1.60±0.15 ^{c NS}	1.75±0.05 ^{c NS}	1.50±0.05 ^{c NS}
5	25	1.24±0.17 ^{c NS}	1.54±0.10 ^{c NS}	1.66±0.20 ^{c NS}	1.36±0.16 ^{c NS}

หมายเหตุ^{abc} ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ของข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบในแนวนอน ที่ระดับร้อยละของแข็งที่ละลายได้ต่างกัน

^{NS} ตัวอักษรแสดงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ของข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบในแนวนอน ที่ระยะเวลาในการเก็บรักษาต่างกัน

จากตารางที่ 8 พบว่าปริมาณความชื้นของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูล จากการใช้มอลโตเด็คซ์ทรินเป็นสารเคลือบในการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ระดับของของแข็งร้อยละ 5, 10, 15, 20 และ 25 ตามลำดับ ซึ่งระดับของแข็งมีความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้น กล่าวคือเมื่อปริมาณของแข็งทั้งหมดในเอ็นแคปซูลเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าความชื้นลดลงตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบในแต่ละระดับของแข็งทั้งหมด พบว่า ปริมาณความชื้นของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูล ที่ระดับของแข็งร้อยละ 5, 10 และ 15-25 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยพบว่าที่ระดับของแข็งร้อยละ 15, 20 และ 25 ปริมาณความชื้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) อย่างไรก็ตามเมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้นจากเริ่มต้นถึงระยะเวลา 3 เดือน ปริมาณความชื้นของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กล่าวคือ เมื่อระยะเวลาการเก็บไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูล

ตารางที่ 9 ปริมาณความชื้นของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลโดยใช้แป้งข้าวโพดคั่วแปรรูป เป็นสารเคลือบในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 26 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65

ลำดับ ที่	ร้อยละของแข็ง ที่ละลายได้ (w/w)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)			
		0 เดือน	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน
1	5	3.22 ± 0.17^a NS	3.14 ± 0.15^a NS	3.09 ± 0.02^a NS	3.26 ± 0.21^a NS
2	10	2.68 ± 0.20^b NS	2.87 ± 0.65^b NS	2.67 ± 0.24^b NS	2.79 ± 0.02^b NS
3	15	1.63 ± 0.24^c NS	1.86 ± 0.23^c NS	2.20 ± 0.13^c NS	2.47 ± 0.05^c NS
4	20	1.58 ± 0.11^d NS	1.68 ± 0.08^d NS	1.63 ± 0.24^d NS	1.65 ± 0.05^d NS
5	25	1.21 ± 0.20^d NS	1.54 ± 0.13^d NS	1.81 ± 0.30^d NS	1.20 ± 0.26^d NS

หมายเหตุ ^{a b c d} ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ของข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบในแนวนอน ที่ระดับร้อยละของแข็งที่ละลายได้ต่างกัน

^{NS} ตัวอักษรแสดงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ของข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบในแนวนอน ที่ระยะเวลาในการเก็บรักษาต่างกัน

จากตารางที่ 9 พบว่าปริมาณความชื้นของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลจากการใช้แป้งข้าวโพดคั่วแปรรูป เป็นสารเคลือบในการทำแห้งแบบพ่นฝอย ที่ระดับของแข็งร้อยละ 5, 10, 15, 20 และ 25 ตามลำดับ ซึ่งระดับของแข็งมีความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้น กล่าวคือเมื่อปริมาณของแข็งทั้งหมดในกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าความชื้นลดลงตามลำดับและเมื่อเปรียบเทียบในแต่ละระดับของแข็งทั้งหมดพบว่า ที่ระดับของแข็งร้อยละ 20 และ 25 ปริมาณความชื้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในขณะที่ระดับของแข็งร้อยละ 5, 10 และ 15 ปริมาณความชื้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และพบว่าระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น ปริมาณความชื้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กล่าวคือระยะเวลาการเก็บไม่มีผลต่อปริมาณความชื้น ซึ่งจากผลการทดลองตามตารางที่ 8-9 สอดคล้องรายงานการวิจัยของ Loksuan (2007) ซึ่งพบว่าปริมาณความชื้นของเอ็นแคปซูลที่ใช้มอลโตเด็กซ์ทรินมีค่า 2.11 ซึ่งมีต่ำสุด เมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ชชนิดอื่นๆ เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของสตาร์ชที่มีลักษณะเป็นแกรนูลและแข็งแรงทำให้มีความสามารถในการห่อหุ้มสารแกนไว้ได้ ทั้งนี้ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ใช้ในการทำแห้งและอัตราการไหลของลมร้อน ตามที่ Renata และคณะ (2008) พบว่าในการทำเอ็นแคปซูลของผงอะเซีย (acia

powder) โดยใช้มอลโตเด็คซ์ตรินเป็นสารเคลือบ มีสถานะควบคุมอุณหภูมิของอากาศเข้า 170-200 องศาเซลเซียส ซึ่งมีผลต่อแรงขับเคลื่อน (driving force) ในการระเหยน้ำออกจากระบบ เมื่ออุณหภูมิของระบบการทำแห้งสูงทำให้ปริมาณความชื้นต่ำ ซึ่งสัมพันธ์กับงานทดลองนี้ ที่ควบคุมสถานะของอุณหภูมิเข้าที่ 190 องศาเซลเซียส อุณหภูมิขาออกที่ 90 องศาเซลเซียส ทำให้ได้กรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลที่มีปริมาณความชื้นค่อนข้างต่ำ คือ 1.20-3.26 เปอร์เซ็นต์

4.2.2.2 8 ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (water activity, a_w)

วิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอกติวิตีของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลจากการใช้มอลโตเด็คซ์ตรินและแป้งข้าวโพดคั่วแปรรูปเป็นสารเคลือบ บรรจุในถุงออลูมิเนียมฟอยล์ที่ปิดสนิท และเก็บในห้องควบคุมอุณหภูมิ 26 ± 2 องศาเซลเซียส โดยมีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 เป็นระยะเวลา 3 เดือน แสดงตารางที่ 10 และ 11 ตามลำดับ

ตารางที่ 10 ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w) ของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลโดยใช้มอลโตเด็คซ์ตรินเป็นสารเคลือบในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 26 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65

ลำดับ ที่	ร้อยละของแข็งที่ ละลายได้ (w/w)	ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w)			
		0 เดือน	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน
1	5	0.112 $\pm$ 0.006 ^{a NS}	0.112 $\pm$ 0.006 ^{a NS}	0.110 $\pm$ 0.004 ^{a NS}	0.092 $\pm$ 0.003 ^{a NS}
2	10	0.101 $\pm$ 0.004 ^{b NS}	0.098 $\pm$ 0.001 ^{b NS}	0.094 $\pm$ 0.004 ^{b NS}	0.082 $\pm$ 0.001 ^{b NS}
3	15	0.087 $\pm$ 0.001 ^{c NS}	0.086 $\pm$ 0.002 ^{c NS}	0.083 $\pm$ 0.004 ^{c NS}	0.082 $\pm$ 0.002 ^{c NS}
4	20	0.075 $\pm$ 0.002 ^{d NS}	0.078 $\pm$ 0.001 ^{d NS}	0.077 $\pm$ 0.001 ^{d NS}	0.075 $\pm$ 0.002 ^{d NS}
5	25	0.072 $\pm$ 0.001 ^{d NS}	0.075 $\pm$ 0.001 ^{d NS}	0.076 $\pm$ 0.001 ^{d NS}	0.074 $\pm$ 0.002 ^{d NS}

หมายเหตุ ^{a b c d} ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ของข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบในแนวนอน ที่ระดับร้อยละของแข็งที่ละลายได้ต่างกัน

^{NS} ตัวอักษรแสดงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ของข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบในแนวนอน ที่ระยะเวลาในการเก็บรักษาต่างกัน

จากตารางที่ 10 ผลการทดลองพบว่าค่าวอเตอร์แอกติวิตี (water activity, a_w) ของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลจากการใช้มอลโตเด็คซ์ตรินเป็นสารเคลือบ ที่ระดับของแข็งที่ละลายได้ร้อยละ 5, 10, 15, 20 และ 25 ตามลำดับ ซึ่งระดับของแข็งมีความสัมพันธ์กับค่าวอเตอร์แอกติวิตี

กล่าวคือเมื่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ลดลง ที่ระดับของแข็งร้อยละ 20 และ 25 ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนที่ระดับของแข็งร้อยละ 5-15 ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อพิจารณาระยะเวลาการเก็บต่างๆ พบว่า ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กล่าวคือค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น

ตารางที่ 11 ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w) ของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลโดยใช้แป้งข้าวโพดดัดแปร เป็นสารเคลือบในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 26 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65

ลำดับ ที่	ร้อยละของแข็งที่ ละลายได้ (w/w)	ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w)			
		0 เดือน	1 เดือน	0 เดือน	1 เดือน
1	5	0.139±0.001 ^{a NS}	0.152±0.003 ^{a NS}	0.149±0.006 ^{a NS}	0.140±0.012 ^{a NS}
2	10	0.111±0.001 ^{b NS}	0.118±0.002 ^{b NS}	0.105±0.007 ^{b NS}	0.123±0.008 ^{b NS}
3	15	0.096±0.002 ^{c NS}	0.087±0.001 ^{c NS}	0.089±0.002 ^{c NS}	0.104±0.011 ^{c NS}
4	20	0.080±0.002 ^{d NS}	0.088±0.001 ^{d NS}	0.087±0.003 ^{d NS}	0.084±0.001 ^{d NS}
5	25	0.079±0.001 ^{d NS}	0.084±0.004 ^{d NS}	0.080±0.002 ^{d NS}	0.075±0.002 ^{d NS}

หมายเหตุ ^{a b c d} ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ของข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบในแนวนอน ที่ระดับร้อยละของแข็งที่ละลายได้ต่างกัน

^{NS} ตัวอักษรแสดงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ของข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบในแนวนอน ที่ระยะเวลาในการเก็บรักษาต่างกัน

จากตารางที่ 11 ผลการทดลองค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูล ทจากการใช้แป้งข้าวโพดดัดแปรเป็นสารเคลือบ ที่ระดับของแข็งร้อยละ 5, 10, 15, 20 และ 25 ตามลำดับ ซึ่งระดับของแข็งมีความสัมพันธ์กับค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ กล่าวคือเมื่อปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ลดลงตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทางสถิติ เมื่อปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น แนวโน้มค่าวอเตอร์แอกติวิตี้จะลดลง เมื่อพิจารณาระยะเวลาการเก็บต่างๆ พบว่า ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทาง

สถิติ ($p>0.05$) กล่าวคือ ในแต่ละระดับของแข็งที่ละลายได้ร้อยละ 5-25 ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น ซึ่งผลการทดลองเช่นเดียวกับการใช้มอลโตเด็กซ์ทรินเป็นสารเคลือบ

ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w) ของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลจากการใช้มอลโตเด็กซ์ทรินและแป้งข้าวโพดดัดแปรเป็นสารเคลือบสอดคล้องกับปริมาณความชื้น (moisture content) กล่าวคือเมื่อปริมาณความชื้นสูงขึ้นส่งผลให้ค่า a_w สูงขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Siew และคณะ (2007) ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพเคมีของแตงโมผงโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งกล่าวว่าปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินที่มีใช้ในการทำแห้ง ถ้ามีปริมาณของแข็งสูงมีผลต่อปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ลดลง อย่างไรก็ตามถ้ามีการใช้มอลโตเด็กซ์ทรินมากกว่าร้อยละ 10 จะทำให้ผลิตภัณฑ์สูญเสียคุณภาพด้านกายภาพ เช่น สีอ่อนลง และคุณค่าทางอาหารลดน้อยลง เช่นเดียวกับการทำกรดซิตริกเอ็นแคปซูล ซึ่งถ้าปริมาณของแข็งในการทำแห้งแบบพ่นฝอยสูงขึ้น เช่น ที่ระดับของแข็งร้อยละ 25 ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เอ็นแคปซูลที่มีปริมาณกรด (acid content) ต่ำลงด้วย ในขณะที่ Chuy และ Labuza (1994) ได้ศึกษาการเกิดการรวมตัวของผลิตภัณฑ์นมผงโดยการเก็บตัวอย่างความชื้นที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ระดับต่าง ๆ ในช่วง a_w 0.01-0.85 และอุณหภูมิ 20, 30, 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 อาทิตย์ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของมอลโตเด็กซ์ทรินมีคุณภาพที่ดีและลดการเกิดการรวมตัวเป็นก้อนในระหว่างการเก็บรักษาของอุณหภูมิที่กล่าวมาข้างต้น และเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสูงกว่าร้อยละ 50 ในทุกช่วงอุณหภูมิจะทำให้เกิดการรวมตัวเป็นก้อนของผลิตภัณฑ์ได้เร็วมาก นอกจากนี้งานวิจัยของ Labuza และ Hyman (1998) กล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพเคมี ตลอดจนความปลอดภัยและอายุการเก็บของอาหาร เนื่องจากการเคลื่อนย้ายของน้ำและการเพิ่มขึ้นของค่าวอเตอร์แอกติวิตี้มีผลต่อลักษณะโครงสร้างของอาหาร จากคุณสมบัติเป็นของผงแห้งเปลี่ยนเป็นก้อนจับตัวมีเหนียวติดกัน ซึ่งพบปัญหาในอาหารโดยการเติมส่วนประกอบที่มีค่า a_w สูงหรือผลิตภัณฑ์มีการดูดความชื้นสูง (hygroscopic) ส่งผลต่อคุณภาพด้านความกรอบของอาหารและการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์

4.2.2.3 ปริมาณกรดทั้งหมด (total acid)

วิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลจากการใช้มอลโตเด็กซ์ทรินและแป้งข้าวโพดคัดแปรเป็นสารเคลือบ แสดงตารางที่ 12 และ 13 ตามลำดับ

ตารางที่ 12 ปริมาณกรดทั้งหมด (total acid) ของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลโดยใช้มอลโตเด็กซ์ทรินเป็นสารเคลือบ ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 26 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65

ลำดับ ที่	ร้อยละของแข็ง ที่ละลายได้ (w/w)	ปริมาณกรดทั้งหมด(ร้อยละ)			
		0 เดือน	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน
1	5	21.09 ± 0.14^a NS	21.14 ± 0.10^a NS	21.42 ± 0.12^a NS	21.24 ± 0.07^a NS
2	10	10.74 ± 0.09^b NS	10.56 ± 0.09^b NS	10.59 ± 0.10^b NS	10.72 ± 0.09^b NS
3	15	7.67 ± 0.17^c NS	7.83 ± 0.11^c NS	7.87 ± 0.14^c NS	7.78 ± 0.09^c NS
4	20	5.44 ± 0.22^d NS	5.56 ± 0.03^d NS	5.40 ± 0.01^d NS	5.59 ± 0.05^d NS
5	25	4.52 ± 0.09^e NS	4.60 ± 0.08^e NS	4.58 ± 0.05^e NS	4.53 ± 0.03^e NS

หมายเหตุ ^{abcde} ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ของข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบในแนวนอน ที่ระดับร้อยละของแข็งที่ละลายได้ต่างกัน

^{NS} ตัวอักษรแสดงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ของข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบในแนวนอน ที่ระยะเวลาในการเก็บรักษาต่างกัน

จากตารางที่ 12 แสดงปริมาณกรดทั้งหมดของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลโดยใช้มอลโตเด็กซ์ทรินเป็นสารเคลือบ พบว่าที่ระดับของแข็งต่างๆ ได้แก่ ร้อยละ 5, 10, 15, 20 และ 25 มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยที่ปริมาณกรดจะแปรผกผันกับปริมาณของแข็ง ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณของแข็งที่เพิ่มสูงขึ้น จากการเติมมอลโตเด็กซ์ทรินเข้าไปในสารละลายสำหรับทำเอ็นแคปซูลกรดซิตริก ก่อนนำไปทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยที่เมื่อปริมาณของแข็งต่ำ ปริมาณกรดทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้จะมีค่าสูง ในขณะที่ระดับปริมาณของแข็งสูงทำให้ปริมาณกรดต่ำ และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณกรดทั้งหมดในแต่ละระดับของแข็งร้อยละ 5, 10, 15, 20 และ 25 ที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ กัน พบว่าปริมาณกรดทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้ไม่มีการความ

แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กล่าวคือระยะเวลาในการเก็บไม่อิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดทั้งหมด

ตารางที่ 13 ปริมาณกรดทั้งหมด (total acid) ของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลโดยใช้แป้งข้าวโพดตัดแปรเป็นสารเคลือบ ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 26 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65

ลำดับ ที่	ร้อยละของแข็ง ที่ละลายได้ (w/w)	ปริมาณกรดทั้งหมด(ร้อยละ)			
		0 เดือน	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน
1	5	21.61 $\pm$ 0.13 ^{a NS}	21.65 $\pm$ 0.10 ^{a NS}	21.53 $\pm$ 0.15 ^{a NS}	21.39 $\pm$ 0.12 ^{a NS}
2	10	10.85 $\pm$ 0.13 ^{b NS}	10.78 $\pm$ 0.16 ^{b NS}	10.87 $\pm$ 0.10 ^{b NS}	10.64 $\pm$ 0.15 ^{b NS}
3	15	7.53 $\pm$ 0.09 ^{c NS}	7.66 $\pm$ 0.12 ^{c NS}	7.62 $\pm$ 0.10 ^{c NS}	7.42 $\pm$ 0.14 ^{c NS}
4	20	5.61 $\pm$ 0.16 ^{d NS}	5.54 $\pm$ 0.05 ^{d NS}	5.43 $\pm$ 0.08 ^{d NS}	5.47 $\pm$ 0.12 ^{d NS}
5	25	4.56 $\pm$ 0.05 ^{e NS}	4.63 $\pm$ 0.09 ^{e NS}	4.54 $\pm$ 0.06 ^{e NS}	4.39 $\pm$ 0.04 ^{e NS}

หมายเหตุ ^{a b c d e} ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ของข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบในแนวนอน ที่ระดับร้อยละของแข็งที่ละลายได้ต่างกัน

^{NS} ตัวอักษรแสดงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ของข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบในแนวนอน ที่ระยะเวลาในการเก็บรักษาต่างกัน

จากตารางที่ 13 แสดงปริมาณกรดทั้งหมดของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลจากการใช้แป้งข้าวโพดตัดแปรเป็นสารเคลือบ พบว่าที่ระดับของแข็งต่างๆ ได้แก่ ร้อยละ 5, 10, 15, 20 และ 25 มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยที่ปริมาณกรดจะแปรผกผันกับปริมาณของแข็ง กล่าวคือเมื่อระดับปริมาณของแข็งต่ำ ปริมาณกรดทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้จะมีค่าสูง ในขณะที่ระดับปริมาณของแข็งสูงทำให้ปริมาณกรดต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณของแข็งที่เพิ่มสูงขึ้นจากการเติมแป้งข้าวโพดตัดแปรจะเข้าไปเพิ่มปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณกรดทั้งหมดในแต่ละระดับของแข็งร้อยละ 5, 10, 15, 20 และ 25 ที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ กัน พบว่าที่ระดับของแข็งต่างกันปริมาณกรดทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กล่าวคือระยะเวลาในการเก็บไม่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดทั้งหมด และจะเห็นได้จากการใช้โมลโตเด็กซ์ตริกและแป้งข้าวโพดตัดแปรเป็นสารเคลือบมีผลต่อปริมาณกรดที่ได้มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน

4.2.2.4 ประสิทธิภาพของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูล (efficiency of encapsulated citric acid, %EE)

จากผลการทดลองวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมีและกายภาพของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลในข้างต้น ยังไม่สามารถสรุปถึงประสิทธิภาพกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลได้อย่างชัดเจน ดังนั้นจึงได้วิเคราะห์ประสิทธิภาพของการห่อหุ้มของกรดที่ถูกเอ็นแคปซูลและปริมาณกรดทั้งหมดที่ถูกห่อหุ้มไว้ แสดงดังตารางที่ 14 และ 15 ตามลำดับ

ตารางที่ 14 ประสิทธิภาพของการห่อหุ้ม (encapsulated efficiency, %EE) ของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลโดยใช้มอลโตเด็คซ์ตรินและแป้งข้าวโพดคัดแปร เป็นสารเคลือบ เก็บที่อุณหภูมิ 26 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65

ลำดับ ที่	ร้อยละของแข็ง ที่ละลายได้ (w/w)	ประสิทธิภาพของการห่อหุ้ม (%EE)	
		มอลโตเด็คซ์ตริน	แป้งข้าวโพดคัดแปร
1	5	58.95 $\pm$ 0.01 ^d	37.29 $\pm$ 1.39 ^g
2	10	88.30 $\pm$ 1.29 ^b	53.55 $\pm$ 0.93 ^c
3	15	92.02 $\pm$ 0.89 ^a	70.17 $\pm$ 0.61 ^c
4	20	90.91 $\pm$ 1.17 ^{ab}	47.64 $\pm$ 0.88 ^f
5	25	89.65 $\pm$ 0.01 ^{ab}	48.30 $\pm$ 1.64 ^f

หมายเหตุ ^{a-g} ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ของข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบในแนวนอนและแนวตั้ง ที่ระดับร้อยละของแข็งที่ละลายได้ต่างกัน

จากตารางที่ 14 แสดงประสิทธิภาพของการห่อหุ้ม (% efficiency encapsulation) ของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลโดยใช้มอลโตเด็คซ์ตรินและแป้งข้าวโพดคัดแปรเป็นสารเคลือบ ที่อุณหภูมิ 26 ± 2 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 พบว่าสารเคลือบมอลโตเด็คซ์ตรินมีประสิทธิภาพในการห่อหุ้มกรดซิตริกได้มากกว่าสารเคลือบจากแป้งข้าวโพดคัดแปร โดยที่สารเคลือบมอลโตเด็คซ์ตรินที่มีปริมาณของแข็งร้อยละ 5, 10, 15, 20 และ 25 มีประสิทธิภาพของการห่อหุ้มร้อยละ 58.95, 88.30, 92.02, 90.91 และ 89.65 ตามลำดับ และจะเห็นได้ว่าที่ระดับปริมาณของแข็งตั้งแต่ร้อยละ 10 ถึง 25 ของสารเคลือบมอลโตเด็คซ์ตรินเป็นช่วงที่มีประสิทธิภาพที่ดี เนื่องจากมีประสิทธิภาพการห่อหุ้มมีค่าระหว่าง 88.30-92.02% ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) อย่างไรก็ตามที่ระดับของแข็งร้อยละ 15 มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในกลุ่ม

สารเคลือบมอลโตเด็กซ์ทริน ในขณะที่สารเคลือบจากแป้งข้าวโพดคั่วแปรรูป พบว่าที่มีปริมาณของแข็งร้อยละ 5, 10, 15, 20 และ 25 มีประสิทธิภาพของการห่อหุ้มร้อยละ 37.29, 53.55, 70.17, 47.64 และ 48.30 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าระดับปริมาณของแข็งร้อยละ 15 มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในกลุ่มของสารเคลือบจากแป้งข้าวโพดคั่วแปรรูป อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของการห่อหุ้มของทั้งสองสารเคลือบ พบว่าสารเคลือบมอลโตเด็กซ์ทรินที่ระดับร้อยละ 15 ของของแข็งเป็นระดับที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

ตารางที่ 15 ปริมาณกรดทั้งหมดที่ถูกห่อหุ้มไว้ (%total acidity encapsulation, %AE) ของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลเลทโดยใช้มอลโตเด็กซ์ทรินและแป้งข้าวโพดคั่วแปรรูป เป็นสารเคลือบ เก็บที่อุณหภูมิ 26 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65

ลำดับ ที่	ร้อยละของแข็ง ที่ละลายได้ (w/w)	ปริมาณกรดทั้งหมดที่ถูกห่อหุ้มไว้ (%AE)	
		มอลโตเด็กซ์ทริน	แป้งข้าวโพดคั่วแปรรูป
1	5	13.10 $\pm$ 1.13 ^a	8.06 $\pm$ 0.58 ^c
2	10	9.48 $\pm$ 0.13 ^b	5.81 $\pm$ 0.08 ^{de}
3	15	6.72 $\pm$ 0.14 ^d	5.28 $\pm$ 0.07 ^e
4	20	4.95 $\pm$ 0.07 ^{ef}	2.67 $\pm$ 0.01 ^g
5	25	4.09 $\pm$ 0.05 ^f	2.20 $\pm$ 0.11 ^g

หมายเหตุ ^{a-f} ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ของข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบในแนวนอนและแนวตั้ง ที่ระดับร้อยละของแข็งที่ละลายได้ต่างกัน

จากตารางที่ 15 แสดงปริมาณกรดทั้งหมดที่ถูกห่อหุ้มไว้ (% total acidity encapsulation) ของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลเลทโดยใช้มอลโตเด็กซ์ทริน และแป้งข้าวโพดคั่วแปรรูป เป็นสารเคลือบ ที่อุณหภูมิ 26 ± 2 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 พบว่าที่ระดับของแข็งเดียวกัน เอ็นแคปซูลเลทของกรดซิตริกที่ใช้มอลโตเด็กซ์ทรินเป็นสารเคลือบมีปริมาณกรดทั้งหมดที่ถูกห่อหุ้มไว้ได้มากกว่าการใช้แป้งข้าวโพดคั่วแปรรูปเป็นสารเคลือบ โดยที่ระดับของแข็งร้อยละ 5, 10, 15, 20 และ 25 ที่ใช้มอลโตเด็กซ์ทรินเป็นสารเคลือบ มีปริมาณกรดทั้งหมดที่ถูกห่อหุ้มไว้ร้อยละ 13.10, 9.48, 6.72, 4.95 และ 4.09 ตามลำดับ ส่วนสารเคลือบจากแป้งข้าวโพดคั่วแปรรูป ที่ระดับของแข็งร้อยละ 5, 10, 15, 20 และ 25 มีปริมาณกรดทั้งหมดที่ถูกห่อหุ้มไว้ได้ร้อยละ

8.06, 5.81, 5.28, 2.67 และ 2.20 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณของแข็งเพิ่มมากขึ้น ทำให้ปริมาณกรดทั้งหมดที่ถูกห่อหุ้มไว้มีแนวโน้มลดลง

จากผลการทดลองข้างต้น พบว่ามอลโตเด็กซ์ทรินเป็นสารเคลือบที่มีประสิทธิภาพในการห่อหุ้มมากกว่าแป้งข้าวโพดดัดแปร อาจเนื่องมาจากโครงสร้างของมอลโตเด็กซ์ทริน โดยทั่วไปไม่มีคุณสมบัติการเป็นไฮโดรโฟบิกในการทำการเอ็นแคปซูลเลท มอลโตเด็กซ์ทรินจึงมีความเสถียรของการเกิดออกซิเดชันที่ดีของการทำเอ็นแคปซูลเลท นอกจากนี้มอลโตเด็กซ์ทรินยังมีความสามารถในการละลายในน้ำเย็นได้ และมีลักษณะใส มีความหนืดน้อย เมื่อนำไปใช้ในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยจะทำให้ผลิตภัณฑ์ผงมีความคงตัว (Kenyon, 1995) ในขณะที่แป้งข้าวโพดดัดแปรเป็นแป้งดัดแปร n-OSA starch ที่ประกอบด้วยส่วนที่เป็นไฮโดรโฟบิก และไฮโดรฟิลิก ซึ่งมีความเหมาะสมกับสารให้กลิ่นรสที่มีส่วนประกอบของน้ำมัน เนื่องจากมีกลไกในการจับตัวระหว่างสารให้กลิ่นรสและสตาร์ช โดยมีการจับกันเป็นแบบ hydrophobic bonding ซึ่งสตาร์ชจะกักสารให้กลิ่นรสไว้ในโมเลกุล รวมทั้งจะเกิด polar interaction โดยพันธะไฮโดรเจนระหว่าง hydroxyl groups ของสตาร์ชและ สารให้กลิ่นรส (Boutboul และคณะ, 2002) แต่ในงานวิจัยนี้ใช้กรดซิตริกเป็นสารแทนซึ่งมีคุณสมบัติเป็นไฮโดรฟิลิก จึงทำให้แป้งดัดแปร n-OSA มีคุณสมบัติที่ไม่เหมาะสมในการทำเอ็นแคปซูลเลทกรดซิตริกเท่าที่ควร และมีประสิทธิภาพในการทำเอ็นแคปซูลเลทต่ำกว่ามอลโตเด็กซ์ทริน

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลเลทที่ใช้มอลโตเด็กซ์ทรินเป็นสารเคลือบที่ระดับของแข็งร้อยละ 15 ซึ่งมีประสิทธิภาพในการห่อหุ้มกรดซิตริกไว้ได้สูงสุด ในการศึกษาประสิทธิภาพของเอ็นแคปซูลเลทของกรดซิตริกที่มีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผง ในระหว่างอายุการเก็บในการทดลองต่อไป

4.3 การศึกษาประสิทธิภาพของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลที่มีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงระหว่างอายุการเก็บ

ผลการศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงของชุดควบคุมซึ่งมีส่วนผสมเป็นกรดซิตริกที่ไม่ถูกเอ็นแคปซูล และชุดทดลองซึ่งมีกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูล โดยใช้โมลโตเด็กซ์ทรินเป็นสารเคลือบที่ระดับของแข็งร้อยละ 15 เป็นส่วนประกอบที่ใช้ในการทดลองในครั้งนี้ โดยเตรียมผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงตัวยำ ซึ่งมีส่วนประกอบพริกผงปาปrika และกรดซิตริก (ตามตารางที่ 1 และ 2 ภาคผนวก ข) โดยศึกษาประสิทธิภาพของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลที่มีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงระหว่างอายุการเก็บรักษา โดยทำการศึกษา 2 สภาวะ ได้แก่ อุณหภูมิ 25 และ 45 องศาเซลเซียส มีผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 16 คุณภาพของผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงตัวยำที่ใช้กรดซิตริก(ชุดควบคุม) และกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูล (ชุดทดลอง)

การทดลอง	คุณภาพทางด้านเคมีของผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรส			
	% acidity	pH	Moisture	a _w
ชุดควบคุม	2.11 ± 0.089 ^a	3.86 ± 0.09 ^a	2.68 ± 0.034 ^a	0.302 ± 0.010 ^a
ชุดทดลอง	2.06 ± 0.126 ^a	3.80 ± 0.07 ^a	2.50 ± 0.050 ^a	0.295 ± 0.014 ^a

หมายเหตุ ^a แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ของข้อมูล ทำการวิเคราะห์ด้วยตัวอย่าง 3 ซ้ำ

ตารางที่ 17 การเปลี่ยนแปลงของค่าสีในผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงชุดควบคุม (ชุด A) ที่อุณหภูมิการเก็บ 25 องศาเซลเซียส เมื่ออายุการเก็บต่างกัน

อายุการเก็บ (เดือน)	ค่าสี ชุดควบคุม (ชุด A)		
	L*	a*	b*
0	60.28±0.23 ^d	21.18±0.17 ^a	22.81±0.15 ^a
1	61.18±0.01 ^c	19.32±0.02 ^b	22.16±0.01 ^c
2	62.30±0.02 ^a	18.81±0.03 ^c	22.50±0.06 ^b
3	61.96±0.08 ^b	18.34±0.04 ^d	22.37±0.03 ^c
4	62.13±0.01 ^{ab}	17.62±0.01 ^e	22.73±0.01 ^a
5	61.29±0.21 ^c	16.18±0.02 ^f	22.02±0.01 ^d

หมายเหตุ ^{a-f} ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ของข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบในแนวตั้ง ที่อายุการเก็บต่างกัน

จากตารางที่ 17 ค่าสี L^* , a^* และ b^* ในผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงชูรสควบคุม ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่ออายุการเก็บมากขึ้น ค่า L^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) นั่นคือผลิตภัณฑ์มีความสว่างเพิ่มขึ้น เมื่ออายุการเก็บมากขึ้น ส่วนค่า a^* มีแนวโน้มลดลง โดยมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) นั่นคือผลิตภัณฑ์มีค่าความเป็นสีแดงลดลง เมื่ออายุการเก็บมากขึ้น และ b^* มีแนวโน้มลดลง โดยมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) นั่นคือผลิตภัณฑ์มีค่าความเป็นสีเหลืองลดลง

ตารางที่ 18 การเปลี่ยนแปลงของค่าสีในผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงชูรสทดลอง (ชุด B) ที่อุณหภูมิการเก็บ 25 องศาเซลเซียส เมื่ออายุการเก็บต่างกัน

อายุการเก็บ (เดือน)	ค่าสี ทดลอง (ชุด B)		
	L^*	a^*	b^*
0	68.56±0.02 ^c	18.07±0.01 ^a	21.41±0.03 ^a
1	71.34±0.04 ^b	14.87±0.01 ^c	19.32±0.01 ^c
2	71.83±0.15 ^a	14.43±0.03 ^d	18.92±0.02 ^f
3	70.89±0.14 ^b	15.68±0.02 ^b	20.84±0.10 ^b
4	71.48±0.13 ^{ab}	14.82±0.13 ^c	20.39±0.10 ^c
5	71.82±0.02 ^a	14.06±0.02 ^c	20.52±0.03 ^c

หมายเหตุ ^{a-f} ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ของข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบในแนวตั้ง ที่อายุการเก็บต่างกัน

จากตารางที่ 18 ค่าสี L^* , a^* และ b^* ในผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงชูรสทดลอง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่ออายุการเก็บมากขึ้น ค่า L^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) นั่นคือผลิตภัณฑ์มีความสว่างเพิ่มขึ้น เมื่ออายุการเก็บมากขึ้น ส่วนค่า a^* และ b^* โดยมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เมื่ออายุการเก็บมากขึ้น

ตารางที่ 19 ค่า a^*/b^* ของสีผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงชุดควบคุม และชุดทดลอง ที่อุณหภูมิการเก็บ 25 องศาเซลเซียส เมื่ออายุการเก็บต่างกัน

อายุการเก็บ (เดือน)	ค่า a^*/b^*	
	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
0	0.93±0.01 ^{a A}	0.84±0.01 ^{c B}
1	0.87±0.01 ^{b A}	0.77±0.01 ^{ef B}
2	0.84 ±0.01 ^{c A}	0.76±0.01 ^{fg B}
3	0.82±0.01 ^{d A}	0.75±0.01 ^{g B}
4	0.78±0.01 ^{e A}	0.73±0.01 ^{h B}
5	0.73±0.01 ^{h A}	0.69±0.01 ^{i B}

หมายเหตุ ^{a-i} ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ของข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบในแนวนอน ที่อายุการเก็บต่างกัน

^{A B} ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ของข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบในแนวนอน ที่อายุการเก็บต่างกัน

จากตารางที่ 19 แสดงถึงค่า a^*/b^* ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าความเป็นสีแดงต่อสีเหลือง โดยที่ a^*/b^* ของชุดควบคุมมีการเปลี่ยนแปลงจาก 0.93, 0.87, 0.84, 0.82, 0.78 และ 0.73 เมื่ออายุการเก็บ 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 เดือนตามลำดับ ในขณะที่ค่า a^*/b^* ของชุดทดลองมีการเปลี่ยนแปลงจาก 0.84, 0.77, 0.76, 0.75, 0.73 และ 0.69 เมื่ออายุการเก็บ 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 เดือนตามลำดับ จะเห็นได้ว่าชุดควบคุมและชุดทดลองมี ค่า a^*/b^* ลดลง แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงโดยที่สีแดงมีปริมาณลดลงเมื่ออายุการเก็บมากขึ้น

อย่างไรก็ตาม Park และ Chang (2007) ได้กล่าวไว้ว่า a^*/b^* เป็นค่าอัตราส่วนที่แสดงถึงความเป็นสีแดงของพริกปาปริกาได้เป็นอย่างดี โดยทั่วไปแล้วเป็นการบ่งชี้ความเป็นสีแดงและสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ ได้ทำการศึกษาอายุการเก็บของพริกปาปริกาที่ผ่านกระบวนการทำแห้งโดยวิธีต่างๆ และเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ 4 และ 30 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ประเมินค่าสี 2 วิธี กล่าวคือ สีจากพื้นผิวหรือจากลักษณะปรากฏ (apparent color หรือ surface color) โดยวิเคราะห์จากการวัดค่าสีในระบบ Hunter color system ได้แก่ ค่า L^* , a^* และ b^* และวิธีที่ 2 ได้แก่ การวัดจากสีที่สกัดได้ (extractable color) โดยสกัดด้วย acetone และรายงานผลในรูปของหน่วย ASTA (American Spice Trade Association) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ทั่วไปในการตัดสินคุณภาพของพริกปาปริกาจากผู้ผลิต และ

ผู้ขาย ซึ่งวิธีวิเคราะห์ทั้งสองวิธีนี้มีความสัมพันธ์กัน นอกจากนี้ยังมีการศึกษาของ Aleksandra และ Biserka (2004) ซึ่งศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของพริก 2 ชนิด Stara Pazova และ Djala พบว่า a^*/b^* มีค่าลดลง เมื่อเก็บนานเป็นระยะเวลา 4 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง โดยมีการเปลี่ยนแปลงจากสีแดงไปเป็นสีส้มมากขึ้น

จากภาพที่ 9 ภาคผนวก ข แสดงค่า a^*/b^* ของสีผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงชุดควบคุม และชุดทดลอง ที่อุณหภูมิการเก็บ 25 องศาเซลเซียส เมื่ออายุการเก็บต่างกัน จะเห็นได้ว่าชุดทดลองจะมีการเปลี่ยนแปลงของค่า a^*/b^* ที่ช้ากว่าชุดควบคุม โดยพิจารณาจากความชัน (slope) ของสมการที่ 8 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน a^*/b^* กับระยะเวลาในการเก็บของชุดทดลอง มีค่าความชันน้อยกว่าชุดสมการที่ 7 ของชุดควบคุม กล่าวคือชุดทดลองจะมีการเปลี่ยนแปลงจากสีแดงไปเป็นสีเหลืองช้ากว่าชุดควบคุม

$$\text{ชุดควบคุม } Y = -0.0369X + 0.9572 \quad ; R^2 = 0.9803 \quad \text{.....สมการที่ 7}$$

$$\text{ชุดทดลอง } Y = -0.0267X + 0.8502 \quad ; R^2 = 0.8974 \quad \text{.....สมการที่ 8}$$

โดยที่ ค่า Y = อัตราส่วนระหว่าง a^*/b^*

X = ระยะเวลาในการเก็บ (เดือน)

ตารางที่ 20 ค่า Hue angle ของผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงชุดควบคุม และชุดทดลอง ที่อุณหภูมิการเก็บ 25 องศาเซลเซียส เมื่ออายุการเก็บต่างกัน

อายุการเก็บ (เดือน)	ค่า Hue angle	
	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
0	47.12±0.08 ^{h NS}	48.94±1.51 ^{g NS}
1	48.92±0.05 ^{g NS}	51.28±1.98 ^{ef NS}
2	50.10±0.12 ^{gf B}	52.67±0.07 ^{cd A}
3	50.66±0.09 ^{f B}	53.04±0.10 ^{bcd A}
4	52.22±0.01 ^{de B}	54.00 ± 0.10 ^{b A}
5	53.69±0.02 ^{bc B}	55.58 ± 0.08 ^{a A}

หมายเหตุ ^{a-g} ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ของข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบในแนวนอน ที่อายุการเก็บต่างกัน

^{A B} ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ของข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบในแนวนอน ที่อายุการเก็บต่างกัน

^{NS} ตัวอักษรแสดงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ของข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบในแนวนอน ที่อายุการเก็บต่างกัน

ผงพริกปาปริกาโดยปกติจะมีค่า Hue angle (h°) อยู่ระหว่าง $30-40^\circ$ ซึ่งมีลักษณะเป็นสีแดงถึงสีส้ม หากตัวอย่างมีค่า h° เท่ากับ 30° และ Chroma (C) เท่ากับ 50 จะมีลักษณะปรากฏเป็นสีแดงส้มและสว่าง หากตัวอย่างมีค่า h° เท่ากับ 45° และ Chroma เท่ากับ 30 ลักษณะปรากฏจะมีสีส้มคล้ำ ดังรายงานของ Vracar และคณะ (2007)

จากตารางที่ 20 พบว่าค่า Hue angle ของชุดควบคุมมีค่าระหว่าง 47.12 - 53.69 องศา ส่วนชุดทดลองมีค่าระหว่าง 48.94 - 55.58 องศา ในช่วงของการเก็บจากเริ่มต้นจนถึง 5 เดือน ตามลำดับ กล่าวคือ ชุดควบคุมมีสีแดงเริ่มต้นมากกว่าชุดทดลอง และเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น ผลลัพธ์ก็มีการเปลี่ยนแปลงจากสีแดงเป็นเหลือง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Aleksandra และ Biserka (2004) ซึ่งพบว่าค่า Hue angle จะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 39.53 เป็น 45.67 ในพริก Djala และ 38.53 เป็น 43.45 ของพริกพันธุ์ Stara Pazova จากระยะเวลาการเก็บเริ่มต้นถึง 4 เดือน ตามลำดับ

จากผลการทดลองข้างต้น ค่า Hue angle ของผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงชุดควบคุม และชุดทดลอง ที่อุณหภูมิการเก็บ 25 องศาเซลเซียส พบว่าชุดควบคุมจะมีการเปลี่ยนแปลงของค่า Hue angle มากกว่าชุดทดลอง โดยพิจารณาจากค่าความชัน (slope) ของสมการที่ 9 และ 10 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า Hue angle กับระยะเวลาในการเก็บของชุดควบคุม มีค่าความชันมากกว่า ชุดทดลอง กล่าวคือ ชุดควบคุมจะมีการเปลี่ยนแปลงจากสีแดง เร็วกว่าชุดทดลอง

$$\begin{aligned} \text{ชุดควบคุม } Y &= 1.2512X + 46.058 ; R^2 = 0.9828 && \text{.....สมการที่ 9} \\ \text{ชุดทดลอง } Y &= 0.9679X + 49.534 ; R^2 = 0.9042 && \text{.....สมการที่ 10} \end{aligned}$$

โดยที่ ค่า Y = ค่า Hue angle (h°)

X = ระยะเวลาในการเก็บ (เดือน)

ผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงชูรสความคมและชุดทดลอง ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จากเริ่มต้นถึง 5 เดือน มีลักษณะสีปรากฏ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับจากการทดลองของค่า L^* , a^* , b^* , a^*/b^* และ Hue angle ดังที่ได้กล่าวข้างต้น

จากการทดลอง ค่า L^* , a^* และ b^* ในผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงชูรสความคม และชุดทดลอง โดยจำลองสภาวะการเก็บที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เพื่อศึกษาสภาวะการกระตุ้นด้วยอุณหภูมิจากสิ่งแวดล้อม เนื่องจากในกระบวนการผลิตเครื่องปรุงรส ตั้งแต่กระบวนการเริ่มต้นจนกระทั่งได้เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย ตลอดจนการเก็บรักษาในพื้นที่จัดเก็บและสถานที่ผลิตของลูกค้า ซึ่งไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในสภาวะใดสภาวะหนึ่งได้ ซึ่งอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงสูงในแต่ละวัน

ตารางที่ 21 การเปลี่ยนแปลงของค่าสีในผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงชูรส A (ชุดความคม) ที่อุณหภูมิการเก็บ 45 องศาเซลเซียส เมื่ออายุการเก็บต่างกัน

อายุการเก็บ (เดือน)	ค่าสี ชุด A (ความคม)		
	L^*	a^*	b^*
1	61.38±1.92 ^c	21.18±0.17 ^a	22.81±0.15 ^a
2	63.59±0.07 ^d	15.65±0.01 ^b	22.14 ±0.07 ^b
3	66.06±0.01 ^c	12.67±0.01 ^c	20.96 ±0.02 ^c
4	69.73±0.03 ^b	7.73±0.02 ^d	18.87 ±0.17 ^d
5	71.37±0.02 ^a	5.66±0.01 ^c	17.92 ±0.02 ^c
6	71.37±0.18 ^a	4.20±0.12 ^f	16.85 ±0.08 ^f

หมายเหตุ ^{a-f} ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ของข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบในแนวนอน ที่อายุการเก็บต่างกัน

จากตารางที่ 21 ค่า L^* , a^* , และ b^* ในผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงชูรสความคม ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่ออายุการเก็บมากขึ้น ค่า L^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) นั่นคือผลิตภัณฑ์มีความสว่างเพิ่มขึ้น เมื่ออายุการเก็บมากขึ้น ส่วนค่า a^* และ b^* มีแนวโน้มลดลง โดยมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) นั่นคือผลิตภัณฑ์มีค่าความเป็นสีแดง และความเป็นสีเหลืองลดลง ตามลำดับ ดังภาพที่ 26

เมื่อพิจารณาผลการทดลองผลค่าสีในระบบ L*, a*, และ b* เปรียบเทียบที่ อุณหภูมิการเก็บระหว่าง 25 และ 45 องศาเซลเซียส จากตารางที่ 9 และ 12 พบว่าที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ผลผลิตนั้นมีการเปลี่ยนแปลงค่าสีเร็วกว่าตัวอย่างที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิมีผลต่อการเสื่อมสลายของรงควัตถุ (pigments) ได้แก่ แคโรทีนอยด์ (carotenoids) ในผงพริกปาปrika ซึ่งจากรายงานการวิจัยของ Topuz และคณะ (2009) สรุปว่า แคโรทีนอยด์มีการเสื่อมสลายจากเริ่มต้นถึงร้อยละ 20-53 จากการได้รับสิ่งกระตุ้นจากความร้อน แสง และออกซิเจน นอกจากนี้กระบวนการผลิต เกิดปฏิกิริยา enzymatic oxidation ในการบดและอบแห้งพริก มีผลต่อการเสื่อมสลายของแคโรทีนอยด์ นอกจากนี้ Park และ Chang (2007) ได้ รายงานว่าพริกที่ผ่านกระบวนการทำแห้งที่ 50 องศาเซลเซียส และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีการเสื่อมสลายของสารแคปแซนทิน (capsanthin) ซึ่งเป็นสารรงควัตถุ โดยเหลือร้อยละ 20.7-37.8 เมื่อเทียบกับการทำแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ซึ่งมีรงควัตถุคงเหลือเพียงร้อยละ 4-6 เท่านั้น และพบว่าการเก็บตัวอย่างไว้ที่ 0 และ 20 องศาเซลเซียส ปริมาณ capsanthin contents มีค่าร้อยละ 88.6 และ 60.9 ตามลำดับ ดังนั้นอิทธิพลของความร้อนมีผลต่อปริมาณรงควัตถุในพริก นอกจากกระบวนการผลิตและสถานะการเก็บแล้ว ชนิดของบรรจุภัณฑ์ (packaging materials) ยังมีผลต่อปริมาณสารรงควัตถุ ซึ่งพบว่าตัวอย่างพริกที่เก็บในถุงพลาสติกชนิดไนลอน (nylon film) สามารถรักษากรดแอสคอร์บิกไว้ได้ร้อยละ 50.4 และ 23.1 ที่อุณหภูมิ 30 และ 4 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อเทียบกับถุงพลาสติกชนิด LDPE ซึ่งมีประสิทธิภาพต่ำกว่า เนื่องจากมีสมบัติในการซึมผ่านของออกซิเจน (air transmission) ได้ดีกว่า

ตารางที่ 22 การเปลี่ยนแปลงของค่าสีในผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงชูด B (ชูดทดลอง) ที่อุณหภูมิการเก็บ 45 องศาเซลเซียส เมื่ออายุการเก็บต่างกัน

อายุการเก็บ (เดือน)	ค่าสี ชูด B (ทดลอง)		
	L*	a*	b*
0	68.56±0.02 ^f	18.07±0.01 ^a	21.41±0.03 ^a
1	71.35±0.04 ^c	14.87±0.01 ^b	19.32±0.01 ^b
2	73.77±0.11 ^d	11.35±0.02 ^c	19.14±0.01 ^c
3	75.36±0.16 ^c	9.24 ±0.13 ^d	18.47±0.04 ^d
4	77.49±0.03 ^b	6.13 ±0.02 ^e	16.88±0.02 ^e
5	78.33±0.23 ^a	4.50±0.13 ^f	15.07±0.18 ^f

หมายเหตุ ^{a-f} ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ของข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบในแนวตั้ง ที่อายุการเก็บต่างกัน

จากตารางที่ 22 ค่า L^* , a^* และ b^* ในผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงชุดทดลอง สภาวะการเก็บที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่ออายุการเก็บมากขึ้น ค่า L^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) นั่นคือผลิตภัณฑ์มีความสว่างเพิ่มขึ้น เมื่ออายุการเก็บมากขึ้น ส่วนค่า a^* และ b^* มีแนวโน้มลดลง โดยมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) นั่นคือผลิตภัณฑ์มีค่าความเป็นสีแดงและความเป็นสีเหลืองลดลง ตามลำดับ

ตารางที่ 23 เปรียบเทียบค่า a^*/b^* ของสีผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงชุดควบคุม และชุดทดลอง ที่อุณหภูมิการเก็บ 45 องศาเซลเซียส เมื่ออายุการเก็บต่างกัน

อายุการเก็บ (เดือน)	ค่า a^*/b^*	
	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
0	0.93 ± 0.01 ^{a A}	0.84 ± 0.01 ^{b B}
1	0.71 ± 0.01 ^{d B}	0.77 ± 0.01 ^{c A}
2	0.60 ± 0.01 ^{e NS}	0.59 ± 0.01 ^{e NS}
3	0.41 ± 0.01 ^{g B}	0.50 ± 0.01 ^{f A}
4	0.32 ± 0.01 ^{i NS}	0.36 ± 0.01 ^{h NS}
5	0.25 ± 0.01 ^{k B}	0.30 ± 0.01 ^{j A}

หมายเหตุ ^{a-k} ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ของข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบในแนวตั้ง ที่อายุการเก็บต่างกัน

^{A B} ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ของข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบในแนวนอน ที่อายุการเก็บต่างกัน

^{NS} ตัวอักษรแสดงความไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ของข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบในแนวนอน ที่อายุการเก็บต่างกัน

จาก ตารางที่ 23 พบว่าชุดควบคุมและชุดทดลองมี ค่า a^*/b^* ลดลง เมื่ออายุการเก็บมากขึ้น โดยมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยที่ชุดควบคุมมีการเปลี่ยนแปลงของค่า a^*/b^* มากกว่าชุดทดลอง นั่นคือผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงจากสีแดงไปเป็นสีเหลืองมาก

ขึ้น และแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่าง a^*/b^* กับ ระยะเวลาในการเก็บทดลอง ที่อุณหภูมิการเก็บ 45 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงสมการเส้นตรงของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่าง a^*/b^* กับระยะเวลาในการเก็บ ดังสมการที่ 11 และ 12

$$\text{ชุดควบคุม } Y = -0.1366X + 1.0143 \quad ; R^2 = 0.9684 \quad \text{.....สมการที่ 11}$$

$$\text{ชุดทดลอง } Y = -0.1154X + 0.9655 \quad ; R^2 = 0.9861 \quad \text{.....สมการที่ 12}$$

โดยที่ ค่า Y = อัตราส่วนระหว่าง a^*/b^*

X = ระยะเวลาในการเก็บ (เดือน)

ตารางที่ 24 ค่า Hue angle ของสีผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงชุดควบคุมและชุดทดลอง ที่อุณหภูมิการเก็บ 45 องศาเซลเซียส เมื่ออายุการเก็บต่างกัน

อายุการเก็บ (เดือน)	Hue angle	
	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
0	47.12±0.09 ^{h NS}	48.94±1.51 ^{h NS}
1	52.85±3.34 ^{g NS}	51.28±1.98 ^{g NS}
2	58.84±0.01 ^{f B}	59.34±0.04 ^{f A}
3	67.72±0.13 ^{d A}	63.43±0.27 ^{e B}
4	72.48±0.03 ^{b A}	70.05±0.06 ^{c B}
5	76.02 ±0.31 ^{a A}	73.37±0.27 ^{b B}

หมายเหตุ^{a-h} ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ของข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบในแนวนอน ที่อายุการเก็บต่างกัน

^{A B} ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ของข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบในแนวนอน ที่อายุการเก็บต่างกัน

^{NS} ตัวอักษรแสดงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ของข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบในแนวนอน ที่อายุการเก็บต่างกัน

จากตารางที่ 23 พบว่าค่า Hue angle ของชุดควบคุมมีค่าระหว่าง 47.13 - 76.02 องศา ส่วนชุดทดลองมีค่าระหว่าง 48.94 – 73.37 องศา ในช่วงการเก็บจากเริ่มต้นจนถึง 5 เดือน

ตามลำดับ กล่าวคือ ชุดควบคุมมีการเปลี่ยนแปลงจากสีแดงไปเป็นสีเหลืองมากกว่าชุดทดลอง นั่นคือ กรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลในชุดทดลองมีประสิทธิภาพในการชะลอการเปลี่ยนแปลงของสีในผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงที่มีส่วนประกอบของพริกผงปาปริกา โดยเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้นผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงจากสีแดงเป็นสีเหลืองน้อยลงเมื่อเทียบกับชุดควบคุม เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

จากผลของค่า Hue angle ของสีผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงชุดควบคุม และชุดทดลอง อุณหภูมิการเก็บ 45 องศาเซลเซียส พบว่าชุดควบคุมมีการเปลี่ยนแปลงค่า hue angle มากกว่าชุดทดลอง ที่อุณหภูมิการเก็บ 45 องศาเซลเซียส ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่าง hue angle กับระยะเวลาในการเก็บทดลอง ได้สมการเส้นตรงดังสมการที่ 13 และ 14

$$\text{ชุดควบคุม } Y = 5.915X + 42.104 \quad ; R^2 = 0.9845 \quad \text{.....สมการที่ 13}$$

$$\text{ชุดทดลอง } Y = 4.9919X + 43.935 \quad ; R^2 = 0.9885 \quad \text{.....สมการที่ 14}$$

โดยที่ ค่า Y = ค่า Hue angle (h°)

X= ระยะเวลาในการเก็บ (เดือน)

กล่าวโดยสรุป จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีโดยการวิเคราะห์ด้วยวิธี surface color ด้วยตัวชี้วัดระบบ Hunter color (L^* , a^* , b^*), h° , a^*/b^* โดยประยุกต์ใช้กรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลเพื่อศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงในการชะลอการเปลี่ยนแปลงของสีในผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงที่มีส่วนประกอบของสีสกัดจากปาปริกาและพริกผงปาปริกา นั้นมีประสิทธิภาพไม่ชัดเจนในสภาวะการเก็บที่อุณหภูมิต่ำ เช่น อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เนื่องจากรงควัตถุในพริกปาปริกา มีการสลายตัวในที่อุณหภูมิต่ำกว่าที่อุณหภูมิสูง ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิการเก็บ 45 องศาเซลเซียส อิทธิพลของความร้อนมีผลต่อปริมาณรงควัตถุในพริก และพบว่ากรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลในชุดทดลองมีประสิทธิภาพในการชะลอการเปลี่ยนแปลงของสีในผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสได้ ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วในกระบวนการผลิตและการจัดเก็บเครื่องปรุงรสผงเป็นเรื่องที่ควบคุมอุณหภูมิในการจัดเก็บรักษาได้ยากมาก เนื่องจากสภาวะภูมิอากาศและอุณหภูมิของประเทศไทยมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล ดังนั้น การนำเทคโนโลยีการทำกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลเข้ามาช่วยในการชะลอการเปลี่ยนแปลงของสีของผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสที่มี

ส่วนประกอบของปาปrika สามารถประยุกต์ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในสถานการณ์เก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงเท่านั้น

นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาถึงค่า a_w และปริมาณความชื้น รวมทั้งชนิดของบรรจุภัณฑ์ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าผงปรุงรสที่มีกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลเป็นส่วนผสม มีค่า a_w เท่ากับ 0.3 และปริมาณความชื้นร้อยละ 2.5 และถูกบรรจุอยู่ในถุงพลาสติกฟิล์มหลายชั้นชนิด Nylon/LLDPE ซึ่งมีคุณสมบัติทางกายภาพในการทนความร้อน และการป้องกันการซึมผ่านของความชื้นและอากาศได้ดียิ่งขึ้น (สถาบันพัฒนาวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม, 2547) ทำให้การเปลี่ยนแปลงของค่าสีอาจเกิดช้าลงได้ อาจเนื่องมาจากการซึมผ่านของอากาศส่งผลให้ปริมาณความชื้นต่ำและค่าออกซิเจนที่ต่ำด้วย ดังรายงานการวิจัยของ Topuz (2008) กล่าวว่า a_w ที่ 0.459, 0.582 และ 0.703 มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของ L^* , a^* , b^* และ Total Color Difference (TCD) อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ Horváth และ Hodúr (2007) รายงานว่าสีของผงปาปrika จะมีการเปลี่ยนแปลง เมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นร้อยละ 3-5 เป็นสาเหตุของการลดลงของ hue angle 2-4 องศา การลดลงของความสว่าง 1.5-2 หน่วย และการลดลงของ Chroma 1.5-2.0 หน่วย และ Park และ Chang (2007) รายงานว่าตัวอย่างพริกที่เก็บในถุงพลาสติกไนลอน (nylon film) สามารถรักษากรดแอสคอร์บิก มีประสิทธิภาพที่ดี เมื่อเปรียบเทียบกับถุง LDPE เนื่องจากมีสมบัติในปกป้องการซึมผ่านของออกซิเจนที่ดีกว่า

ดังนั้นการนำเทคโนโลยีในกระบวนการผลิตมาประยุกต์ใช้เพื่อป้องกันการเสื่อมสลายของสีปาปrika จากปฏิกิริยา oxidative carotenoid degradation สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การประยุกต์ในรูปของเอ็นแคปซูล หรือการใช้สารแอนติออกซิแดนท์ (antioxidant) จากธรรมชาติ เช่น rosemary extract, ascorbic acid และ tocopherol สามารถนำมาใช้เพื่อป้องกันการสูญเสียของรงควัตถุในสีปาปrika ได้ ตามรายงานการวิจัยของ Osuna-Garcia และคณะ (1997) พบว่าสาร tocopherol มีประสิทธิภาพในการชะลอการสลายของ carotenoid ในพริกปาปrika ได้ โดยพบว่าชุดทดลองมีการสลายตัวของ carotenoid ร้อยละ 32 ในขณะที่ชุดควบคุมสลายตัวไปร้อยละ 63 หลังจากเก็บไว้เป็นระยะเวลา 4 เดือน ในสถานะอุณหภูมิห้อง

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

จากการทดลองผลิตเอ็นแคปซูลของกรดซิตริก โดยการทำแห้งแบบพ่นฝอย ที่สภาวะควบคุมความดัน 0.6 MPa อุณหภูมิอากาศเข้า 190 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิอากาศออก 90 องศาเซลเซียส พบว่ากรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลโดยไขมันโกลโคเลสเตอรินเป็นสารเคลือบมีประสิทธิภาพสูงกว่าแป้งข้าวโพดคั่วแปรรูป โดยสารเคลือบจากโกลโคเลสเตอรินที่ระดับของแข็งร้อยละ 15 มีประสิทธิภาพของการห่อหุ้มสูงสุดคือร้อยละ 92.02 ส่วนสารเคลือบแป้งข้าวโพดคั่วแปรรูปที่ระดับของแข็งร้อยละ 15 มีประสิทธิภาพของการห่อหุ้มสูงสุดร้อยละ 70.17 ดังนั้นจึงได้ทำการคัดเลือกกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลที่ใช้ไขมันโกลโคเลสเตอรินเป็นสารเคลือบ ทำการทดลองเพื่อประยุกต์ใช้กับผงปรุงรสที่มีส่วนประกอบของสีสกัดจากปาปริกาและพริกผงปาปริกาต่อไป โดยที่กรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลที่มีปริมาณของแข็งร้อยละ 15 มีคุณภาพด้านเคมี ดังนี้ ปริมาณความชื้น ร้อยละ 1.76 ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w) 0.087 และปริมาณกรดทั้งหมด ร้อยละ 7.64 สำหรับลักษณะอนุภาคของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลจากการส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) มีลักษณะกลม มีผิวภายนอกเรียบ และบางส่วนหดรตัว

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีในผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงโดยการวิเคราะห์สีที่พื้นผิว ซึ่งวัดด้วยระบบ Hunter color (L^* , a^* , b^*), h° , a^*/b^* โดยศึกษาประสิทธิภาพของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูล ในการชะลอการเปลี่ยนแปลงของสีในผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงที่มีส่วนประกอบของพริกปาปริกา ที่มีผลต่ออายุการเก็บของผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผง ในสภาวะการเก็บต่าง ๆ กัน พบว่าที่อุณหภูมิต่ำ เช่น อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ผลการเปลี่ยนแปลงไม่ชัดเจน เนื่องจากรงควัตถุในพริกปาปริกา มีการสลายตัวที่อุณหภูมิต่ำช้ากว่าที่อุณหภูมิสูง ซึ่งจะเห็นได้จากที่อุณหภูมิการเก็บ 45 องศาเซลเซียส ความร้อนมีอิทธิพลต่อการสลายของรงควัตถุในพริก และพบว่ากรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลในชุดทดลองมีประสิทธิภาพในการชะลอการเปลี่ยนแปลงของสีในผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสได้ ซึ่งสอดคล้องกันกับในทางปฏิบัติ ซึ่งพบว่ากระบวนการผลิตและการจัดเก็บเครื่องปรุงรสผงควบคุมอุณหภูมิในการจัดเก็บรักษาได้ยากมาก เนื่องจากสภาวะภูมิอากาศและอุณหภูมิของประเทศไทยมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล ดังนั้นการนำเทคโนโลยีการทำเอ็นแคปซูลกรดซิตริก เข้ามาช่วยในการรักษาสีของผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสที่มีส่วนประกอบของ

ปาปริกาจึงสามารถประยุกต์ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพเฉพาะที่อุณหภูมิเท่านั้น ซึ่งจากสมมติฐานที่คาดไว้ว่าการดัดแปรที่อุณหภูมิสูงจะสามารถชะลอการซีดจางของสีปาปริกาได้ ผลการศึกษา ยังไม่สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ทั้งหมด ทั้งนี้อาจเกิดจากปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลทำให้สีของปาปริกาเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ เช่น การเกิดออกซิเดชันของสารรงควัตถุแคโรทีนอยด์ ซึ่งสามารถถูกกระตุ้นจากสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ความร้อน แสง ความชื้น เอนไซม์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาถึงชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีในเครื่องปรุงรสผงอีกด้วย

ข้อเสนอแนะ

1. การถ่ายภาพเพื่อเปรียบเทียบสีหรือลักษณะทางกายภาพของตัวอย่าง ควรร้อนตัวอย่างผ่านตะแกรงร้อนเพื่อให้ขนาดอนุภาคมีขนาดเท่ากันก่อน เพื่อลดความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์คุณภาพ
2. การประเมินการเปลี่ยนแปลงของค่าสี สามารถวิเคราะห์ด้วยวิธีวัดลักษณะปรากฏหรือสีจากพื้นผิว เปรียบเทียบกับการวัดจากสีที่สกัดได้ ตามวิธี American Spice Trade Method 20.1 (ASTA) เพื่อทราบถึงปริมาณของสารรงควัตถุที่สกัดได้ในหน่วยของASTA ด้วย
3. การใช้สาร natural antioxidant เช่น rosemary extract, ascorbic acid และ tocopherol เพื่อป้องกันการเสื่อมสลายของสีปาปริกาจาก oxidative carotenoid degradation ในผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงเป็นหัวข้อที่น่าสนใจสำหรับการศึกษาในลำดับต่อไป

บรรณานุกรม

- กรมศุลกากร. 2551. อุตสาหกรรมเครื่องเทศ และอุตสาหกรรมเครื่องปรุงรส. [ออนไลน์]
เข้าถึงได้จาก <http://www.oie.go.th/project/food/8.pdf/> (วันที่ค้นข้อมูล 17 พฤศจิกายน 2551)
- ภักดิ์ ทอทอง. 2550. การมองเห็นและการวัดสี. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก
www.dss.go.th/dssweb/st.../pep_7_2550_Color_Measurement.pdf (วันที่ค้นข้อมูล 29 ธันวาคม 2552)
- สถาบันพัฒนาวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม. 2547. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก
<http://www.ismed.or.th/SME2/src/bin/controller>. (วันที่ค้นข้อมูล 24 มกราคม 2553).
- สุมาลี จิระมิตร, ชุศักดิ์ อุดมศรี และแพรว กิระสุนทรพงษ์. 2543. การศึกษาความเป็นไปได้ของ
โครงการอุตสาหกรรมผงปรุงรสอาหารสำเร็จรูป. รายงานการวิจัยศูนย์วิจัยสถาบันบัณฑิต
บริหารธุรกิจ ศศินทร์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 94 น.
- วรเดช อรุณเลิศศรี. 2545. ผลขององค์ประกอบทางเคมีต่อจลนศาสตร์การดูดความชื้นของซีอิ๊วผง
อบแห้งแบบพ่นฝอย. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 135 น.
- Aleksandra, N.T. and Biserka L.V. 2004. Colour change in pepper (*Capsicum annuum*) during
storage. APTEFF. 35:1-280.
- AOAC 2000. Official Method of Analysis of AOAC International. 17th ed. The
Association of Official Analytical Chemists, Virginia.
- Barbosa-Cánovas, G.V., Ortega-Rivas, E., Pablo, J. and Hong, Y. 2005. Encapsulation Process.
Food Powders. 199-219.
- Bhandari, B.R., Datta, N. and Howes, T. 1997. Problems associated with spray drying of
sugar-rich foods. Drying Technology. 15(2): 671-684.
- Boutboul, A. P., Giampaoli, A. F. and Ducruet, V. 2002. Influence of the nature and
treatment of starch on aroma retention. Carbohydrate Polymers. 47(1): 73-82.
- Carmen, S. S., Tapia, J. C. and Robert, P. 2009. Microencapsulation by
spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). Food
Chemistry. 114: 616-622.
- Chuy, E. I., and Labuza, T. P. 1994. Caking and stickiness of dairy-base food powder as
related to glass transition. Journal of Food Science. 59(1): 43-46.

- Gadot Biochemical Industries Ltd. (2009). Marketing Information Encapsulated Citric acid. [online]. Available source. <http://www.gadotbio.com/var/124/11962-Encapsulated Citric Acid.pdf>. (accessed Aug 24, 2009)
- Greenblatt, H.C., Dombroski, M., Klisevich, W., Kirkpatrick, J., Garrison, W. and Redding, B.K. 1993. Encapsulation and controlled release of flavours and fragrances. In *encapsulation and controlled release*. Karsa, D.R. and Stephenson, R.A. (eds) The Royal Society of Chemical, Cambridge. 148-166.
- Horváth, Zs.H. and Hodúr, C. 2007. Colour of paprika powders with different moisture content. *International Agrophysics*. 21: 67-72.
- Jon, T.S. 1987. Process for encapsulating liquid acid and product. US patent no. 4713251.
- Kanthamoon, W. 2009. Properties of Bio Material and Food. [online]. Available source: http://202.44.47.77/tam/SubjectsbyWASAN/673349%20Properties%20of%20Bio%20Material%20and%20Food/lesson5_Optical%20Property.pdf (accessed Dec 29, 2009).
- Kenyon, M. M. (1995). Modified starch, maltodextrin, and corn syrup solids as wall materials for food encapsulation. In S. J. Risch & G. A. Reineccius (Eds.). *Encapsulation and controlled release of food ingredients*. ACS symposium series 590: 42-50. Washington, DC: American Chemical Society
- Kim, H.K., JO, K.S. and Moon, K.D., 1992. Hygroscopic characteristics and changes in quality attributes of composite seasoning in relation to relative humidity. *Journal of Korean Agricultural Chemical Society*. 35(3): 186-190.
- Krishnan, S. Kshirsagar, A.C. and Singhal R.S. 2005. The use of gum arabic and modified starch in the microencapsulation of food flavoring agent. *Carbohydrate Polymers*. 62: 305-315.
- Kristiansen, B., Matthey, M. and Linden, J. 1999. Citric acid biotechnology. 1st ed. Taylor & Francis Inc. Philadelphia. 1-9.
- Labuza, T.P. and Hyman, C.R. 1998. Moisture migration and control in multi-domain food. *Trend in Food Science & Technology*. 9: 47-55.
- Loksuwan, J. 2007. Characteristics of microencapsulated b-carotene formed by spray drying with modified tapioca starch, native tapioca starch and maltodextrin. *Food Hydrocolloids*. 21: 928-935.

- Madene, A., Muruek J., Joel S. and Desobry, S. 2006. Flavour encapsulation and controlled release –a review. *International Journal of Food Science and Technology*. 41: 1–21.
- Masters, K. 1991. *Spray Drying Handbook*. 5th ed. New York, Longman Scientific & Technical. 263-306.
- Montafa, K.H. 1988. Instant reconstitutable alcoholic beverages. US patent WO 89/03642.
- Osuna-Garcia, J.A., Wall, M.M. and Waddell, C.A. 1997. Natural antioxidants for preventing color loss in stored páprika. *Journal of Food Science*. 62(5): 1017-1021).
- Park, J. H. and Chang, S. K. 2007. Stability of color and antioxidant compounds in paprika (*Capsicum annuum* L.) powder during the drying and storing process. *Food Science and Biotechnology*. 16(2): 187-192.
- Priscilla, V. F., Maria, H.M. and Rocha, L. 2005. Microencapsulation of ascorbic acid in maltodextrin and capsule using spray-drying. *In* 2nd Mercosur Congress on Chemical Engineering and 4th Mercosur Congress on Process Systems Engineering. 10 p.
- Re, M.I., 1998. Microencapsulation by spray drying. *Drying Technology*. 16(6): 1195-1236.
- Reineccius, G.A. 1988. Spray-drying of food flavors. *In* S. J. Risch, & G.A. Reineccius (Eds), *Flavor encapsulation*. ACS Symposium Series. 370: 55-66. Washington, DC: American Chemical Society.
- Renata, V.T., Catherine, B. M. and Hubinger D. 2008. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart) powder produced by spray drying. *Journal of Food Engineering*. 88(3): 411-418.
- Risch, S.J. 2006. Encapsulated acid food product including same. US patent WO 2006/020076 A2.
- Rosenberg, M., Kopelman, I.J. and Talmon, Y. 1985. A scanning electron microscopy study of microencapsulation. *Journal of Food Science*. 50: 139-144.
- Rosenberg, M., Kopelman, I.J. and Talmon, Y. 1990. Factors affecting retention in spray-drying microencapsulation of volatile materials. *Journal of Agriculture Food Chemistry*. 38: 1288-1294.
- Shahidi, F. and Han, X.Q. 1993. Encapsulation of food Ingredients. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 33(6): 501-547.

- Sheu, T.Y. and Rosenberg, M. 1998. Microstructure of microcapsules consisting of whey proteins and carbohydrates. *Journal of Food Science*. 63(3): 491-494.
- Shogren, R. and Biresaw, G. 2007. Surface properties of water soluble maltodextrin, starch acetates and starch acetates/alkenylsuccinates. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 298: 170-176.
- Siew, Y. Q., Ngan, K. C., and Peter, S. 2007. The Physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing*. 46: 386-392.
- Taxi, D.C. M. A., Menezes, H. C. D. E., Santos, A. B. and Grosso, C. R. F. 2003. Study of the microencapsulation of camu-camu (*Myrciaria dubia*) juice. *Journal of Microencapsulation*. 20(4): 443-448.
- Thirathumthavorn, D., Samuhasaneetoo, S. and Chaiuar, P. 2006. Properties of low-DE maltodextrins from tapioca starch. Poster presentation in 32th Congress on Science and Technology of Thailand. 10-12 October, 2006. Queen Sirikit National Convention Center, Bangkok, Thailand.
- Todd, Jr. and Harold, P. 1991. Color-stabilized paprika pigment compositions and foods colored there with having increased resistance to oxidative color fading. United States Kalamazoo Holdings, Inc. (Kalamazoo, MI) 5059437
- Topuz, A. 2008. A novel approach for color degradation kinetics of paprika as a function of water activity. *LWT-Food Science and Technology*. 41: 1672-1677.
- Topuz, A., Feng H. and Kushad, M. 2009. The effect of drying method and storage on color characteristics of paprika. *LWT-Food Science and Technology*. 42: 1667-1673.
- Uddin, M.S., Hawlader, M.N.A. and Zhu, H.J. 2001. Microencapsulation of ascorbic acid: effect of process variables on product characteristics. *Journal of Microencapsulation*. 18(2): 199-209.
- Underriner, E.W. and Hume, I.R. 1994. *Handbook of industrial seasonings*. London : Blackie Academic & Professional. 155 p.
- Vasishtha, N. 2002. *Microencapsulation*. Southwest Research InstituteTM. San Antonio, TX.
- Vracar L.O., Aleksandra, N.T., Biserka, L.V. and Srdan, S. 2007. Influence of the heat treatment on the colour of ground pepper (*Capsicum annuum*). *APTEFF*. 38: 1-190.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์

1. วิธีการหาปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ด้วยเครื่องวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ รุ่น Thermoconstanter

- 1.1 หมุนปุ่มสวิตช์ของเครื่อง Thermoconstanter ในตำแหน่งที่ (1)
- 1.2 นำตลับพลาสติก (sample cup) ใส่สารตัวอย่าง โดยมีปริมาตร 80-90% ของตลับ
- 1.3 นำตลับตัวอย่างใส่ใน Measuring Chamber
- 1.4 ปิดฝาให้เรียบร้อย
- 1.5 ตั้งค่าอุณหภูมิที่ต้องการ เช่น ถ้าต้องการควบคุมอุณหภูมิของตัวอย่างไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส ให้ตั้งปุ่มสวิตช์บริเวณขวามือไปที่หมายเลข 190 เป็นต้น
- 1.6 จากนั้นรอจนกระทั่งอ่านอุณหภูมิได้ตามที่ตั้งไว้และค่าความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) ของอากาศที่วัดได้อยู่ในสภาวะสมดุลย์ (equilibrium) กับสารตัวอย่าง สภาวะนี้เรียกว่า Equilibrium Relative Humidity (ERH) เมื่อหารด้วย 100 จะได้ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ที่ต้องการ

2. วิธีวิเคราะห์ปริมาณความชื้นด้วยตู้อบลมร้อน (AOAC, 2000)

- 2.1 อบภาชนะที่ใช้สำหรับการหาความชื้น (moisture can) ในตู้อบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 – 3 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น (desiccator)
- 2.2 ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนมาโดยให้อยู่ในช่วง 2 – 3 กรัม ใส่ในภาชนะที่ใช้สำหรับการหาความชื้นที่ทราบน้ำหนักแล้ว
- 2.3 อบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง หรือ จนกว่าน้ำหนักตัวอย่างคงที่
- 2.4 นำตัวอย่างออกจากตู้อบ แล้วปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น หลังจากนั้นชั่งน้ำหนัก
- 2.5 คำนวณหาปริมาณความชื้นโดยน้ำหนักเปียก (wet basis) จากสูตร

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

คำนวณปริมาณความชื้นโดยน้ำหนักแห้ง (dry basis) จากสูตร

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{\text{ร้อยละความชื้นโดยน้ำหนักเปียก}}{(100 - \text{ร้อยละความชื้นโดยน้ำหนักเปียก})} \times 100$$

3. วิธีการวิเคราะห์คุณภาพด้านสีโดยใช้ Colorimeter (Hunter Lab รุ่น Color Flex)

ต่อสาย Power supply, AC adapter เข้าที่ตัวเครื่องวัดสี

หน้าจอปรากฏคำว่า “Ready to read black tile” ให้วางแผ่นมาตรฐานสีดำลงไป

Port แล้วกด Enter

หน้าจอปรากฏคำว่า “Ready to read white tile” ให้วางแผ่นมาตรฐานสีขาวลงไป

Port แล้วกด Enter

หน้าจอปรากฏค่า L^* , a^* และ b^* แล้วกด Enter อีกครั้งเพื่อให้ค่ามาตรฐานสีขาวและดูเทียบกับค่ามาตรฐาน ถ้าแต่ละค่าของ L^* , a^* และ b^* เบี่ยงเบนจากค่ามาตรฐาน $\pm 1.0\%$ ต้องทำการปรับมาตรฐานของเครื่องก่อน (calibration)

นำตัวอย่างที่จะวัดใส่ลงในถ้วยวัด (glass sample cup) ใส่ตัวอย่างสูงประมาณ 1 เซนติเมตร แล้วใช้จานแผ่นกลม (disk) วางทับแล้วหมุน 1 รอบบนตัวอย่างที่จะวัดเพื่อให้ผิวหน้าตัวอย่างเรียบ

นำถ้วยวัดวางบนที่ใส่ตัวอย่างของเครื่องวัดสีแล้วปิดฝา

กด Enter เพื่ออ่านค่าสี L^* , a^* และ b^*

4. วิธีการวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยใช้ pH-meter (รุ่น Meterlab, Radiometer) ประเทศโปแลนด์

4.1 ทำการปรับตั้งค่ามาตรฐานของเครื่อง โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน พีเอช 7.0 และ พีเอช 4.0 ตามลำดับ

4.2 เตรียมสารละลายตัวอย่าง โดยชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 5 กรัม คนด้วยแท่งแก้วทนจนสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

4.3 จุ่มหัววัด (probe) ลงในสารละลายแล้วนำมาวัดค่าโดยเครื่องพีเอชมิเตอร์ รอจนกว่าค่าตัวเลขแน่นอน อ่านค่าที่ได้

4.4 ล้างหัววัดด้วยน้ำกลั่นและซับแห้งด้วยกระดาษทิชชู

ภาคผนวก ข

ข้อมูลตารางการทดลอง

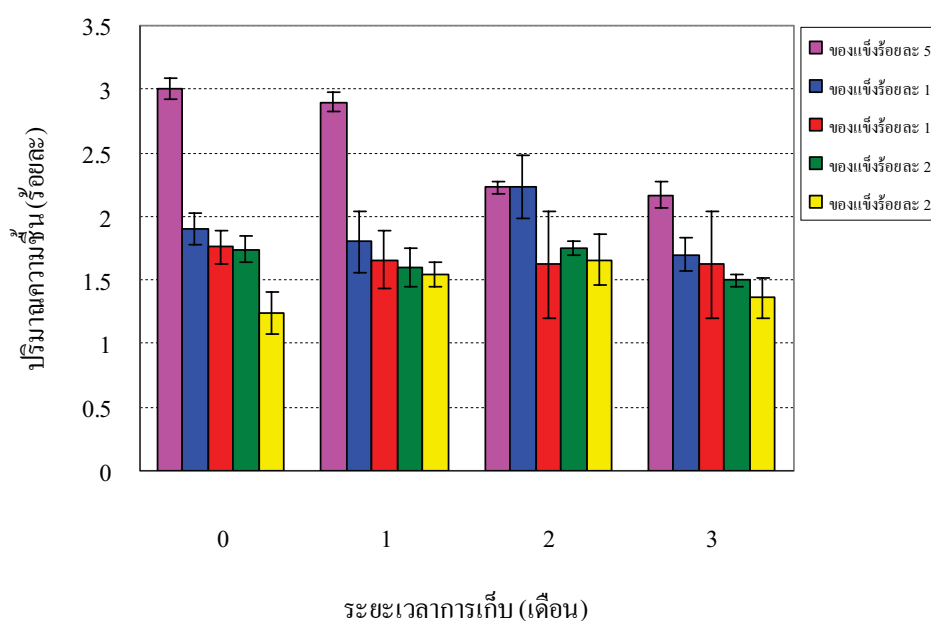
ตารางที่ 1 : เครื่องปรุงรสสูตรต้มยำ หุคควบคุม (ชุด A)

No.	Ingredients	%
1	Lime Oil	1
2	Salt medium	12
3	Paprika Extract 100,000 cu.	0.2
4	Sugar White	40.3
5	Maltodextrin	26.7
6	Citric acid monohydrate	2
7	Modified Starch	5.5
8	Kaffir Lime Powder	1
9	Lemongrass Powder	1
10	Onion Powder	3
11	Galingale Powder	1
12	Garlic Powder	3
13	Paprika powder	2
14	Chili Flake 18 mesh	1.3
Total		100

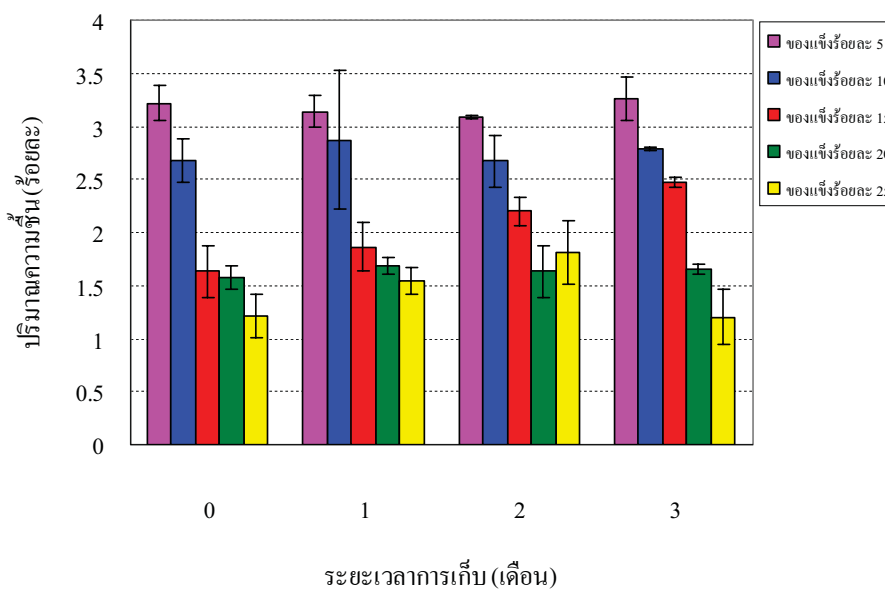
ตารางที่ 2 : เครื่องปรุงรสสูตรต้มยำ หุคทดลอง (ชุด B)

No.	Ingredients	%
1	Lime Oil	1
2	Salt medium	12
3	Paprika Extract 100,000 cu.	0.2
4	Sugar White	40.3
5	Maltodextrin	3.7
6	15% TSS Citric acid Encapsulate	25
7	Modified Starch	5.5
8	Kaffir Lime Powder	1
9	Lemongrass Powder	1
10	Onion Powder	3
11	Galingale Powder	1
12	Garlic Powder	3
13	Paprika powder	2
14	Chili Flake 18 mesh	1.3
Total		100

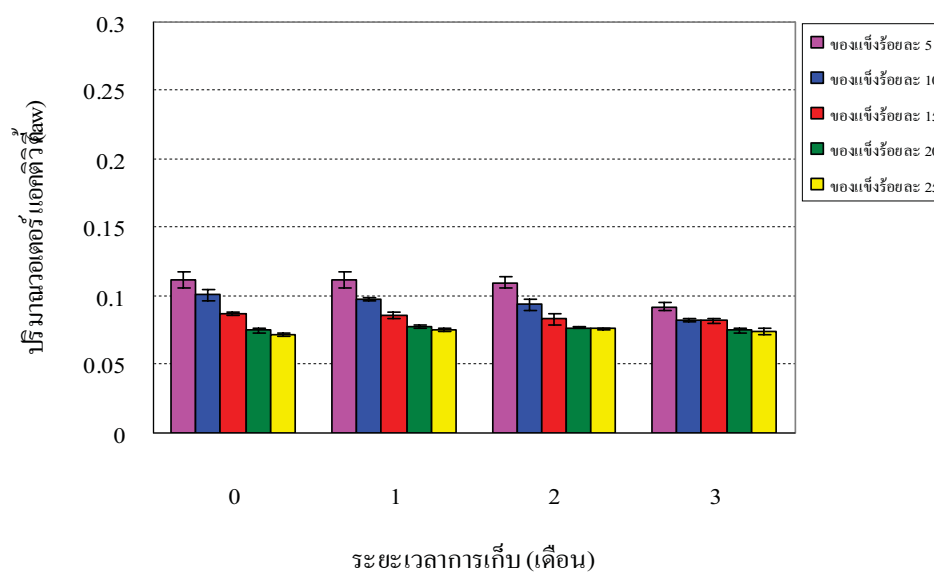
หมายเหตุ : เลือกใช้กรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลที่ระดับของแข็งร้อยละ 15 เนื่องจากเป็นเอ็นแคปซูลของกรดซิตริกที่มีประสิทธิภาพในการห่อหุ้มสูงสุด มีปริมาณกรดทั้งหมดร้อยละ 8 โดยปริมาตร และคำนวณการใช้กรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลทดแทนปริมาณกรดที่มีในสูตรเครื่องปรุงรสต้มยำ อ้างอิง เพื่อให้ได้ปริมาณกรดเท่ากัน



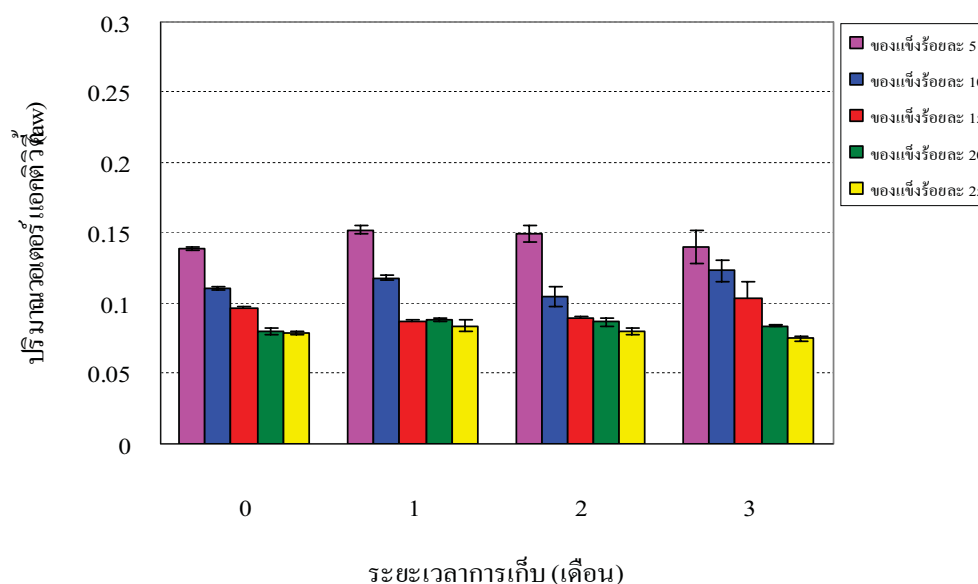
ภาพที่ 1 การเปลี่ยนแปลงของค่าความชื้นของกรดซิดริกที่ถูกเอ็นแคปซูลโดยไขมันโกลเด้นทรันเป็นสารเคลือบระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 26 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 เป็นระยะเวลา 3 เดือน



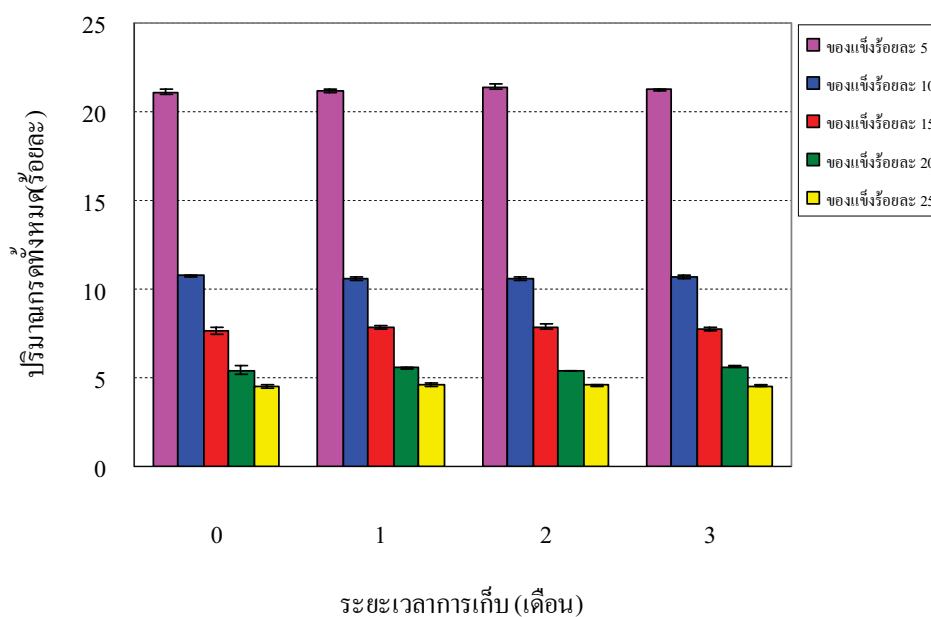
ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นของกรดซิดริกที่ถูกเอ็นแคปซูลโดยไขมันโกลเด้นทรันเป็นสารเคลือบระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 26 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 เป็นระยะเวลา 3 เดือน



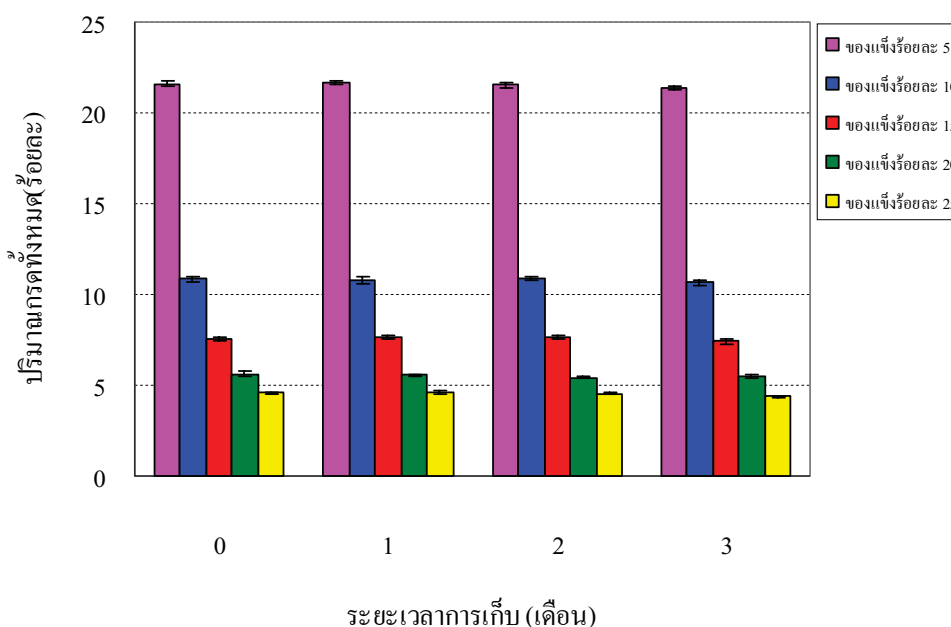
ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณวอเตอร์แอคทีวิตี้ (a_w) ของกรดซिटริกที่ถูกเอ็นแคปซูลเลทโดยใช้มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารเคลือบในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 26 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 เป็นระยะเวลา 3 เดือน



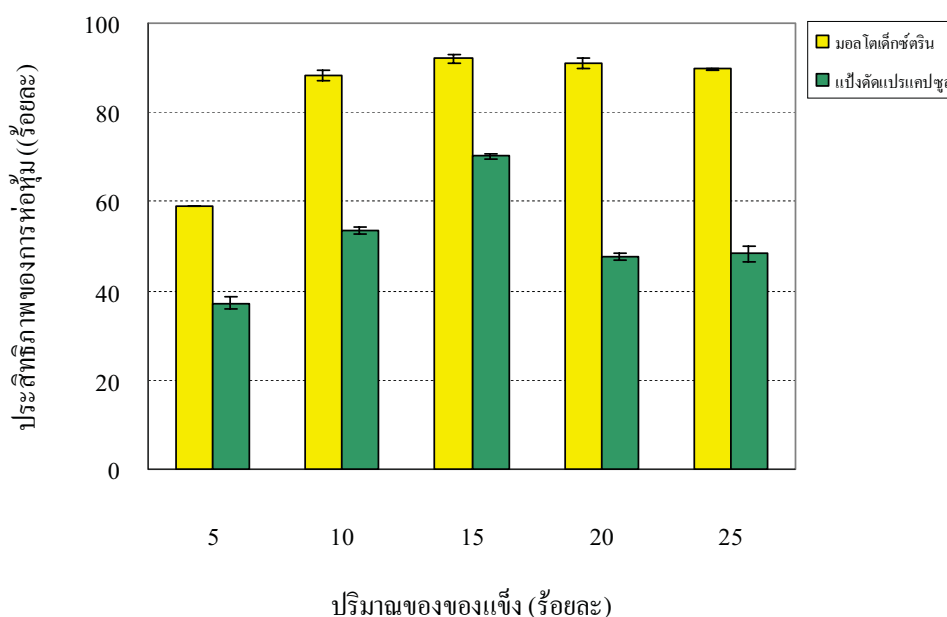
ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณวอเตอร์แอคทีวิตี้ (a_w) ของกรดซिटริกที่ถูกเอ็นแคปซูลเลทโดยใช้แป้งข้าวโพดคั่วแปรรูปเป็นสารเคลือบในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 26 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 เป็นระยะเวลา 3 เดือน



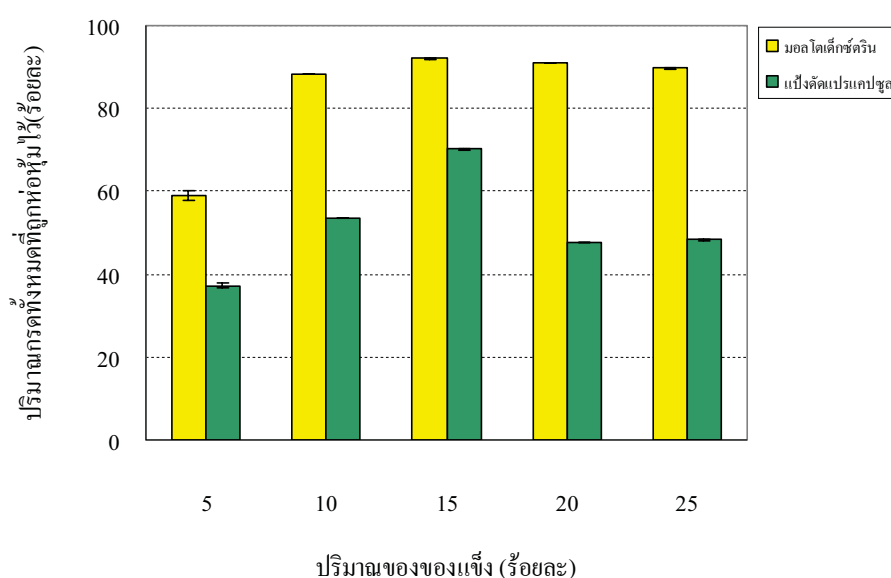
ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดทั้งหมด (total acid) ของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลเลท โดยใช้โมลโตเด็กซ์ทรินเป็นสารเคลือบในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 26 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 เป็นระยะเวลา 3 เดือน



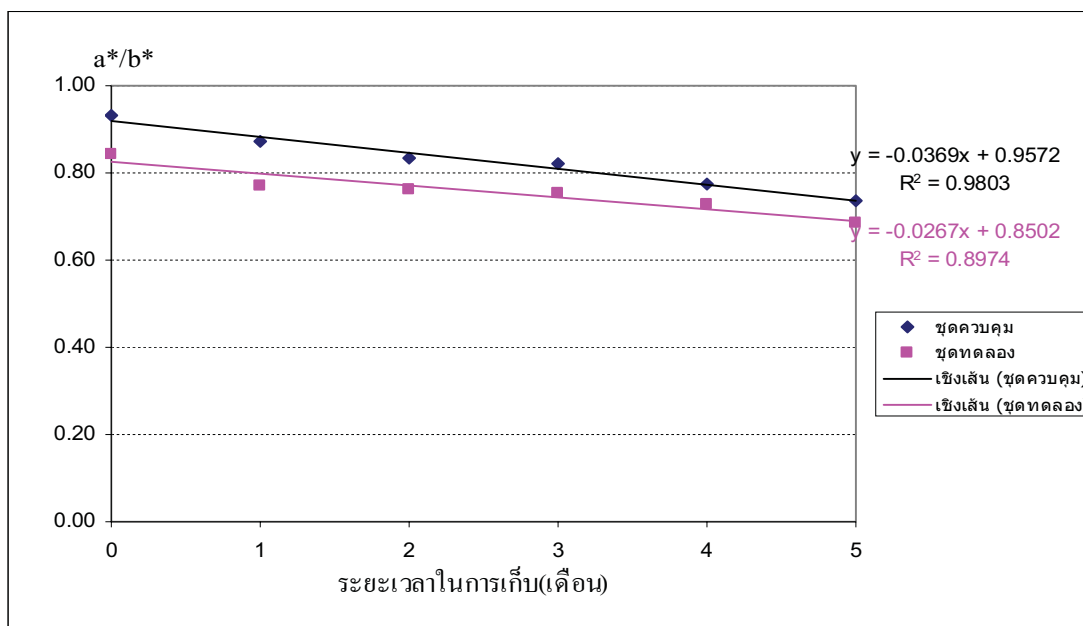
ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดทั้งหมด (total acidity) ของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลเลท โดยใช้แป้งข้าวโพดคั่วแปรแคปซูลเป็นสารเคลือบ ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 26 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65



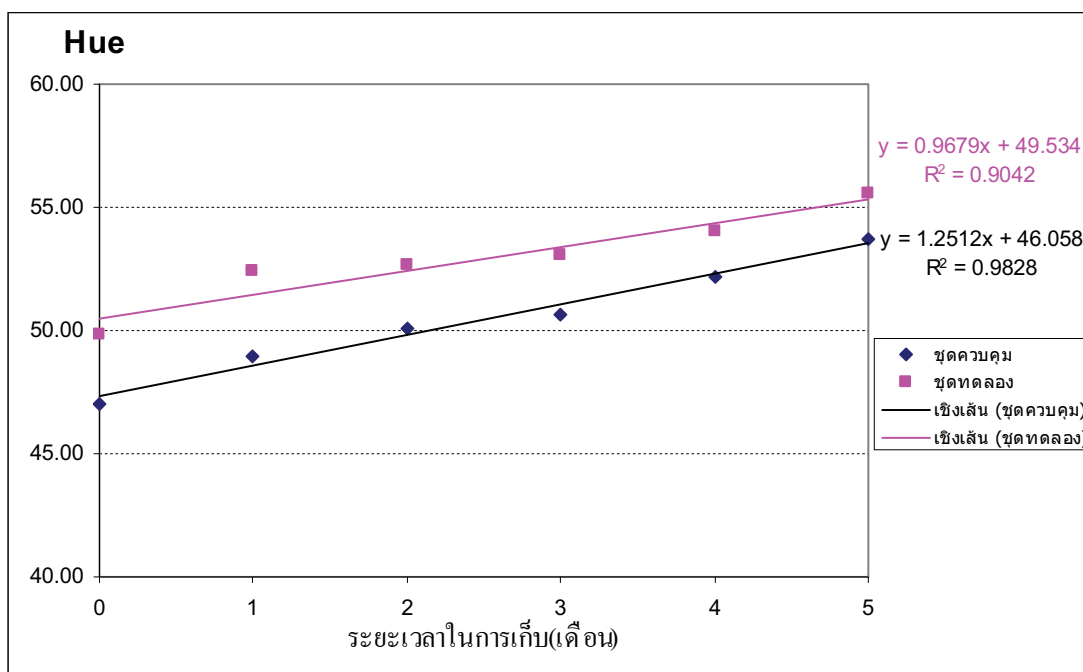
ภาพที่ 7 ประสิทธิภาพของการห่อหุ้ม (encapsulated efficiency, %EE) และปริมาณกรดทั้งหมดที่ถูกห่อหุ้มไว้ (%total acidity encapsulation, %AE) ของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลโดยใช้มอลโดเด็กซ์ตรินและแป้งข้าวโพดคัปปะ เป็นสารเคลือบ เก็บที่อุณหภูมิ 26 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65



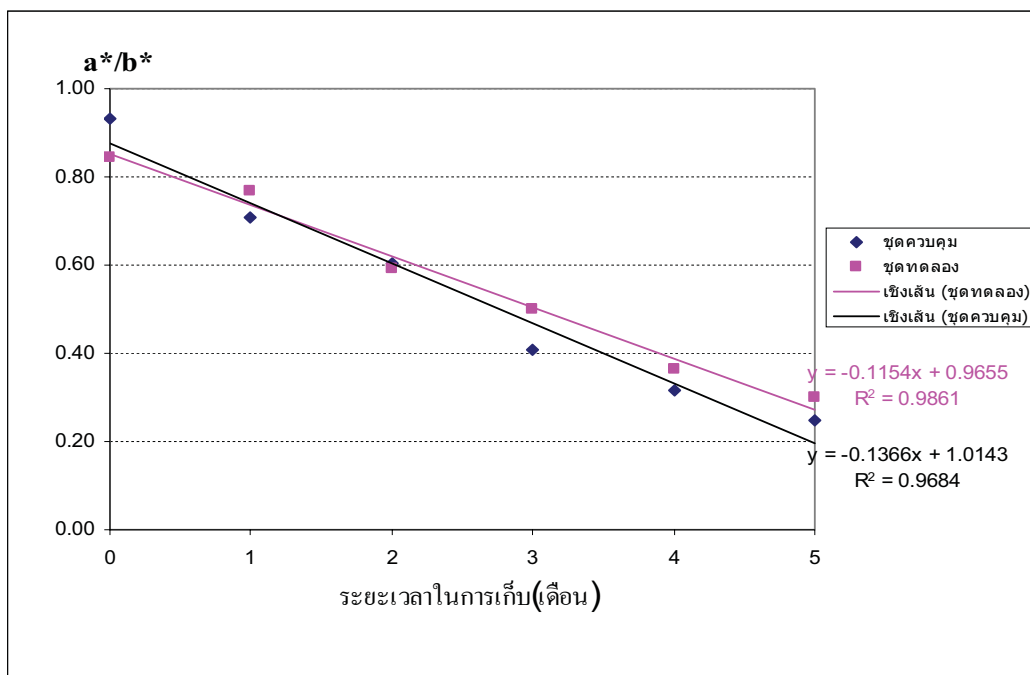
ภาพที่ 8 ปริมาณกรดทั้งหมดที่ถูกห่อหุ้ม (%total acidity encapsulation) ของกรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูลโดยใช้มอลโดเด็กซ์ตรินและแป้งข้าวโพดคัปปะเป็นสารเคลือบในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 26 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65



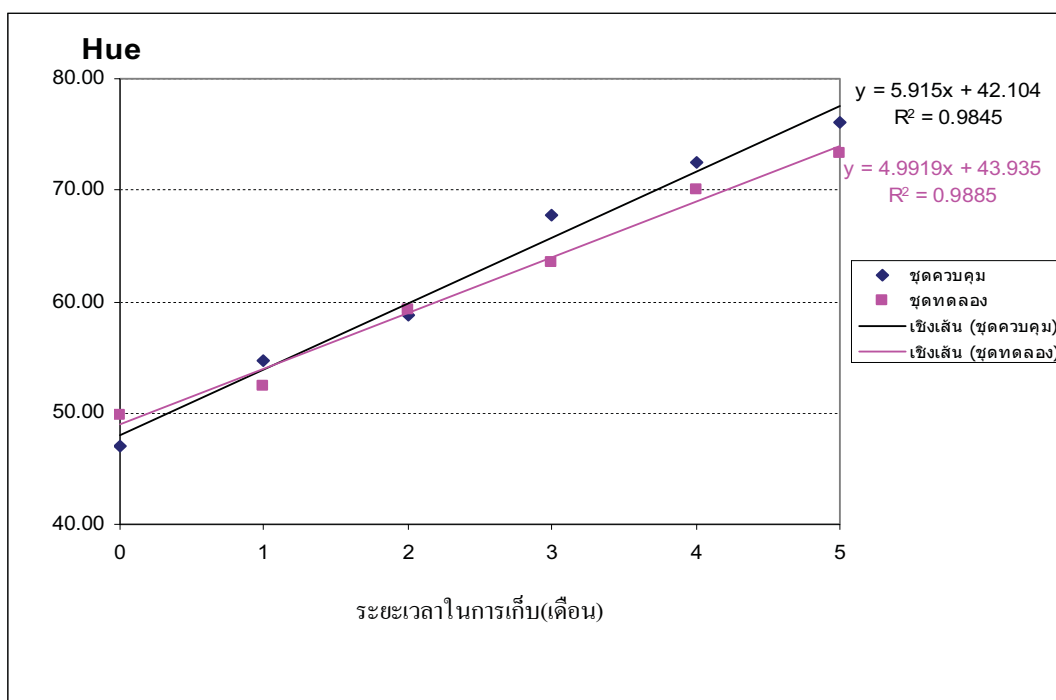
ภาพที่ 9 ค่า a^*/b^* ของสีผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงชุดควบคุมและชุดทดลอง ที่อุณหภูมิการเก็บ 25 องศาเซลเซียส เมื่ออายุการเก็บต่างกัน



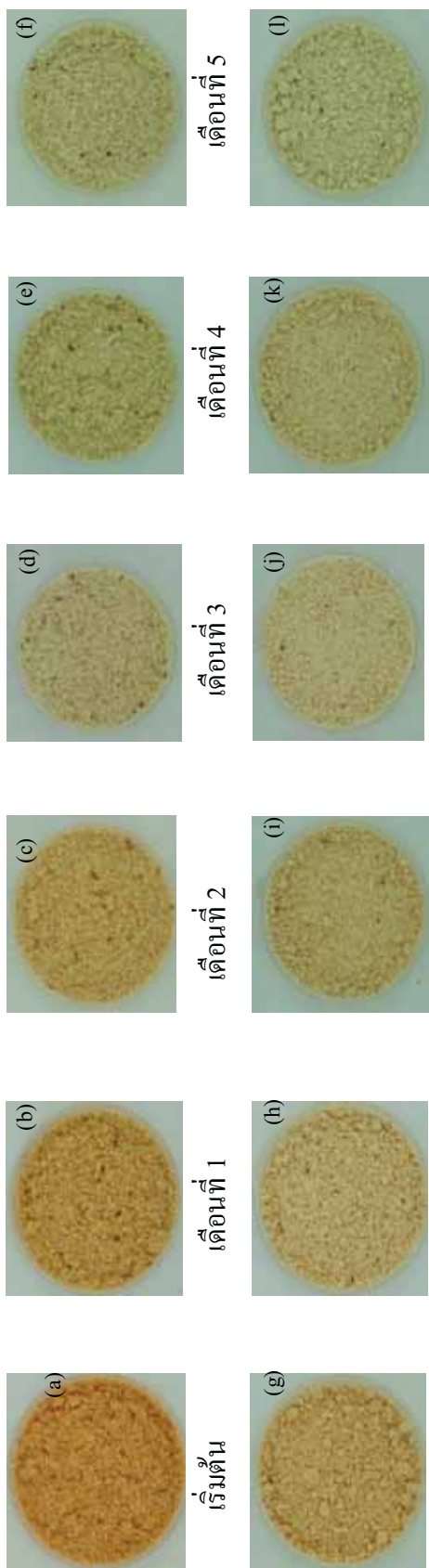
ภาพที่ 10 ค่า Hue angle ของผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงชุดควบคุมและชุดทดลอง ที่อุณหภูมิการเก็บ 25 องศาเซลเซียส เมื่ออายุการเก็บต่างกัน



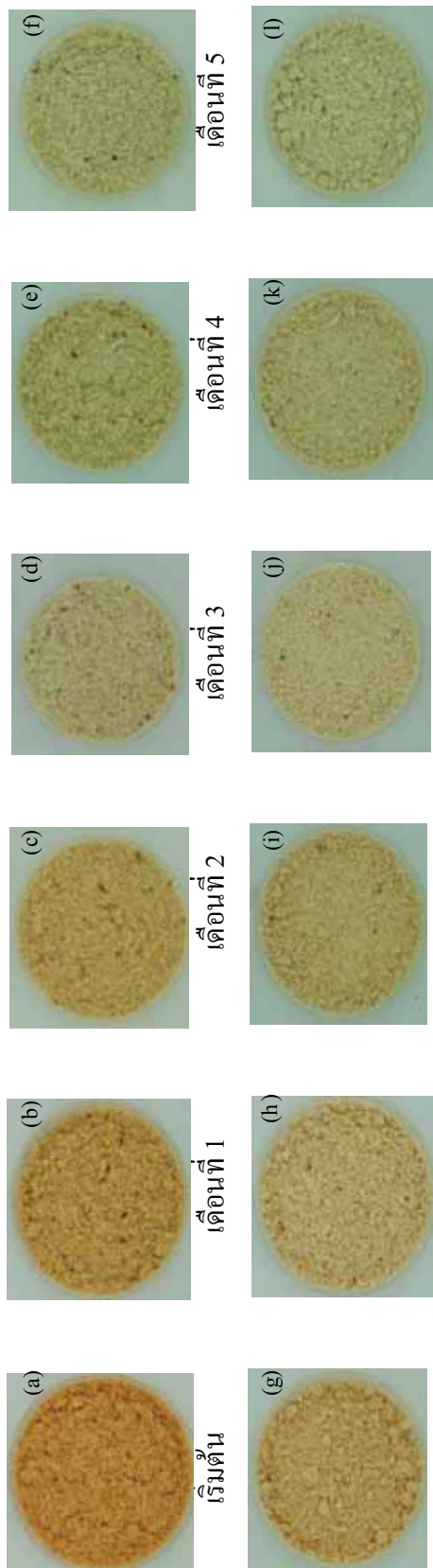
ภาพที่ 11 ค่า a^*/b^* ของสีผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางชุดควบคุม และชุดทดลอง ที่อุณหภูมิการเก็บ 45 องศาเซลเซียส เมื่ออายุการเก็บต่างกัน



ภาพที่ 12 ค่า Hue angle ของสีผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางชุดควบคุม และชุดทดลอง ที่อุณหภูมิการเก็บ 45 องศาเซลเซียส เมื่ออายุการเก็บต่างกัน



ภาพที่ 13 การเปลี่ยนแปลงของสีผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงชุดควบคุม (a)-(f) และชุดทดลอง (g)-(l) ที่อุณหภูมิการเก็บ 25 องศาเซลเซียส เมื่ออายุการเก็บต่างกัน



ภาพที่ 14 การเปลี่ยนแปลงของสีผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงชูรส (a)-(f) และชุดทดลอง (g)-(l) ที่อุณหภูมิการเก็บ 45 องศาเซลเซียส เมื่ออายุการเก็บต่างกัน

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล	นายบุญชัย พิมพ์นาค
เกิดวันที่	8 มีนาคม 2522
สถานที่เกิด	อำเภอบ้านลาด จังหวัดเพชรบุรี
ที่อยู่ปัจจุบัน	199/18 หมู่บ้านพนาสนธิ์วิลล่า ซอยจตุรมิตร 9 หมู่ 5 ตำบล บางพลีใหญ่ อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ 10540
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2545	สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
พ.ศ. 2549	ศึกษาต่อระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขา เทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยี อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2545-2546	ตำแหน่ง ผู้ช่วยวิจัย คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
พ.ศ. 2546-2550	ตำแหน่ง QA และ R&D Supervisor บริษัท หยั่น หว่อ หยุ่น (ตราเด็กสมบูรณ์) จำกัด
พ.ศ. 2550- ปัจจุบัน	ตำแหน่ง Product Development Technologist บริษัท ไทยฟู้ดส์ จำกัด