ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์การอาหาร — **สาขา**

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร — **ภาควิชา**

เรื่อง การใช้ไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตกักเก็บกลิ่นรสจากสมุนไพรโดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอยเพื่อปรับปรุงอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอก

Using Carbohydrate Based Microcapsules Encapsulated Flavor from Herbs by Spray Drying Technique to Improve Shelf Life of Pre-Germinated Brown Rice Cracker

นามผู้วิจัย นางสาวนฤชยา โพธิ์เทศ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(ศาสตราจารย์อรอนงค์ นัยวิกุล, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรรณี จิรภาคย์กุล, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนะบูลย์ สัจจาอนันตกุล, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การใช้ไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตกักเก็บกลิ่นรสจากสมุนไพรโดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอยเพื่อปรับปรุงอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอก

Using Carbohydrate Based Microcapsules Encapsulated Flavor from Herbs by Spray Drying Technique to Improve Shelf Life of Pre-Germinated Brown Rice Cracker

โดย

นางสาวนฤชยา โพธิ์เทศ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร)
พ.ศ. 2552

นฤชยา โพธิ์เทศ 2552: การใช้ไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตกักเก็บกลิ่นรสจากสมุนไพรโดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอยเพื่อปรับปรุงอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอก ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร) สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ศาสตราจารย์อรอนงค์ นัยวิกุล, Ph.D. 153 หน้า

งานวิจัยนี้คัดเลือกสมุนไพรให้กลิ่นรส (อบเชย, ชะเอมเทศ, สะระแหน่) ที่มีปริมาณสารให้ความสามารถต้านออกซิเดชันสูงที่สุด (สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระของผงสมุนไพรแต่ละชนิด) อบเชยเป็นสมุนไพรที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (81.76 มิลลิกรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้งของผงสมุนไพร 1 กรัม) และสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระ (301.66 มิลลิกรัมเทียบเท่าวิตามินซีต่อน้ำหนักแห้งของผงสมุนไพร 1 กรัม) สูงที่สุด จึงนำอบเชยมาใช้เป็นสารสำคัญในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต (สตาร์ชดัดแปร (ออกทีนิลซักซินิกแอนไฮไดรด์), มอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าในช่วง (D.E.) 8-12, และ 16-20) เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 อัตราส่วนผงอบเชยต่อสารละลายคาร์โบไฮเดรตคือ 1 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกักเก็บผงอบเชยไว้ภายในไมโครแคปซูลคือ ปริมาณสารให้ความสามารถต้านออกซิเดชัน และสารให้กลิ่นรสของผงอบเชย นำไมโครแคปซูลที่มีปริมาณผงอบเชยสูงที่สุดคลุกข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอก (ข้าวเจ้า : ข้าวเหนียวเท่ากับ 1 : 1) เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพกับข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุก และคลุกผงอบเชย และเปรียบเทียบอายุการเก็บรักษาของข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกทั้งหมดพบว่า ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 สารละลายสตาร์ชดัดแปร มีค่าความหนืดต่ำที่สุด (2.50 มิลลิปาสคาล·วินาที) เมื่อใช้เทคนิคการทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอยผลิตไมโครแคปซูลที่กักเก็บผงอบเชยมีร้อยละผลได้ (ร้อยละ 70.35) ไม่แตกต่างกับไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตชนิดอื่นที่ความเข้มข้นเดียวกัน และ ไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรเข้มข้นร้อยละ 10 มีร้อยละผงอบเชยในไมโครแคปซูลมากที่สุด (ร้อยละ 5.90) การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายคาร์โบไฮเดรตทำให้ร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูลที่กักเก็บผงอบเชยมากขึ้น แต่ทำให้ร้อยละผงอบเชยในไมโครแคปซูลลดลง สำหรับสารให้ความสามารถต้านออกซิเดชัน และสารซินนามอลดีไฮด์ของไมโครแคปซูลที่กักเก็บผงอบเชยพบว่า ไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรเข้มข้นร้อยละ 10 มีปริมาณสารประกอบ ฟีนอลิกทั้งหมด (1,424.59 มิลลิกรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูล) สารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระ (1,899.63 มิลลิกรัมเทียบเท่าวิตามินซีต่อร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูล) และสารซินนามอลดีไฮด์ (1,989.49 ppm) มากที่สุด จึงนำไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรเข้มข้นร้อยละ 10 มาคลุกข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกปรากฏว่า ผู้ทดสอบชิมยอมรับไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรที่ปริมาณร้อยละ 0.15 เมื่อเปรียบเทียบอายุการเก็บรักษาของข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกทั้งหมดเป็นเวลา 6 สัปดาห์ ที่ 30 องศาเซลเซียส พบว่า ข้าวเกรียบคลุกไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาณร้อยละ 0.15 มีแนวโน้มการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะคู่ และพันธะสามระหว่างการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (6 สัปดาห์) ช้ากว่าตัวอย่างอื่น (4 สัปดาห์) สรุปผลการทดลองครั้งนี้คือ การใช้ไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรเข้มข้นร้อยละ 10 กักเก็บผงอบเชย 1 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร คลุกข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอก (ข้าวเจ้า : ข้าวเหนียวเท่ากับ 1 : 1) เก็บรักษาได้อย่างน้อย 6 สัปดาห์

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Naritchaya Potes 2009: Using Carbohydrate Based Microcapsules Encapsulated Flavor from Herbs by Spray Drying Technique to Improve Shelf Life of Pre-Germinated Brown Rice Cracker. Master of Science (Food Science), Major Field: Food Science, Department of Food Science and Technology. Thesis Advisor: Professor Onanong Naivikul, Ph.D. 153 pages.

Herbs (cinnamon, licorice, and spearmint) with high antioxidant activity substances (total phenols and DPPH assays) were chosen for this study. Cinnamon exhibited the highest total phenol contents (81.76 mg GAE/ 1 g of dried herb) and DPPH radical scavenging activity (301.66 mg VCEAC/ 1 g of dried herb). Ground cinnamon was chosen to be core in carbohydrate-based microcapsules (a modified tapioca starch (octenyl succinic anhydride), maltodextrins with D.E.8-12, and 16-20). Each encapsulant solution was prepared at three solid contents, i.e., 10%, 20%, and 30% (w/w). Ground cinnamon was suspended in carrier solutions at a constant ratio of cinnamon (1 g) and encapsulant solutions (100 mL). Carbohydrate-based microcapsules were compared encapsulation efficiency, its was the highest antioxidant activity substances and flavor of cinnamon. The effective microcapsules were chosen to coat on pre-germinated brown rice cracker (ratio of normal rice : waxy rice was 1 : 1) for comparison quality of cracker uncoated, coated with ground cinnamon, and coated with encapsulated cinnamon powder. Then all samples of pre-germinated brown rice cracker were determined shelf life study. The 10% modified-starch exhibited the lowest viscosity (2.50 mPa·s). Encapsulated cinnamon microcapsules had produced by spray drying technique. The 10% modified-starch microcapsules gave similar yields (70.35%) with other spray dried powders at the same concentration and the 10% modified-starch solution gave the highest cinnamon solids content (5.90%) in the encapsulated cinnamon microcapsule. Increased solution concentrations of carbohydrate-based microcapsules gave higher yields of the spray dried powders, however, the amount of the encapsulated cinnamon decreased. For antioxidant activity substances and cinnamaldehyde in encapsulated cinnamon carbohydrate-based microcapsule showed that the 10% modified-starch exhibited the highest total phenol contents (1,424.59 mg GAE/yield of spray dried powder) DPPH radical scavenging activity (1,899.63 mg VCEAC/yield of spray dried powder) and cinnamaldehyde (1,989.49 ppm). Then pre-germinated brown rice crackers were coated with 10% modified starch microcapsule. This was found to be 0.15% in modified-starch microcapsule by a sensory test using a consumer panel. In shelf life studies, all pre-germinated brown rice crackers were stored at 30°C for 6 weeks. Crackers coated with 0.15% of cinnamon powder encapsulated in 10% modified-starch had the highest conjugated dienes and trienes (6 weeks of storage) slower than other samples (4 weeks of storage). The conclusion of this study was using the 10% modified-starch microcapsule encapsulated cinnamon powder 1 g and 100 mL to coat pre-germinated brown rice crackers (ratio of normal rice : waxy rice was 1 : 1). Crackers can be stored in at least 6 weeks.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. อรอนงค์ นัยวิกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรรณี จิรภาคย์กุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา และคำแนะนำในส่วนการเรียน การดำเนินงานวิจัย รวมทั้งตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณ ดร. ศศิธร ตรงจิตภักดี ประธานกรรมการในการสอบปกป้อง และ ดร.ธนจันทร์ มหาวนิช อาจารย์ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย จากภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา และแนวทางแก้ไขทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ให้การอบรมสั่งสอนข้าพเจ้ามาจนถึงปัจจุบัน ขอขอบพระคุณ บริษัท สยาม มอดิฟาย สตาร์ช จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์มอลโทเดกซ์ทริน และสตาร์ชดัดแปร ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร เจ้าหน้าที่คณะอุตสาหกรรมเกษตร ที่ให้คำแนะนำ ความรู้ และวิธีการใช้เครื่องมือในการทำวิจัย ขอขอบคุณพี่ เพื่อน และน้อง ๆ ปริญญาโท และเอก ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้การอบรมเลี้ยงดู ความรัก ความห่วงใย ให้การสนับสนุนการศึกษา ตลอดจนการเดินทางรับ-ส่งระหว่างบ้านกับมหาวิทยาลัย จนสำเร็จการศึกษา และขอขอบคุณพี่สาวที่คอยดูแล ห่วงใย และเป็นกำลังใจให้กันมาโดยตลอด สุดท้ายนี้คุณค่าของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบแด่ คุณพ่อ คุณแม่ อาจารย์ ญาติสนิทมิตรสหาย และผู้มีพระคุณทุกท่าน

นฤชยา โพธิ์เทศ

มีนาคม 2552

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(8)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	31
อุปกรณ์	31
วิธีการ	35
ผลและวิจารณ์	50
สรุปและข้อเสนอแนะ	110
สรุป	110
ข้อเสนอแนะ	113
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	114
ภาคผนวก	126
ภาคผนวก ก การตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของสมุนไพร และสมบัติของคาร์โบไฮเดรต 3 ชนิด	127
ภาคผนวก ข กราฟมาตรฐาน และการหาระดับความยาวคลื่นที่เหมาะสมในการตรวจสอบสารมาตรฐานซินนามอลดีไฮด์	134
ภาคผนวก ค การตรวจสอบคุณภาพไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย	140
ภาคผนวก ง การตรวจสอบคุณภาพข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอก	142
ภาคผนวก จ การวิเคราะห์ทางสถิติ	144
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	153

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	กลุ่มของสารแกน หรือสารสำคัญที่นิยมใช้ในกระบวนการเอนแคปซูเลชันในอุตสาหกรรมอาหาร	20
2	กลุ่มของสารเอนแคปซูลที่นิยมใช้ในกระบวนการเอนแคปซูเลชันในอุตสาหกรรมอาหาร	20
3	องค์ประกอบทางเคมีของสมุนไพร 3 ชนิด	51
4	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถจับอนุมูลอิสระของสารสกัดจากสมุนไพร 3 ชนิด	53
5	ปริมาณความชื้น และค่าความเป็นกรด-เบสของคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด	56
6	ค่าความหนืดของสารละลายคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30	57
7	ปริมาณจุลินทรีย์ในคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด	59
8	ร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่กักเก็บผงอบเชย	61
9	ปริมาณความชื้นของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่กักเก็บผงอบเชย	62
10	ร้อยละผงอบเชยในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30	64
11	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากผงอบเชยในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30	81
12	ปริมาณสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระจากผงอบเชยในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30	83
13	ปริมาณสารซินนามอลดีไฮด์จากผงอบเชยในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30	85

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
14	คุณภาพของข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชย	88
15	คะแนนความชอบจากการทดสอบชิมข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชย คลุกไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร และมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยปริมาณร้อยละ 0.30, 0.50, และ 0.70	90
16	คะแนนความชอบจากการทดสอบชิมข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชย คลุกไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร และมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยปริมาณร้อยละ 0.15 และ 0.30	92
17	ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี ค่าสี (L, a, และ b) ร้อยละการเกาะติด และค่าความแข็งของข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุก คลุกผงอบเชย และคลุกไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร และมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยปริมาณร้อยละ 0.15	95
18	ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของข้าวเกรียบข้าวกล้องเริ่มงอกสูตรต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในช่วง 6 สัปดาห์	99
19	แนวโน้มการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะคู่ระหว่างการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกสูตรต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในช่วง 6 สัปดาห์	104
20	แนวโน้มการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะสามระหว่างการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกสูตรต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในช่วง 6 สัปดาห์	106

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
จ1	องค์ประกอบทางเคมีของสมุนไพร 3 ชนิด	145
จ2	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดจากสมุนไพร 3 ชนิด	146
จ3	ปริมาณสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระของสารสกัดจากสมุนไพร 3 ชนิด	146
จ4	ปริมาณความชื้นของคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด	146
จ5	ค่าความหนืดของสารละลายคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30	147
จ6	ร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่กักเก็บผงอบเชย	147
จ7	ปริมาณความชื้นของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่กักเก็บผงอบเชย	148
จ8	ร้อยละผงอบเชยในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30	149
จ9	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากผงอบเชยในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30	150
จ10	ปริมาณสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระจากผงอบเชยในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30	151
จ11	ปริมาณสารซินนามอลดีไฮด์จากผงอบเชยในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30	152

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของอบเชย (*Cinnamomum zeylanicum*)	6
2	โครงสร้างทางเคมีของสารให้กลิ่นรสในเปลือกอบเชย	7
3	ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของชะเอมเทศ (*Glacyrrhiza glabra* L.)	10
4	โครงสร้างทางเคมีของสารที่พบในชะเอมเทศ	11
5	ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของสะระแหน่ (*Mentha spicata* L.)	13
6	โครงสร้างทางเคมีของสารให้กลิ่นรสในสะระแหน่	14
7	ลักษณะไมโครแคปซูลที่ได้จากเทคนิคการทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอย	18
8	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวอเตอร์แอกทิวิตี อัตราการเกิดปฏิกิริยาทั้งทางเคมี ฟิสิกส์ จุลินทรีย์ และปริมาณความชื้นในอาหาร	26
9	วิธีผลิตไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่กักเก็บผงสมุนไพร	38
10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดของสารละลายคาร์โบไฮเดรต และร้อยละผงอบเชยในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30	66
11	ลักษณะไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต เข้มข้นร้อยละ 10 ที่มีปริมาณอบเชยคิดเป็นสัดส่วน 1 กรัม ต่อสารละลายคาร์โบไฮเดรต 100 มิลลิลิตร ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดลำแสง	67
12	ลักษณะไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต เข้มข้นร้อยละ 20 ที่มีปริมาณอบเชยคิดเป็นสัดส่วน 1 กรัม ต่อสารละลายคาร์โบไฮเดรต 100 มิลลิลิตร ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดลำแสง	68
13	ลักษณะไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต เข้มข้นร้อยละ 30 ที่มีปริมาณอบเชยคิดเป็นสัดส่วน 1 กรัม ต่อสารละลายคาร์โบไฮเดรต 100 มิลลิลิตร ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดลำแสง	69

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

14 ลักษณะไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่มีปริมาณอบเชยคิดเป็นสัดส่วน 1 กรัม ต่อสารละลายคาร์โบไฮเดรต 100 มิลลิลิตร ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดลำแสง 70

15 ขนาดไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรเข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่มีปริมาณอบเชยคิดเป็นสัดส่วน 1 กรัม ต่อสารละลายคาร์โบไฮเดรต 100 มิลลิลิตร 73

16 ขนาดไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12 เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่มีปริมาณอบเชยคิดเป็นสัดส่วน 1 กรัม ต่อสารละลายคาร์โบไฮเดรต 100 มิลลิลิตร 74

17 ขนาดไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่มีปริมาณอบเชยคิดเป็นสัดส่วน 1 กรัม ต่อสารละลายคาร์โบไฮเดรต 100 มิลลิลิตร 75

18 ขนาดไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด เข้มข้นร้อยละ 10 ที่มีปริมาณอบเชยคิดเป็นสัดส่วน 1 กรัม ต่อสารละลายคาร์โบไฮเดรต 100 มิลลิลิตร 77

19 ขนาดไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด เข้มข้นร้อยละ 20 ที่มีปริมาณอบเชยคิดเป็นสัดส่วน 1 กรัม ต่อสารละลายคาร์โบไฮเดรต 100 มิลลิลิตร 78

20 ขนาดไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด เข้มข้นร้อยละ 30 ที่มีปริมาณอบเชยคิดเป็นสัดส่วน 1 กรัม ต่อสารละลายคาร์โบไฮเดรต 100 มิลลิลิตร 79

ภาพผนวกที่

ข1 กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกสำหรับการวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดจากผงสมุนไพร โดยใช้วิธี Total phenols assay 135

ข2 กราฟมาตรฐานของวิตามินซีสำหรับการวัดปริมาณสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระของสารสกัดจากผงสมุนไพร โดยใช้วิธี DPPH assay 136

ข3 กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกสำหรับการวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย โดยใช้วิธี Total phenols assay 136

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ข4	กราฟมาตรฐานของวิตามินซีสำหรับการวัดปริมาณสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย โดยใช้วิธี DPPH assay	137
ข5	กราฟแสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานซินนามอลดีไฮด์ เข้มข้น 2, 4, 6, 8, และ 10 ppm ในช่วงความยาวคลื่น 200 ถึง 400 นาโนเมตร	138
ข6	กราฟมาตรฐานของสารซินนามอลดีไฮด์	139

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

CLSM	=	Confocal laser scanning microscope
D.E.	=	Dextrose equivalent หรือค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่า
DPPH	=	1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl
GAE	=	Gallic acid equivalent หรือเทียบเท่ากรดแกลลิก
mPa·s	=	มิลลิปาสคาล·วินาที
VCEAC	=	Vitamin C equivalent antioxidant capacity หรือความสามารถจับอนุมูลอิสระเทียบเท่าวิตามินซี

การใช้ไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตกักเก็บกลิ่นรสจากสมุนไพรโดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอยเพื่อปรับปรุงอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอก

Using Carbohydrate Based Microcapsules Encapsulated Flavor from Herbs by Spray Drying Technique to Improve Shelf Life of Pre-Germinated Brown Rice Cracker

คำนำ

สมุนไพรได้รับความนิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายทั้งใน และต่างประเทศ เนื่องจากคุณสมบัติของสมุนไพรที่ช่วยป้องกัน และลดความเสี่ยงในการเกิดโรคต่าง ๆ เช่น โรคมะเร็ง, โรคหลอดเลือดหัวใจ, ข้ออักเสบ เป็นต้น (Craig, 1997; Buhler and Miranda, 2000 ; Park and Pessuto, 2002; Schoene *et al.*, 2005) ซึ่งในสมุนไพรประกอบด้วยสารให้ความสามารถต้านออกซิเดชัน หรือต้านอนุมูลอิสระชนิดต่าง ๆ เช่น วิตามินซี, สารประกอบฟีนอลิก, ฟลาโวนอยด์ เป็นต้น สารเหล่านี้เป็นสารที่ทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระ ป้องกันไม่ให้อนุมูลอิสระทำปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุลต่าง ๆ ที่จะก่อผลเสียแก่ร่างกาย (มลศิริ, 2545) และสารให้ความสามารถต้านออกซิเดชันยังทำหน้าที่เป็นสารกันหืนในอาหาร (Chipault *et al.*, 1952; Shobana and Naidu, 2000; Dang *et al.*, 2001; Shan *et al.*, 2005)

กระบวนการเอนแคปซูเลชันได้รับความนิยมในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น เครื่องสำอาง, ยา, เครื่องดื่ม, อาหารเสริมสุขภาพ, และอาหาร เป็นต้น เป็นกระบวนการกักเก็บสารสำคัญไว้ในโครงสร้างไมโครแคปซูล ช่วยเก็บรักษาองค์ประกอบ และสารสำคัญให้คงอยู่ หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษา เพื่อให้ผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (วิภา, 2547; Dziezak, 1988; Risch, 1995) ในประเทศไทยมีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการนำกระบวนการเอนแคปซูเลชันมาใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหารไม่แพร่หลายนัก ซึ่งในต่างประเทศ กระบวนการเอนแคปซูเลชันได้รับความสนใจ และมีผู้วิจัยเกี่ยวกับเทคนิคต่าง ๆ ในกระบวนการเอนแคปซูเลชันเป็นจำนวนมาก เนื่องจากเป็นกระบวนการที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้กว้างขวาง ประกอบกับในปัจจุบันประเทศไทยมีการนำ

สมุนไพรมาใช้ในการปรุงอาหารเป็นจำนวนมาก แต่ใช้ในระดับอุตสาหรรมอาหารค่อนข้างน้อย อาจเนื่องจากความร้อนที่ใช้ในระหว่างกระบวนการผลิตอาหารทำให้คุณสมบัติของสมุนไพรเปลี่ยนไป (Nisha *et al.*, 2009)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์คัดเลือกสมุนไพร 3 ชนิด ให้กลิ่นรสที่มีสารให้ความสามารถต้านออกซิเดชันสูงที่สุดเพื่อใช้ในกระบวนการเอนแคปซูเลชัน โดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอยผลิตไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต 3 ชนิด เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 เพื่อเปรียบเทียบการกักเก็บผงสมุนไพรที่มีสารให้ความสามารถต้านออกซิเดชัน และสารให้กลิ่นรสสูงที่สุด แล้วนำไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่มีปริมาณผงสมุนไพรสูงที่สุดมาคลุกผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอก โดยเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมี ฟิสิกส์ และประสาทสัมผัสกับข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุก และคลุกผงสมุนไพร และเปรียบเทียบอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุก คลุกผงสมุนไพร และคลุกไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตในปริมาณที่ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัส

วัตถุประสงค์

1. คัดเลือกสมุนไพรให้กลิ่นรส 3 ชนิดคือ อบเชย ชะเอมเทศ และสะระแหน่ ที่มีสารให้ความสามารถต้านออกซิเดชันสูงที่สุด

2. เปรียบเทียบชนิดของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต คือ สตาร์ชดัดแปร มอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12 และ 16 ถึง 20 เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ในการกักเก็บผงสมุนไพรที่มีปริมาณสารให้ความสามารถต้านออกซิเดชัน และสารให้กลิ่นรสสูงที่สุด โดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอย

3. ใช้ไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่ผ่านการคัดเลือกจากวัตถุประสงค์ที่ 2 เพื่อคลุกข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอก โดยเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมี ฟิสิกส์ และประสาทสัมผัสกับข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุก และคลุกผงสมุนไพร

4. เปรียบเทียบอายุการเก็บรักษาของข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุก คลุกผงสมุนไพร และคลุกไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงสมุนไพรซึ่งได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสจากวัตถุประสงค์ที่ 3

การตรวจเอกสาร

สมุนไพร

สมุนไพร หมายถึง ผลิตผลธรรมชาติ ได้จากพืช สัตว์ และแร่ธาตุ ที่ใช้เป็นยา หรือผสมกับสารอื่นตามตำรับยา เพื่อบำบัดโรค บำรุงร่างกาย หรือใช้เป็นยาพิษ (ราชบัณฑิตยสถาน, 2546) เครื่องเทศ หมายถึง ของหอมฉุน และเผ็ดร้อนที่ได้มาจากพืช โดยมากมาจากต่างประเทศ สำหรับใช้ทำยาไทย และปรุงอาหาร (ราชบัณฑิตยสถาน, 2546) โดยทั่วไปเครื่องเทศมีน้ำมันหอมระเหยประมาณร้อยละ 60 ถึง 80 ของปริมาณน้ำมันทั้งหมด สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ และช่วยกระตุ้นระบบย่อยอาหารให้ทำงานเป็นปกติ (สุพจน์, 2543) ผัก ผลไม้บางชนิดยังจัดว่าเป็นพืชสมุนไพรด้วย เช่น กระชาย, ขิ้นฉ่าย, แตงกวา, แตงโม, ทับทิม, ฝรั่ง, ฟักทอง, มะเขือเทศ, มะละกอ, สับปะรด เป็นต้น (นิจศิริ และพยอม, 2534; พิสุทธิพร, 2550)

1. ประโยชน์ของสมุนไพร

การแพทย์ และเภสัชกรรมไทยในอดีตแบ่งคุณสมบัติของสมุนไพรตามรสชาติ แยกได้เป็น 9 รส คือ รสหวานช่วยให้กระชุ่มกระชวย และเป็นยาบำรุง, รสฝาดแก้โรคบิด รสขมแก้อาการผิดปกติในโลหิตของสตรี, รสเมาแก้พิษเสมหะ และโลหิต, รสเผ็ดร้อนแก้โรคลมชนิดต่าง ๆ และบำรุงธาตุ, รสหอมเย็นบำรุงหัวใจ, รสมันแก้โรคไขข้อ และเส้นเอ็น, รสเปรี้ยวขับเสมหะ, และรสเค็มใช้ทาภายนอกแก้โรคกลากเกลื้อน สาเหตุที่ต้องแยกคุณสมบัติสมุนไพรด้วยรสชาติ เนื่องจากเป็นการควบคุมสรรพคุณ และวิธีรักษาให้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (พิสุทธิพร, 2550)

ชนิดของสมุนไพรที่นำมาใช้เป็นอาหารโดยตรง เช่น กล้วย, ตำลึง, น้อยหน่า, มะเขือเทศ, สับปะรด เป็นต้น เป็นส่วนผสมในอาหาร เช่น กระวาน, กานพลู, พริกไทย, ตะไคร้, อบเชย เป็นต้น ใช้ปรุงแต่งกลิ่นอาหาร เช่น กระวาน, กานพลู, ขิง, ชะเอมเทศ, ตะไคร้, ลูกจันทน์เทศ, โหระพา, อบเชย เป็นต้น ใช้ปรุงแต่งรสชาติอาหาร เช่น กะเพรา, พริกไทยดำ, ยี่หร่า เป็นต้น ใช้ปรุงแต่งสีในอาหาร เช่น กระเจี๊ยบ, ขมิ้น, คำฝอย, หญ้าฝรั่น เป็นต้น (รุ่งรัตน์, 2540) สมุนไพรส่วนใหญ่มีสารให้ความสามารถต้านออกซิเดชัน (Farrell, 1990; Raghavan, 2007) เช่น วิตามินซี, สารประกอบในกลุ่มฟีนอลิก, สารประกอบในกลุ่มฟลาโวนอยด์, สารประกอบในกลุ่มซาโปนิน เป็นต้น (Jadhav *et*

al., 1995) และสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ ช่วยป้องกันการเสื่อมเสียของอาหารได้ (Farrell, 1990; Raghavan, 2007)

ปัจจุบันผู้ผลิตผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ และผิวพรรณคำนึงถึงสรรพคุณของสมุนไพร ใช้สารสกัดสมุนไพรเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องดื่ม อาหารเสริมสุขภาพ เครื่องสำอาง เครื่องหอม เป็นที่ยอมรับจากผู้บริโภคทั้งในประเทศ และต่างประเทศ เช่น ขมิ้นมีสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่ทำให้เกิดสิว หรือผิวหนังอักเสบ, มะเขือเทศมีสารช่วยสมาน และชะลอการเหี่ยวย่นของผิว, ว่านหางจระเข้มีสารช่วยบรรเทาอาการอักเสบ และลบรอยแผลเป็น เป็นต้น (พิสุทธิพร, 2550)

2. ชนิดสมุนไพร

2.1 อบเชย

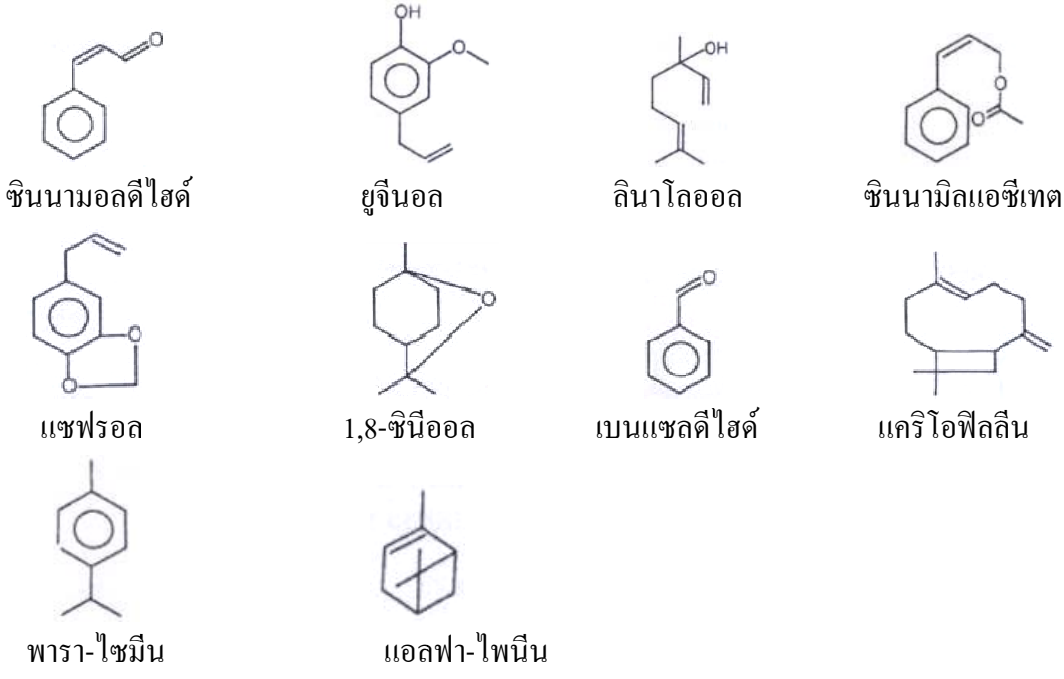
อบเชยเป็นทั้งพืชสมุนไพร และเครื่องเทศ มีชื่อท้องถิ่นคือ อบเชยต้น มหาปราบ (ภาคกลาง), กระดังงา (กาญจนบุรี), ฝักดาบ (พิษณุโลก), สุรามิด (สุโขทัย), บอกคอก (ลำปาง), พญาปราบ (นครราชสีมา), กระแจะโมง โมงหอม (ชลบุรี), สะวง (ปราจีนบุรี), กระเจียด เจียดกระทังหัน (ยะลา) ชื่อสามัญคือ Ceylon cinnamon หรือ true cinnamon หรือ canella คำว่า cinnamon มาจากภาษากรีกคือ kinamon ชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Cinnamomum zeylanicum*, *Cinnamomum verum* J.Presl อยู่ในวงศ์ Lauraceae ประเทศศรีลังกาเป็นแหล่งผลิต และส่งออกอบเชยที่ใหญ่ที่สุดในโลก อบเชยเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางไม่ผลัดใบ สูง 20 ถึง 25 เมตร กิ่งอ่อนมีขนสั้น ๆ เปลือกต้น และใบมีกลิ่นหอม ใบเป็นใบเดี่ยว รูปไข่ ออกตรงกันข้าม กว้าง 4.5 ถึง 5.5 เซนติเมตร ยาว 11 ถึง 16 เซนติเมตร ปลายใบมน โคนใบแหลม ขอบเรียบ ด้านบนเป็นร่อง มีเส้นใย 3 เส้นเห็นได้ชัดเจน ดอกออกเป็นช่อบริเวณปลายกิ่ง และตามซอกใบ ยาว 10 ถึง 12 เซนติเมตร ดอกตูมรูปไข่สีเหลือง มีขนาดเล็ก มีกลิ่นหอม ยาว 2 ถึง 2.5 มิลลิเมตร ด้านนอกมีขนหนาแน่น ด้านในมีขนแน่นเป็นมัน ผลเป็นรูปไข่ มีเปลือกนิ่มสีดำ ยาว 8 ถึง 14 มิลลิเมตร มีสันนูน 12 สัน ระหว่างสันเป็นร่อง ส่วนที่นำมาใช้คือเปลือกชั้นในของกิ่งอ่อน หรือต้นอ่อนที่ผ่านการทำแห้ง มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 14 สีน้ำตาลแดงเข้ม หนาไม่เกิน 0.5 มิลลิเมตร มีน้ำมันหอมระเหยประมาณร้อยละ 0.5 ถึง 2 มีสีน้ำตาลอมเหลืองจนถึงน้ำตาล เมื่อเก็บไว้นานน้ำมันจะมีสีเข้มขึ้น สารที่พบในเปลือกอบเชยคือ ซินนามิกแอลดีไฮด์ (cinnamic aldehyde) หรือทรานส์-ซินนามอลดีไฮด์ (trans-cinnamaldehyde) มีปริมาณร้อยละ 65 ถึง 75 มีรสเผ็ดร้อน และกลิ่นอบเชย สารชนิดนี้เป็นสารให้กลิ่นรสหลักของอบเชย, ยูจีนอล (eugenol)

ร้อยละ 5 ถึง 10 มีกลิ่นคล้ายกานพลู, แลโว-ลินาโลออล (*l*-linalool) ร้อยละ 2.3 มีกลิ่นคล้ายลาเวนเดอร์, ซินนามิลแอซีเทต (cinnamyl acetate) ร้อยละ 5 มีรสหวาน และกลิ่นคล้ายยางสน, แซฟรอล (safrol), 1,8-ซินีออล (1,8-cineol) ร้อยละ 0.6 มีกลิ่นคล้ายยูคาลิปตัส, เฟอร์ฟิวรอล (furfural), เมทิลเอมิลคีโทน (methyl amyl ketone), นอนิลแอลดีไฮด์ (nonyl aldehyde), เบนแซลดีไฮด์ (benzaldehyde) เมื่อเก็บไว้นานสารชนิดนี้สามารถกลายเป็นสารเบนซิลแอลกอฮอล์ (benzyl alcohol) เบนซิลเอมีน (benzyl amine) ไดเบนซิลเอมีน (dibenzyl amine) แอมิล-ซินนามิกแอลดีไฮด์ (amyl-cinnamic aldehyde) และเฮซิล-ซินนามิกแอลดีไฮด์ (hexyl-cinnamic aldehyde), ไฮโดรซินนามิกแอลดีไฮด์ (hydrocinnamic aldehyde), คูมินแอลดีไฮด์ (cumin aldehyde), แคริโอฟิลลีน (caryophyllene) ร้อยละ 3 มีรสเผ็ด และกลิ่นคล้ายไม้, แลโว-เฟลแลนดรีน, พารา-ไซมีน (*p*-cymene), และแลโว-แอลฟา-ไพนีน (*l*-α-pinene) เปลือกอบเชยมีรสเผ็ด หวาน ขม และฝาดเล็กน้อย มีกลิ่นหอมคล้ายกานพลูและผลไม้วงศ์ส้ม (สุพจน์, 2543; ชยันต์ และวิเชียร, 2545; Farrell, 1990; Raghavan, 2007) ใบอบเชยมีน้ำมันหอมระเหยอยู่ประมาณร้อยละ 1 ประกอบด้วย ยูจีนอลร้อยละ 70 ถึง 95, ลินาโลออล, ซินนามิกแอลดีไฮด์, บอร์นีออล (Borneol), และแคริโอฟิลลีน (สุพจน์, 2543; Baratta, *et al.*, 1998; Tainter and Grenis, 2001; Raghavan, 2007)

ภาพที่ 1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของอบเชย (*Cinnamomum zeylanicum*)

ที่มา: ภาพซ้าย, Schoepke (2008b); ภาพบน และล่างขวา, Viatour (2008)

อบเชยมีสรรพคุณเป็นยาบำรุงหัวใจ บำรุงกำลัง ใช้เป็นส่วนผสมในยาหอม และยาขับลม แก้อาการท้องอืด ท้องเฟ้อ ช่วยขับเหงื่อ ให้ความสดชื่น โลหิตหมุนเวียนดี ลดความดันโลหิต ลดอาการอักเสบของลำไส้ และไต แก้อ่อนเพลีย ท้องเสีย คลื่นไส้ อาเจียน ใช้เป็นยาปฏิชีวนะ ป้องกันไข้หวัด และการติดเชื้อไวรัสต่าง ๆ ช่วยลดจุดด่างดำบนใบหน้า อบเชยนิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารประเภทเนื้อสัตว์ ซอส ลูกกวาด เจลลี หมากฝรั่ง ไอศกรีม เครื่องดื่ม ขนมอบ ผักดอง ยา เครื่องหอม และสบู่ อบเชยมีสารอาหารที่สำคัญเช่น แคลเซียม มีปริมาณร้อยละ 1.6, โพแทสเซียม มีปริมาณร้อยละ 0.4, แมงกานีส และวิตามินเอ มีปริมาณ 175 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม, ไทอะมีน มีริมาณ 0.14 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม, ไรโบฟลาวิน มีปริมาณ 0.21 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม, ไนอะซิน มีปริมาณ 1.9 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม, โซเดียม มีปริมาณร้อยละ 0.01, สังกะสี, แมกนีเซียม, และฟอสฟอรัส มีปริมาณ ร้อยละ 0.05, วิตามินซี มีปริมาณ 39.8 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม, และธาตุเหล็ก มีปริมาณร้อยละ 0.004 เป็นต้น (Farrell, 1990; Raghavan, 2007)



ภาพที่ 2 โครงสร้างทางเคมีของสารให้กลิ่นรสในเปลือกอบเชย
ที่มา: Wright (1999)

ในปี 1998 Mancini–Filho *et al.* (1998) เปรียบเทียบสมบัติต้านออกซิเดชันระหว่างสารสกัดจากอบเชย และสารกันหืน BHT (butylated hydroxytoluene) ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

โดยใช้น้ำ และเมทานอลเป็นตัวทำละลายปรากฏว่า สารสกัดจากอบเชยมีสารที่มีความสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขั้นปฐมภูมิของไขมันได้ร้อยละ 87.5 และ 95.5 ตามลำดับ ซึ่งสารสกัดจากอบเชยมีสารให้ความสามารถต้านออกซิเดชันสูงกว่าสาร BHT ซึ่งมีค่าร้อยละ 80 ดังนั้น สารสกัดจากอบเชยสามารถนำมาใช้เป็นสารต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในอุตสาหกรรมอาหารได้ เนื่องจากในน้ำมันหอมระเหยจากอบเชยมีสารยูจีนอลเป็นองค์ประกอบ ซึ่งเป็นสารที่มีความสามารถยับยั้งการเกิดสารกลุ่มเพอร์ออกไซด์ในปฏิกิริยาออกซิเดชันขั้นปฐมภูมิได้ (Hirasa and Takemasa, 1998) ต่อมา Shan *et al.* (2005) รายงานว่า สารสกัดจากอบเชยที่ใช้เมทานอลเข้มข้นร้อยละ 80 เป็นตัวทำละลาย มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 11.90 กรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้งของสมุนไพร 100 กรัม ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกที่พบมากในอบเชยคือ 2-ไฮดรอกซีซินนามอลดีไฮด์ (2-hydroxycinnamaldehyde) หรือซินนามอลดีไฮด์, สารอนุพันธ์ของซินนามิลแอลดีไฮด์ (cinnamyl aldehyde derivatives), และฟลาแวน-3-ออลส์ (flavan-3-ols) สารสกัดจากอบเชยมีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าสารสกัดจากสมุนไพรชนิดอื่นเช่น กระวาน (0.46 กรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้งของสมุนไพร 100 กรัม), ขิง (0.63 กรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้งของสมุนไพร 100 กรัม), ขมิ้นชัน (0.23 กรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้งของสมุนไพร 100 กรัม), ลูกจันทน์เทศ (1.61 กรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้งของสมุนไพร 100 กรัม), ดิลล์ (dill) (0.98 กรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้งของสมุนไพร 100 กรัม), ตะไคร้ (0.25 กรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้งของสมุนไพร 100 กรัม), ไทม์ (4.52 กรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้งของสมุนไพร 100 กรัม), ใบเบย์ (bay leaf) (4.17 กรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้งของสมุนไพร 100 กรัม), ผักชี (0.88 กรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้งของสมุนไพร 100 กรัม), ผักชีฝรั่ง (0.97 กรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้งของสมุนไพร 100 กรัม), พริก (0.86 กรัมเทียบเท่ากรดแกลลิก ต่อน้ำหนักแห้งของสมุนไพร 100 กรัม), พริกไทยขาว (0.78 กรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้งของสมุนไพร 100 กรัม), พริกไทยดำ (0.30 กรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้งของสมุนไพร 100 กรัม), พริกไทยอ่อน (0.38 กรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้งของสมุนไพร 100 กรัม), ยี่หร่า (0.61 กรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้งของสมุนไพร 100 กรัม), โรสแมรี (5.07 กรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้งของสมุนไพร 100 กรัม), สะระแหน่ (5.15 กรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้งของสมุนไพร 100 กรัม), สาเก (5.32 กรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้งของสมุนไพร 100 กรัม), โหระพา (3.64 กรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้งของสมุนไพร 100 กรัม), และโอรีกาโน (10.17 กรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้งของสมุนไพร 100 กรัม) เป็นต้น ในปี 2007 Jayaprakasha *et al.* ทดลองใช้น้ำ เมทานอล แอซีโทน และเอทิลแอซีเทต เป็นตัวทำละลาย เพื่อสกัดสารที่มีความสามารถต้าน

ออกซิเดชันจากผลอบเชย โดยใช้วิธีบีตา-แครอทีน-ลิโนเลเอต (β-carotene-linoleate) ตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขั้นปฐมภูมิ และวัดปริมาณสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระของสาร DPPH ตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขั้นทุติยภูมิปรากฏว่า น้ำเป็นตัวทำละลายที่สามารถสกัดสารสำคัญจากผลอบเชยได้มากที่สุด เมื่อใช้น้ำสกัดสารสำคัญจากผลอบเชย ที่ความเข้มข้น 50 ppm สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขั้นปฐมภูมิ และทุติยภูมิได้ร้อยละ 83 และ 94 ตามลำดับ รองลงมาคือ สารสกัดของผลอบเชยจากตัวทำละลายเมทานอล ที่ความเข้มข้น 50 ppm สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขั้นปฐมภูมิ และทุติยภูมิได้ร้อยละ 80.5 และ 76 ตามลำดับ, สารสกัดของผลอบเชยจากตัวทำละลายแอซีโทน ที่ความเข้มข้น 50 ppm สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขั้นปฐมภูมิ และทุติยภูมิได้ร้อยละ 71.5 และ 66 ตามลำดับ, และสารสกัดของผลอบเชยจากตัวทำละลายเอทิลแอซีเทต ที่ความเข้มข้น 50 ppm สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขั้นปฐมภูมิ และทุติยภูมิ ได้ร้อยละ 53.5 และ 56 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในสารสกัดจากผลอบเชย เมื่อใช้น้ำเป็นตัวทำละลายสกัดสารสำคัญจากผลอบเชยปรากฏว่า สารสกัดของผลอบเชยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุดคือ ร้อยละ 44.5 รองลงมาคือ สารสกัดของผลอบเชยจากตัวทำละลายเมทานอล มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดร้อยละ 40.4, สารสกัดของผลอบเชยจากตัวทำละลายแอซีโทน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดร้อยละ 15.6, และสารสกัดของผลอบเชยจากตัวทำละลายเอทิลแอซีเทต มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดน้อยที่สุดคือ ร้อยละ 14.4 และในปีเดียวกัน Singh *et al.* (2007) ทดสอบสารให้ความสามารถต้านออกซิเดชันของน้ำมันหอมระเหยจากใบ และเปลือกอบเชยที่ได้จากวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำปรากฏว่า น้ำมันหอมระเหยจากใบ และเปลือกอบเชยปริมาณร้อยละ 0.2 มีสารที่มีความสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทั้งขั้นปฐมภูมิ และทุติยภูมิในน้ำมันมัสทาร์ดที่เก็บรักษาไว้นาน 28 วัน โดยวิธีที่ใช้ติดตามการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขั้นปฐมภูมิ คือ หาปริมาณสารเพอร์ออกไซด์ (peroxide value) และวิธีเฟอร์ริกไทโอไซยาเนต (ferric thiocyanate) ในระบบของกรดลิโนเลอิก (linoleic acid) ส่วนวิธีที่ใช้ติดตามการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขั้นทุติยภูมิ คือ หาปริมาณกรดไทโอบาร์บิทูริก และวัดปริมาณสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระของสาร DPPH

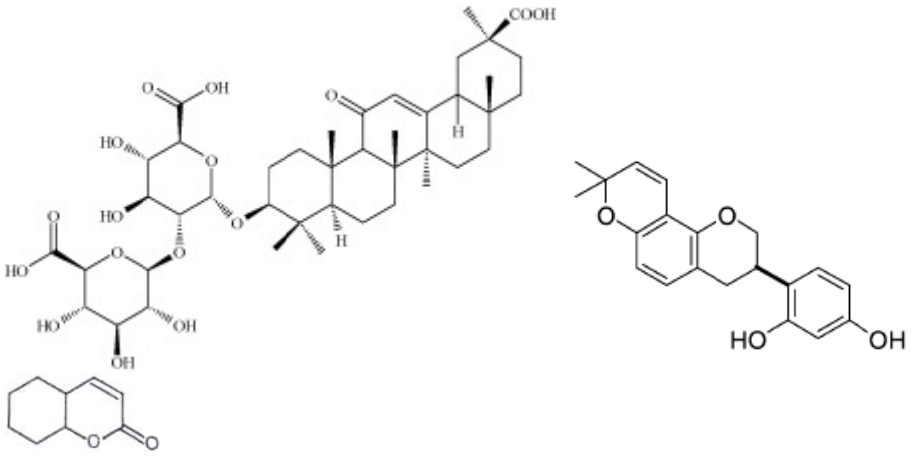
2.2 ชะเอมเทศ

ชะเอมเทศเป็นพืชสมุนไพร มีชื่อท้องถิ่น คือ กำเช่า (ภาษาจีนแต้จิ๋ว) และชะเอมเทศ ชื่อสามัญ คือ Spanish licorice, Russian licorice คำว่า licorice หรือ liquorice มาจากภาษากรีกแปลว่า รากหวาน (sweet root) ชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Glycyrrhiza glabra* L. อยู่ในวงศ์ Fabaceae หรือ Papi-

lionaceae มีถิ่นกำเนิดในทวีปยุโรปทางตอนใต้ และทวีปเอเชีย ส่วนใหญ่นิยมปลูกเป็นยา เป็นไม้ล้มลุก มีอายุนานหลายปี ลำต้นสูงประมาณ 1 เมตร ใบยาวประมาณ 7 ถึง 15 เซนติเมตร มีลักษณะเป็นใบประกอบรูปขนนก ชั้นเดียว สีเขียวอมเหลือง ออกสลับกัน ดอกสีม่วงอ่อน ยาวประมาณ 0.8 ถึง 1.2 เซนติเมตร ออกเป็นช่อ กลีบดอกเป็นแบบสมมาตรไม่สม่ำเสมอ ผลเป็นฝักแบนมีเมล็ดอยู่ภายใน ส่วนที่นำมาใช้คือ ราก สารที่พบในรากชะเอมเทศ คือ กลีไซร์หริซิน (glycyrrhizin) หรือกรดกลีไซร์หริซินิก (glycyrrhizinic acid) มีปริมาณร้อยละ 12 ถึง 20 มีรสหวานจัด หวานมากกว่าน้ำตาลซูโครส 50 เท่า สามารถใช้เป็นสารให้รสหวานในอาหารสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวานได้, สารในกลุ่มซาโปนิน (saponins), สารในกลุ่มไกลโคไซด์, สารในกลุ่มฟลาโวนอยด์, แอสพาราจิน (asparagin), คูมาริน (coumarin), และสารในกลุ่มแทนนิน (สมภพ, 2539; พิสุทธิพร, 2550; Farrell, 1990) ชะเอมเทศมีสารให้ความสามารถต้านออกซิเดชันที่สำคัญคือ สารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ และกลุ่มฟีนอลิก ได้แก่ ไตรเทอร์พีนซาโปนิน (triterpene saponins), ฟลาโวนอยด์ (flavonoids), ไอโซฟลาโวนอยด์ (isoflavonoids), และชาลโคน (chalcones) เป็นต้น กรดกลีไซร์หริซินิกเป็นสารหลักที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพในชะเอมเทศ (Nassiri and Hosseinzadeh, 2008)

ภาพที่ 3 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของชะเอมเทศ (*Glycyrrhiza glabra* L.)

ที่มา: ภาพซ้าย, Schoepke (2008a); ภาพขวา, Silversmith (2008)



กลีไซร์หริซิน กลาบริดิน คูมาริน

ภาพที่ 4 โครงสร้างทางเคมีของสารที่พบในรากชะเอมเทศ
ที่มา: ภาพซ้าย, Chen *et al.* (2009); ภาพกลาง, Nomura *et al.* (2002); ภาพขวา, Wright (1999)

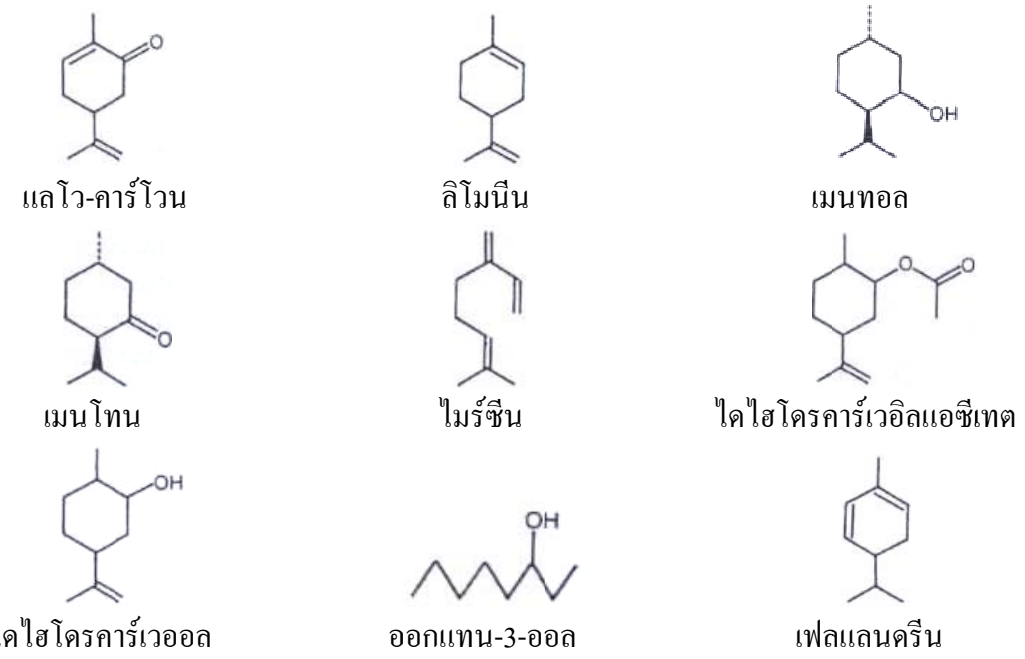
ชะเอมเทศมีสรรพคุณเป็นยาบำรุงปอด เพิ่มการหลั่งน้ำลาย ขับเสมหะ ทำให้ชุ่มคอ รักษาแผลในปาก และกระเพาะอาหาร รักษาอาการเบื่ออาหาร อ่อนเพลียจากการทำงานหนัก ลดไข้ ระงับประสาท ช่วยให้ระบบย่อยอาหารทำงานเป็นปกติ รักษาอาการหอบหืดจากหลอดลมอักเสบ รักษาวัณโรคปอด (สมภพ, 2539; พิสุทธิพร, 2550; Farrell, 1990; Nassiri and Hosseinzadeh, 2008) ชะเอมเทศยังมีสารที่มีความสามารถต่อต้านเชื้อไวรัสชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ไข้หวัดใหญ่, ซาร์ (Sevear acute respiratory syndrome corona virus, SARS), ตับอักเสบชนิดบี และซี (Hepatitis B and C viruses), ภูมิคุ้มกันบกพร่อง (Human immunodeficiency virus, HIV) โดยช่วยกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกันในร่างกาย, ยับยั้งกิจกรรมของเซลล์มะเร็ง, เริม หรืองูสวัด, ไข้สมองอักเสบ เป็นต้น ชะเอมเทศมีสารให้ความสามารถต้านออกซิเดชัน และยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (Fiore *et al.*, 2005; Nassiri and Hosseinzadeh, 2008) แต่สมุนไพรชนิดนี้มีข้อจำกัดคือ ห้ามใช้ในผู้ป่วยที่มีอาการท้องอืด และบิด รวมทั้งผู้ป่วยโรคไต โรคความดันโลหิตสูง หากใช้ติดต่อกันเป็นเวลานานจะส่งผลเสียต่อกล้ามเนื้อหัวใจ และเป็นพิษต่อไต ดังนั้นควรบริโภคไม่เกิน 100 มิลลิกรัมของกรดกลีไซร์หริซินิกต่อวัน ประเทศในแถบทวีปยุโรปนิยมนำสารสกัดจากชะเอมเทศมาใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มไม่ผสมแอลกอฮอล์ประเภทรูทเบียร์ และลูกกวาด โดยใช้เป็นสารให้รสหวานในผลิตภัณฑ์ (สมภพ, 2539; พิสุทธิพร, 2550; Farrell, 1990)

ในปี 1997 Vaya *et al.* รายงานว่า สารกลาบริดิน (glabridin), 4-ออร์โท-เมทิลกลาบริดิน (4-*O*-methylglabridin), ฮิสพากลาบริดินเอ และบี (hispaglabridin A, B), ไอโซพรีนิลชาลโคน (isoprenylchalcone), และไอโซลิควิริทีจีนิน (isoliquiritigenin) ที่สกัดจากชะเอมเทศ โดยใช้แอซีโทนเป็นตัวทำละลาย สามารถยับยั้งการเกิดสารกลุ่มเพอร์ออกไซด์ (peroxides) ในปฏิกิริยาออกซิเดชันขั้นปฐมภูมิ และสารร่วมปฏิกิริยาออกซิเดชันขั้นทุติยภูมิที่ทำให้เกิดกรดไทโอบาร์บิทูริก (thiobarbituric acid reactive substances, TBARS) โดยสารกลาบริดินเป็นสารให้ความสามารถต้านออกซิเดชันสูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Belinky *et al.* (1998a, 1998b) วิจัยลักษณะโครงสร้างของสารกลาบริดิน และสารอนุพันธ์ของกลาบริดิน (glabridin derivatives) ที่เกี่ยวข้องกับสมบัติต้านออกซิเดชันปรากฏว่า สารกลาบริดิน และสารอนุพันธ์ของกลาบริดินคือ 4-ออร์โท-เมทิลกลาบริดิน และฮิสพากลาบริดินเอ และบี สามารถยับยั้งการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะคู่ระหว่างการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขั้นปฐมภูมิ รวมทั้งผลิตภัณฑ์ในปฏิกิริยาออกซิเดชันขั้นปฐมภูมิคือ สารกลุ่มเพอร์ออกไซด์ และสารร่วมปฏิกิริยาออกซิเดชันขั้นทุติยภูมิที่ทำให้เกิดกรดไทโอบาร์บิทูริก ซึ่งสมบัติต้านออกซิเดชันของสารกลุ่มไอโซฟลาแวน (กลาบริดิน, เมทิล กลาบริดิน, ฮิสพากลาบริดินเอ และบี) ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของหมู่ไฮดรอกซิลที่วงแหวนบี แต่ลักษณะโครงสร้างแบบนี้ไม่เกี่ยวข้องกับความสามารถจับอิเล็กตรอนของสาร DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) หรืออนุมูลอิสระ ส่วนสารฟลาโวนอยด์ (ไอโซฟลาวีน และกลาบรีน) สมบัติต้านออกซิเดชันขึ้นอยู่กับพันธะคู่ในวงแหวนซี โดยสารกลุ่มนี้สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทั้งขั้นปฐมภูมิ และทุติยภูมิ ต่อมา Aly *et al.* (2005) รายงานว่า สารสกัดจากชะเอมเทศที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายสามารถยับยั้งอาการอักเสบ และเป็นหนองได้เช่นเดียวกับตัวยาไดโคลฟีแนกโซเดียม (diclofenac sodium) และฟาโมทิดีน (Famotidine) และในปี 2007 Chin *et al.* ทดลองสกัดสารจากชะเอมเทศ โดยใช้ไตรคลอโรมีเทนเป็นตัวทำละลายปรากฏว่า สารสกัดจากชะเอมเทศ 20 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร มีสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระของสารเพอร์ออกซีไนไทรต์ (peroxynitrite) ร้อยละ 88.3 และมีสารให้ความสามารถต้านออกซิเดชันสูงที่สุดคือ ฮิสพากลาบริดินบี, ไอโซลิควิริทีจีนิน, และพาราโทคาร์พินบี (paratocarpin B) ซึ่งสารไอโซลิควิริทีจีนินสามารถช่วยป้องกันการเกิดเนื้องอกในปอด และลำไส้ใหญ่

2.3 สะระแหน่

สะระแหน่เป็นทั้งพืชสมุนไพร และเครื่องเทศ มีชื่อท้องถิ่นคือ หอมด่วน หอมเตือน (ภาคเหนือ), มักเงาะ สะแน่ (ภาคใต้), สะระแหน่สวน (ภาคกลาง) ชื่อสามัญคือ Mentha เป็นสมุนไพรที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันกับมินต์เรียกว่า สเปียร์มินต์ ชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Mentha spicata* L., *M. cordifolia* Opiz. หรือ *M. cardiaca* Ger. อยู่ในวงศ์ Labiatae หรือ Lamiaceae สเปียร์มินต์นิยมปลูกกันมากในทวีปเอเชียทางตะวันออกเฉียงใต้ได้แก่ ประเทศจีน, อินเดีย, ญี่ปุ่น เป็นต้น มีลักษณะเป็นพืชล้มลุก เลื้อยคลุมดิน มีความยาวมากกว่า 62 เซนติเมตร ใบเป็นรูปไข่เห็นเส้นใยชัดเจน สีเขียวสด ปลายใบแหลม ขอบใบหยักแบบฟันเลื่อย ก้านใบสั้น ลำต้นสีแดงเข้ม ส่วนที่นำมาใช้คือ ใบ สารที่พบในน้ำมันของพืชกลุ่มนี้คือ แลโว-คาร์โวน (*l*-carvone) มีปริมาณร้อยละ 50 ถึง 70 มีกลิ่นสะระแหน่, ลิโมนีน (limonene) มีปริมาณร้อยละ 13 มีกลิ่นคล้ายผลไม้ตระกูลส้ม, เมนทอล (menthol), นีโอเมนทอล (neomenthol), เมนโทน (menthone), ไดไฮโดรคูมินิลแอซีเทต (dihydrocuminyl acetate), ไดไฮโดรคูมินิลวาเลอเรต (dihydrocuminyl valerate), ไมร์ซีน (myrcene) มีปริมาณร้อยละ 2 มีกลิ่นคล้ายมะม่วงดิบ, 1,8-ซินีออล (1,8-cineol) มีปริมาณร้อยละ 2 มีกลิ่นคล้ายยูคาลิปตัส , ไดไฮโดรคาร์เวอิลแอซีเทต (dihydrocarveyl acetate) มีปริมาณร้อยละ 1 มีกลิ่นสะระแหน่ และรสหวาน, ไดไฮโดรคาร์เวออล (dihydrocarveol) มีกลิ่นคล้ายมินต์, ออกแทน-3-ออล (octan-3-ol) มีปริมาณร้อยละ 1 มีกลิ่นคล้ายสมุนไพร, และเฟลแลนดรีน (phellandrene) สะระแหน่มีกลิ่นหอมหวาน เย็นสดชื่น คล้ายลูกกวาด รสเผ็ด ฝาดเล็กน้อย (รุ่งรัตน์, 2540; สุพจน์, 2543; Farrell, 1990; Raghavan, 2007)

ภาพที่ 5 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของสะระแหน่ (*Mentha spicata* L.)
ที่มา: ศูนย์การศึกษาต่อเนื่อง คณะแพทย์ศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี (2548)



ภาพที่ 6 โครงสร้างทางเคมีของสารให้กลิ่นรสในสะระแหน่
ที่มา: Wright (1999)

มีสรรพคุณเป็นยาแก้อาการมวนในท้อง ท้องอืด ท้องเฟ้อ ปวดท้อง ปวดประจำเดือน นอนไม่หลับ ช่วยขับลม ช่วยย่อยอาหาร ระงับอาการเกร็งของกระเพาะอาหาร และลำไส้ ใช้ถอนพิษไข้ ขับเหงื่อ ใช้เป็นยาฆ่าเชื้อโรค ช่วยบรรเทาอาการคลื่นไส้อาเจียน รักษาอาการหน้ามืด ทำให้รู้สึกสดชื่น แก้ปวดศีรษะ ปวดหู ปวดฟัน เจ็บคอ รักษาอาการท้องร่วง บิด อุจจาระเป็นเลือด แก้พิษแมลงสัตว์กัดต่อย ผื่นคัน และใช้ห้ามเลือดกำเดา สะระแหน่นิยมนำมาใช้ปรุงแต่งกลิ่น รส อาหารประเภทปลา เนื้อสัตว์ เพื่อดับกลิ่นคาว ใช้สารสกัดเป็นส่วนผสมในเครื่องดื่มที่มี และไม่มีแอลกอฮอล์ หมากฝรั่ง ลูกกวาด เจลลี ขนมอบ โยเกิร์ต ของหวานที่ทำจากวุ้นเจลาทิน ซอส ซุป ยาแชมพู และยาสีฟัน สะระแหน่มีสารอาหารที่สำคัญ คือ แคลเซียม, โพแทสเซียม, วิตามินเอ, ไนอะซิน, โซเดียม, แมกนีเซียม, ฟอสฟอรัส, วิตามินซี, และธาตุเหล็ก (สุพจน์, 2543; Farrell, 1990; Raghavan, 2007)

Capecka *et al.* (2005) เปรียบเทียบสมบัติต้านออกซิเดชันระหว่างสมุนไพรสด และสมุนไพรแห้ง 3 ชนิด คือ เลมอนบาล์ม (lemon balm), โอรีกาโน (oregano), และสะระแหน่ โดยตัวทำละลายที่ใช้คือ เมทานอลเข้มข้นร้อยละ 80 ปรากฏว่า สะระแหน่ และเลมอนบาล์มหลังทำแห้งด้วยวิธีผึ่งลมที่อุณหภูมิ 25 ถึง 32 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน มีสารที่มีความสามารถยับยั้งการเกิดสารเพอร์ออกไซด์ และ DPPH ในปฏิกิริยาออกซิเดชันขั้นปฐมภูมิลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างสด ในสะระแหน่สด และแห้งมีสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระปริมาณร้อยละ 93 และ 95 ตามลำดับ สูงใกล้เคียงกับเลมอนบาล์มสด และแห้ง โดยสะระแหน่แห้งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าตัวอย่างสด และสูงที่สุดในสมุนไพร 3 ชนิดคือ 2,580 มิลลิกรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อน้ำหนักของสมุนไพรสด 100 กรัม สะระแหน่สดมีปริมาณกรดแอล-แอสคอร์บิก (L-ascorbic) สูงใกล้เคียงกับเลมอนบาล์มคือ 52.6 มิลลิกรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อน้ำหนักของสมุนไพรสด 100 กรัม และมีปริมาณแครอทีนอยด์สูงที่สุดทั้งสะระแหน่สด และแห้งคือ 58.1 และ 32.7 มิลลิกรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อน้ำหนักของสมุนไพรสด 100 กรัม ตามลำดับ ซึ่งสะระแหน่ที่ผ่านการทำแห้งมีปริมาณกรดแอล-แอสคอร์บิก และปริมาณแครอทีนอยด์ลดลง ดังนั้นกระบวนการทำแห้งจึงมีผลต่อสมบัติต้านอนุมูลอิสระของสะระแหน่ ต่อมาในปี 2007 Kivilompolo และ Hyötyläinen นำสมุนไพร 6 ชนิด วงศ์ *Lamiaceae* คือ โหระพา, โอรีกาโน, โรสแมรี (rosemary), สาเก (sage), สะระแหน่, และไทม์ (thyme) มาสกัดโดยใช้ตัวทำละลายเอทานอล เพื่อเปรียบเทียบปริมาณกรดฟีนอลิกที่มีความสามารถต้านออกซิเดชันในสมุนไพรแต่ละชนิดปรากฏว่า สะระแหน่มีปริมาณกรดคลอโรจีนิก (chlorogenic acid) และกรดแคฟเฟอิก (caffeic acid) สูงที่สุดคือ 310 และ 250 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักแห้งของสมุนไพร 1 กรัม ตามลำดับ และมีปริมาณกรดพารา-คูมาริก (*p*-coumaric acid) และกรดเฟอริวลิก (ferulic acid) ไม่แตกต่างกับสมุนไพรอื่นคือ น้อยกว่า 50 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักแห้งของสมุนไพร 1 กรัม โดยโรสแมรี, สาเก, สะระแหน่, และไทม์ มีปริมาณกรดแกลลิกไม่แตกต่างกันคือ น้อยกว่า 50 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักแห้งของสมุนไพร 1 กรัม ส่วนโหระพา และโอรีกาโน ไม่มีกรดแกลลิกเป็นองค์ประกอบในสารสกัดจากสมุนไพร

กระบวนการเอนแคปซูเลชัน

เอนแคปซูเลชัน (encapsulation) หรือไมโครเอนแคปซูเลชัน (microencapsulation) เป็นกระบวนการแปรรูปสารให้มีคุณสมบัติในการเคลือบ หรือกักเก็บสารสำคัญตั้งแต่หนึ่งชนิดขึ้นไปไว้ในโครงสร้าง (Risch, 1995) เปรียบเสมือนการผลิตบรรจุภัณฑ์แบบหนึ่ง สามารถบรรจุสารที่มีสถานะของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ ในรูปของแคปซูลปิดสนิท และสามารถปลดปล่อยสารสำคัญที่

บรรจุอยู่ภายในโครงสร้างออกมาได้เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะที่กำหนด (Dziezak, 1988) สารสำคัญเรียกว่า แกน (core) หรือสารที่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยา (actives) ส่วนสารที่นำมาใช้เป็นโครงสร้างเรียกได้หลายชื่อได้แก่ สารเอนแคปซูล (encapsulant), ตัวพา (carrier), สารกั้น (barrier), หรือเปลือก (shell) เป็นต้น (Dziezak, 1988; Risch, 1995; Qi and Xu, 1999) เมื่อผ่านกระบวนการเอนแคปซูเลชัน อนุภาคที่มีลักษณะคล้ายบรรจุภัณฑ์เรียกว่า ไมโครแคปซูล (microcapsule) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.2 ถึง 5,000 ไมโครเมตร อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 0.2 ไมโครเมตร เรียกว่า นาโนแคปซูล (nanocapsules) และอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 5,000 ไมโครเมตร เรียกว่า มาโครแคปซูล (macrocapsules) (Qi and Xu, 1999; Ahrné *et al.*, 2008a) ในกรณีที่สารสำคัญ หรือแกนมีขนาดใหญ่ให้เรียกกระบวนการผลิตว่า การเคลือบ (coating) (Dziezak, 1988)

วัตถุประสงค์ของการใช้กระบวนการเอนแคปซูเลชันในอุตสาหกรรมอาหารคือ ช่วยเก็บรักษาองค์ประกอบ และสารสำคัญในอาหารให้คงอยู่ หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดในช่วงกระบวนการผลิต และเก็บรักษา, ลด หรือป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างสารสำคัญด้วยกันเอง หรือกับสารอื่น ๆ, ลด หรือป้องกันการเปลี่ยนแปลงของสารสำคัญจากปัจจัยภายนอกเช่น แสง ความร้อน ออกซิเจน และความชื้น เป็นต้น, ควบคุม หรือชะลอการปลดปล่อยสารสำคัญได้ตามต้องการ, ป้องกัน หรือปกปิดกลิ่น รสชาติ และสีของสารสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์โดยรวม เพื่อให้ผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค, เพิ่มลักษณะเนื้อสัมผัสให้กับอาหาร, เป็นกระบวนการเปลี่ยนสถานะสารจากของเหลวเป็นของแข็งที่มีลักษณะเป็นผงแห้ง ทำให้สะดวกกับการนำไปใช้งาน (วิภา, 2547; Dziezak, 1988; Versic, 1988; Risch, 1995; Brazel, 1999; Ahrné *et al.*, 2008a)

กระบวนการเอนแคปซูเลชันในอุตสาหกรรมอาหารมีหลายเทคนิคในการผลิตไมโครแคปซูล สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ เทคนิคทางฟิสิกส์เช่น การทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอย (spray drying), การฉีดพ่นเป็นละอองฝอยแบบใช้ความเย็น เพื่อให้ไมโครแคปซูลภายนอกเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็ง (spray chilling หรือ spray cooling), การเคลือบโดยใช้เครื่องฟลูอิไดซ์เบด, เอกซ์ทรูชัน (extrusion), การใช้เอกซ์ทรูชันร่วมกับการหมุนเหวี่ยงที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 80 องศาเซลเซียส (centrifugal extrusion), การเคลือบแบบจานหมุน (spinning disk coating หรือ centrifugal suspension separation coating), ของเหลววิกฤตยิ่งยวด (supercritical fluids) เป็นต้น และเทคนิคทางเคมีเช่น การผลิตไมโครแคปซูลโดยใช้การกรอง หรือเหวี่ยงแยกตะกอน เป็นการแยกสารสำคัญที่กระจายตัวในสารละลายไมโครแคปซูลออกจากสารละลายไมโครแคปซูล (coacervation หรือ coprecipitation หรือ phase separation), การระเหยตัวทำละลาย (solvent evaporation), การเกิด

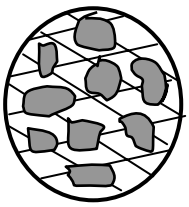
สารประกอบเชิงซ้อน (inclusion complexation) เป็นต้น (Augustin and Sanguansri, 2008) ซึ่งเทคนิคการทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอยเป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมมากที่สุดของกระบวนการเอนแคปซูเลชันในอุตสาหกรรมอาหาร มีรายละเอียดดังนี้

เทคนิคการทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอย (spray drying) เป็นเทคนิคในกระบวนการเอนแคปซูเลชันที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากมีต้นทุนการผลิตน้อยที่สุด มีกำลังการผลิตสูง ใช้งานง่าย ระยะเวลาการผลิตสั้น (Risch, 1995; Qi and Xu, 1999) สามารถควบคุม และปรับสภาวะการผลิตตามผลิตภัณฑ์ที่ผู้ผลิตต้องการเช่น ขนาดอนุภาค, ปริมาณความชื้น, ความสามารถในการไหล (flowability), ความหนาแน่นของอนุภาค (bulk density), ความสามารถในการกระจายตัว (dispersibility), ลักษณะปรากฏ, และความแข็งแรงของโครงสร้าง เป็นต้น (Augustin and Sanguansri, 2008) เทคนิคการทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอยเป็นหนึ่งในกระบวนการเอนแคปซูเลชันที่ใช้กันมานานที่สุดในอุตสาหกรรมอาหารตั้งแต่ปี 1930 โดยสารเอนแคปซูลชนิดแรกที่นำมาใช้คือ กัมอะราบิก หรือกัมอะคาเซีย ใช้กักเก็บสารให้กลิ่นรส (Dziezak, 1988) เทคนิคการทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอยเป็นการทำแห้งแบบพาความร้อน ใช้ลมร้อนเป็นตัวพาความชื้นออกจากระบบที่มีลักษณะเป็นสารละลาย อิมัลชัน สารแขวนลอย และของเหลวข้นหนืด จนมีลักษณะเป็นผงแห้ง สารเอนแคปซูลที่นำมาใช้ในเทคนิคนี้ต้องมีสมบัติละลายน้ำได้ และมีค่าความหนืดต่ำ เพื่อช่วยให้ระบบหัวฉีดภายในเครื่องทำงานได้ดีขึ้น (Risch, 1995; Trubiano, 1995; Vega and Roos, 2006) และช่วยลดอุณหภูมิภายในเครื่อง เนื่องจากน้ำในระบบระเหยออกไปได้เร็ว (Ahrné *et al.*, 2008a) ถ้าใช้สารเอนแคปซูลที่มีความหนืดสูงทำให้เกิดโครงสร้างของไมโครแคปซูลที่หัวฉีดช้า จึงสูญเสียสารสำคัญ สารไวต่อความร้อน และสารให้กลิ่นรสได้ง่ายในระหว่างกระบวนการทำแห้ง (Reineccius, 2004) ดังนั้นเวลาทั้งหมดที่ใช้ผลิตไมโครแคปซูลของเทคนิคนี้ควรใช้ระยะเวลาสั้น เพื่อให้อุณหภูมิบริเวณพื้นผิว และภายในอนุภาคไมโครแคปซูลต่ำ ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่อนุภาค ไมโครแคปซูลสัมผัสกับลมร้อนในเครื่อง (Risch, 1995; Vega and Roos, 2006) โดยบริเวณพื้นผิว และภายในอนุภาคไมโครแคปซูลควรมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิลมร้อนขาออก (outlet temperatue) ของเครื่องทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอย นอกจากนี้ความหนืดของสารละลายเอนแคปซูลยังมีผลต่อการไหลของสารละลายเอนแคปซูลไปที่หัวฉีด การกระจายตัวเป็นละอองฝอยของสารละลายเอนแคปซูล ขนาด และการกระจายตัวของไมโครแคปซูล และลักษณะอนุภาคไมโครแคปซูลที่เกิดขึ้น (Ahrné *et al.*, 2008a) ปัจจุบันอุตสาหกรรมอาหารนำกระบวนการเอนแคปซูเลชันมาใช้กักเก็บส่วนผสมในอาหารได้แก่ สารให้กลิ่นรส, สารให้ความหวาน, น้ำมัน, ไลโคพีน, แครอทีนอยด์, แร่ธาตุ และวิตามินต่าง ๆ เป็นต้น (Gharsallaoui *et al.*, 2007) โดยนำมาใช้เคลือบผลิตภัณฑ์ประเภท

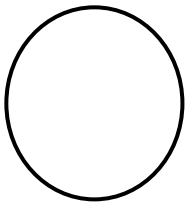
ถั่ว ลูกอม หรือลูกกวาดต่าง ๆ และหมากฝรั่ง (Gibbs et al., 1999) นำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารเพื่อสุขภาพ (Champagne and Fustier, 2007) และใช้กักเก็บเอนไซม์เพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารหมักประเภทถั่ว (Hsieh et al., 2009)

ลักษณะอนุภาคไมโครแคปซูลที่ได้จากเทคนิคการทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอยมีหลายแบบ (ดังภาพที่ 7) เช่น มีรูปร่างทรงกลม, พื้นผิวเรียบ, พื้นผิวเป็นหลุม, มีรอยบุบ หรือแตก เป็นต้น ซึ่งเกี่ยวข้องกับชนิด องค์ประกอบ และสมบัติของสารเอนแคปซูล อัตราการระเหยความชื้นของอนุภาคไมโครแคปซูล และความดันที่เกิดขึ้นภายในไมโครแคปซูลหลังจากที่ไมโครแคปซูลมีโครงสร้างภายนอกที่แข็งแรง (Ahrné *et al.*, 2008a)

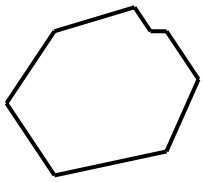
ข้อดีของเทคนิคการทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอยคือ เป็นการทำแห้งอย่างรวดเร็ว และอุณหภูมิบริเวณพื้นผิวไมโครแคปซูลต่ำในขณะที่มีการระเหยน้ำออกจากไมโครแคปซูล ข้อด้อยของเทคนิคนี้คือ ลมร้อนในเครื่องเป็นระบบหมุนเวียน จึงไม่สามารถควบคุมการเกาะติดของไมโครแคปซูลกับผนังภายในเครื่องทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอยได้ และมีข้อจำกัดในการเลือกชนิดสารเอนแคปซูล ถ้าสารเอนแคปซูลมีความหนืดสูงทำให้ไมโครแคปซูลมีขนาดใหญ่เปราะ และแตกตัวได้ง่าย เนื่องจากความดันของความชื้นภายในไมโครแคปซูล มีอัตราการทำแห้งช้า และใช้เวลาการผลิตนาน (Ahrné *et al.*, 2008a)



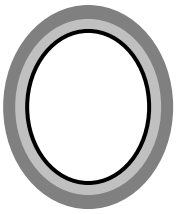
เมทริกซ์



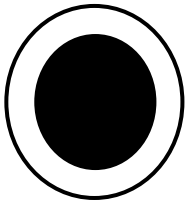
ทรงกลม



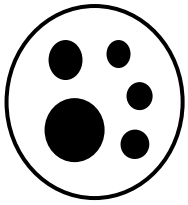
ไม่สม่ำเสมอ



ไมโครแคปซูลหลายชั้น



สารแกนอยู่ตรงกลางอนุภาค



สารแกนกระจายในอนุภาค

ภาพที่ 7 ลักษณะไมโครแคปซูลที่ได้จากเทคนิคการทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอย
ที่มา: Desai and Park (2005); Madene *et al.* (2006)

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมหลาย ๆ ด้านนำกระบวนการเอนแคปซูเลชันมาใช้ได้แก่ อาหาร, ยา, เครื่องสำอาง, ผลิตภัณฑ์เสริมสุขภาพ, กระดาษ เป็นต้น ปัจจุบันอุตสาหกรรมอาหารหันมาสนใจกระบวนการเอนแคปซูเลชันมากขึ้น เนื่องจากช่วยเพิ่มความคงตัว และความหลากหลายในการนำสารสำคัญในอาหารไปใช้ประโยชน์ (Ahrné *et al.*, 2008a) ชนิดสารสำคัญ หรือสารแกน และชนิดสารเอนแคปซูลที่นิยมใช้ในกระบวนการเอนแคปซูเลชันแสดงดังตารางที่ 1 (Brazel, 1999) และตารางที่ 2 (Brazel, 1999; Augustin and Sanguansri, 2008) ตามลำดับ สมบัติของสารสำคัญมีผลต่อการเลือกใช้เทคนิคในกระบวนการเอนแคปซูเลชันได้แก่ การละลายได้ในน้ำหรือไขมัน, ความคงตัวต่อสภาพแวดล้อมเช่น ความชื้น, ความร้อน, เกลือ, แสง, และเอนไซม์ เป็นต้น, รสชาติ, แนวโน้มการทำปฏิกิริยาสัมพันธ์กับองค์ประกอบอื่น ๆ ในอาหาร เป็นต้น (Augustin and Sanguansri, 2008) และสมบัติของสารสำคัญยังมีผลต่อประสิทธิภาพการกักเก็บสารสำคัญในโครงสร้างไมโครแคปซูลระหว่างการทำแห้งเช่น ขนาดโมเลกุล, ระดับความมีขั้ว เป็นต้น สมบัติเหล่านี้เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ และการแพร่ผ่านโครงสร้างไมโครแคปซูลของโมเลกุลสารสำคัญ โดยโมเลกุลสารสำคัญที่ไม่มีขั้วมักสูญเสียไปในระหว่างการทำแห้งน้อยกว่าโมเลกุลสารสำคัญที่มีขั้ว เนื่องจากโมเลกุลสารสำคัญที่มีขั้วสามารถแพร่ผ่านเมทริกซ์เปียก หรือไมโครแคปซูลภายหลังการทำแห้งได้ (Bhandari, 2004) นอกจากนี้ปริมาณสารสำคัญที่ใช้ในระบบก็มีผลต่อประสิทธิภาพการกักเก็บสารสำคัญในไมโครแคปซูล โดยทั่วไปนิยมใช้ปริมาณสารสำคัญร้อยละ 25 ของปริมาณของแข็งทั้งหมด เนื่องจากปริมาณสารสำคัญที่เพิ่มขึ้นในระบบทำให้บริเวณพื้นผิวของอนุภาคไมโครแคปซูลมีปริมาณสารสำคัญมากขึ้น และทำให้สารสำคัญในไมโครแคปซูลอยู่ใกล้พื้นผิวภายนอกของไมโครแคปซูลมากขึ้น (Dziezak, 1988) สมบัติของสารเอนแคปซูลที่มีผลต่อการเลือกใช้เทคนิคในกระบวนการเอนแคปซูเลชันได้แก่ ความสามารถในการละลาย, ความหนืด, ความคงตัวต่อความเป็นกรด-เบส เกลือ แสง ความร้อน แรงเฉือน และเอนไซม์, การสลายตัว, การเกิดฟิล์ม, อัตราการแพร่ผ่านของน้ำ และสารระเหย, อันตรกิริยาระหว่างไมโครแคปซูลกับสารให้กลิ่นรส, ข้อจำกัดการใช้ในอาหาร เป็นต้น (Bhandari, 2004; Augustin and Sanguansri, 2008) ซึ่งสมบัติของสารเอนแคปซูลที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการเอนแคปซูเลชันคือ ไม่มีรสชาติ, ความหนืดต่ำ, เกิดฟิล์มได้ดี เป็นต้น (Augustin and Sanguansri, 2008) ชนิดสารเอนแคปซูลมีผลต่อการกักเก็บสารสำคัญ รูปร่าง และลักษณะพื้นผิวภายนอกของไมโครแคปซูล สมบัติของสารเอนแคปซูลบางชนิดมีผลทำให้พื้นผิวไมโครแคปซูลหด หรือยุบตัว และแตก เกิดการปลดปล่อยสารแกนใน

ระหว่างกระบวนการทำแห้ง และการเก็บรักษา ซึ่งการเติมน้ำตาลสามารถช่วยลดความเปราะ หรือการแตกหักในระหว่างการเกิดฟิล์มที่พื้นผิวของไมโครแคปซูลได้ การเลือกชนิดสารเอนแคปซูลที่เหมาะสมสามารถกักเก็บสารสำคัญ และรักษาสมดุลของสารสำคัญในโครงสร้างของไมโครแคปซูลได้ (Bhandari, 2004)

ตารางที่ 1 กลุ่มของสารแกน หรือสารสำคัญที่นิยมใช้ในกระบวนการเอนแคปซูเลชันในอุตสาหกรรมอาหาร

ชนิดของกลิ่นรส	**สารอาหาร**	**ส่วนผสมในอาหาร**
ช็อกโกแลต	กรดแล็กติก	สารต้านออกซิเดชัน
กาแฟ	กรดไขมันโอเมกา-3	กรดซิตริก
กระเทียม	วิตามิน และแร่ธาตุต่าง ๆ	เกลือ
พีช (peach)		โซเดียมไบคาร์โบเนต
ไส้กรอก		สารให้สี
สะระแหน่		สารช่วยให้ขึ้นฟู
มะนาว		วัตถุกันเสีย
สตรอเบอร์รี		น้ำตาล และสารให้ความหวาน
วานิลลา		น้ำมันพืช

ที่มา: Brazel (1999)

ตารางที่ 2 กลุ่มของสารเอนแคปซูลที่นิยมใช้ในกระบวนการเอนแคปซูเลชันในอุตสาหกรรมอาหาร

คาร์โบไฮเดรต	**โปรตีน**	**ไขมัน**
น้ำตาล	นม	ไขมัน และน้ำมันในธรรมชาติ
- มอลโทส, กาแล็กโทส, กลูโคส,	- เคซีน และเวย์	น้ำมันที่ผ่านการเติมไฮโดรเจน
ฟรักโทส, ซูโครส, ออลิโกแซ็กคาไรด์,	ถั่วเหลือง	(hydrogenated oils)
แบะแซ	ข้าวสาลี (กลูเตน)	มอโน-, ได-, และไตรกลีเซอร์ไรด์
สตาร์ช และอนุพันธ์ของสตาร์ช	ไข่ (แอลบูมิน)	ฟอสฟอลิพิด

- มอลโทเดกซ์ทริน, เดกซ์ทริน, รีซิสแทนต์สตาร์ช, สตาร์ชดัดแปร,	ข้าวโพด (ซีน) เจลาทิน	ไกลโคลิพิด แวกซ์

ตารางที่ 2 (ต่อ)

คาร์โบไฮเดรต	**โปรตีน**	**ไขมัน**
บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน กัม - อะกาโรส, แอลจิเนต, คาร์ราจีแนน, กัมอะราบิก, กัมแซนแทน, เพกทิน หรือพอลิเพกเทต, เมทิลเซลลูโลส, คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ไคโทแซน	โปรตีนที่ผ่านการย่อย (hydrolyzed proteins)	- บีแวกซ์, คาร์นอบาแวกซ์, เชลแลก

ที่มา: Brazel (1999); Ahrné *et al.* (2008b); Augustin and Sanguansri (2008)

สารเอนแคปซูลที่นิยมใช้ในเทคนิคการทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอยในกระบวนการเอนแคปซูเลชันในอุตสาหกรรมอาหารมากที่สุดคือ สตาร์ช และอนุพันธ์ของสตาร์ชในกลุ่มคาร์โบไฮเดรต (Augustin and Sanguansri, 2008) เช่น สตาร์ชที่มีสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ สตาร์ชที่ผ่านการย่อยด้วยกรด หรือเอนไซม์ เนื่องจากสารเหล่านี้มีราคาถูก สามารถเกิดฟิล์ม หรือเกิดโครงสร้างไมโครแคปซูลล้อมรอบสารสำคัญ หรือสารแกนได้ (Krishnan *et al.*, 2005) มีรายละเอียดดังนี้

1. สตาร์ชดัดแปร

สตาร์ชดัดแปรหมายถึง สตาร์ชออกทีนิลซักซินิลเลตด์ (octenylsuccinylated starch หรือ OSA starch) เกิดจากการดัดแปรทางเคมี นำสารแขวนลอยสตาร์ชผสมกับเกลือโซเดียมซัลเฟต หรือโซเดียมคลอไรด์ ปรับความเป็นกรด-เบสด้วยสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ และเติมสาร 1-ออกทีนิลซักซินิกแอนไฮไดรด์ (1-octenylsuccinic anhydride) (BeMiller, 2007) โดยปริมาณที่สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาอนุญาตให้ใช้ในอาหารคือ ร้อยละ 3 (วิภา, 2547) สตาร์ชดัดแปรชนิดนี้มีสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ ประกอบด้วยกลูโคสที่อยู่ในส่วนของสตาร์ชเป็นกลุ่มชอบน้ำ ทำพันธะ

ไฮโดรเจนกับน้ำ และส่วนของออกทีนิลเป็นกลุ่มไม่ชอบน้ำ สามารถจับกับน้ำมัน (Taggart, 2004) นิยมใช้เป็นสารเอนแคปซูลในกระบวนการเอนแคปซูเลชันที่ใช้เทคนิคการทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอย เนื่องจากมีสมบัติละลายได้ในน้ำเย็น มีค่าความหนืดต่ำ ช่วยเพิ่มความคงตัวในระบบอิมัลชันได้ดี และป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจน (วิภา, 2547; Qi and Xu, 1999; Forssell, 2004) ผลิตภัณฑ์อาหารที่เติมสตาร์ชดัดแปรเพื่อเพิ่มความคงตัวเช่น น้ำสลัด และสารให้กลิ่นรสในเครื่องดื่ม และเริ่มนำสตาร์ชดัดแปรมาใช้ทดแทนไขมันบางส่วน เนื่องจากมีรสชาติคล้ายไขมัน (BeMiller, 2007)

น้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพร และเครื่องเทศเสื่อมคุณภาพได้ง่ายเมื่อได้รับแสง ความร้อน และออกซิเจน Krishnan *et al.* (2005) จึงใช้เทคนิคการทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอยในกระบวนการเอนแคปซูเลชันกักเก็บน้ำมันหอมระเหยจากกระวานไว้ในไมโครแคปซูลจากสารเอนแคปซูล 3 ชนิดคือ กัมอะราบิก มอลโทเดกซ์ทริน และสตาร์ชออกทีนิลซักซินิลเลตด์ เมื่อเก็บรักษาไมโครแคปซูลทั้งหมดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 6 สัปดาห์ ไมโครแคปซูลจากกัมอะราบิกสามารถกักเก็บน้ำมันหอมระเหยจากกระวานได้ดีที่สุด รองลงมาคือ ไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทริน และสตาร์ชออกทีนิลซักซินิลเลตด์ ตามลำดับ แต่ไมโครแคปซูลจากสตาร์ชออกทีนิลซักซินิลเลตด์สามารถกักเก็บสารที่ไม่สามารถระเหยได้ในน้ำมันหอมระเหยจากกระวานได้ดีที่สุด รองลงมาคือ ไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทริน และกัมอะราบิก ตามลำดับ

Partanen *et al.* (2005) เปรียบเทียบอิทธิพลระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไมโครแคปซูลจากสารเอนแคปซูล 2 ชนิดคือ สตาร์ชออกทีนิลซักซินิลเลตด์ และมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่ากับ 18.5 ผสมกับกัมอะราบิกในอัตราส่วน 7 ต่อ 1 เพื่อช่วยเพิ่มความคงตัวของน้ำมันในไมโครแคปซูล สารสำคัญในการทดลองนี้คือ น้ำมันจากเมล็ดพืชซีบัคทอร์น (sea buckthorn) ปรากฏว่า เมื่อเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ในระบบจากร้อยละ 11 เป็นร้อยละ 45 ไมโครแคปซูลทั้ง 2 ชนิดเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขั้นปฐมภูมิ และทุติยภูมิได้อย่างรวดเร็ว โดยไมโครแคปซูลจากสตาร์ชออกทีนิลซักซินิลเลตด์เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขั้นปฐมภูมิ และทุติยภูมิน้อยกว่าไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินผสมกับกัมอะราบิก ซึ่งความชื้นสัมพัทธ์ที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้โครงสร้างของไมโครแคปซูลยุบตัว เกิดการซึมผ่านของออกซิเจนเข้าไปภายในไมโครแคปซูล ทำให้น้ำมันที่อยู่ภายในไมโครแคปซูลเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้อย่างรวดเร็ว

Soottitantawat *et al.* (2005) ใช้เทคนิคการทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอยผลิตไมโครแคปซูลจากสารเอนแคปซูล 3 ชนิดคือ กัมอะราบิก มอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าในช่วง 15 ถึง 20 ผสมกับกัมอะราบิกในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 และสตาร์ชออกทีนิลซักซิเนลเลตด์ สารสำคัญที่ใช้คือ ดี-ลิโมนีน (D-limonene) เพื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของขนาดไมโครแคปซูลต่อความคงตัวในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในระหว่างการเก็บรักษานาน 30 วัน ปรากฏว่า ขนาดไมโครแคปซูลไม่มีผลต่อปริมาณดี-ลิโมนีนบริเวณพื้นผิวไมโครแคปซูล โดยไมโครแคปซูลจากสตาร์ชออกทีนิลซักซิเนลเลตด์มีปริมาณดี-ลิโมนีนบริเวณพื้นผิวไมโครแคปซูลน้อยที่สุด (อยู่ในช่วงร้อยละ 0.39 ถึง 0.46) รองลงมาคือ ไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินผสมกับกัมอะราบิก (อยู่ในช่วงร้อยละ 0.44 ถึง 0.72) และกัมอะราบิก (อยู่ในช่วงร้อยละ 1.06 ถึง 2.89) ตามลำดับ และสตาร์ชออกทีนิลซักซิเนลเลตด์มีความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมากที่สุด

Loksuwan (2007) เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกักเก็บสารบีตา-แครอทีนในไมโครแคปซูลจากสารเอนแคปซูล 3 ชนิดคือ สตาร์ช มอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่ากับ 24 และสตาร์ชออกทีนิลซักซิเนลเลตด์ (สารเอนแคปซูลทั้งหมดได้มาจากสตาร์ชมันสำปะหลัง) โดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอยปรากฏว่า ไมโครแคปซูลจากสตาร์ชออกทีนิลซักซิเนลเลตด์มีปริมาณบีตา-แครอทีนทั้งหมดมากที่สุด และมีปริมาณบีตา-แครอทีนบริเวณผิวของไมโครแคปซูลน้อยที่สุด ส่วนไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินมีปริมาณบีตา-แครอทีนทั้งหมดน้อยที่สุด ดังนั้นไมโครแคปซูลจากสตาร์ชออกทีนิลซักซิเนลเลตด์มีประสิทธิภาพการกักเก็บสารบีตา-แครอทีนมากที่สุด

2. มอลโทเดกซ์ทริน

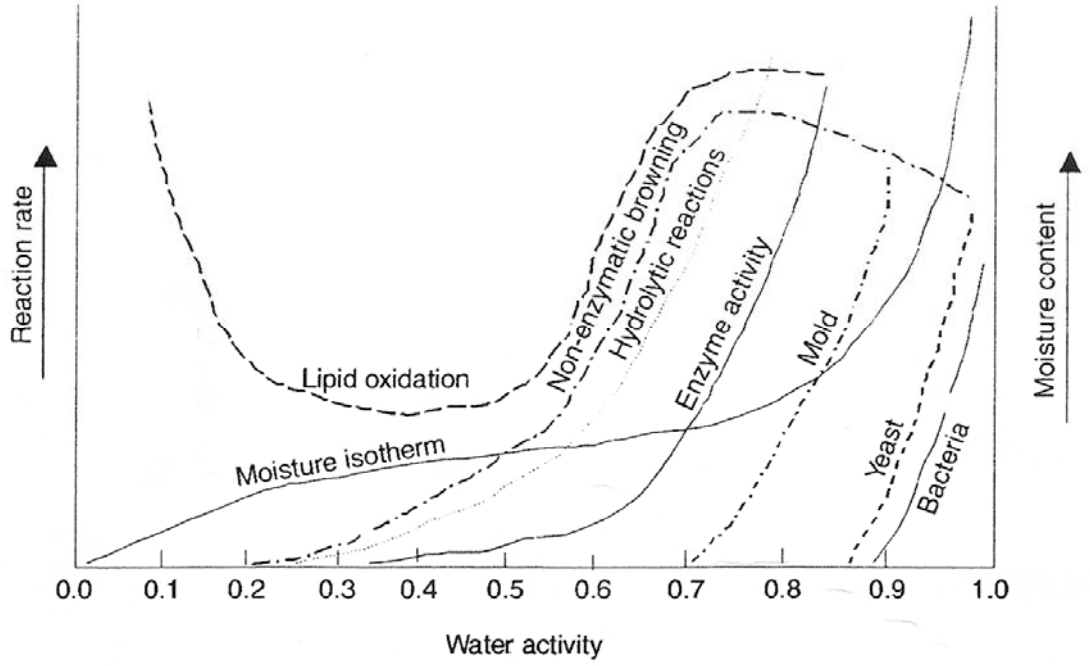
มอลโทเดกซ์ทรินเกิดจากการนำสตาร์ชมาย่อยด้วยกรดคือ กรดไฮโดรคลอริก หรือเอนไซม์คือ แอลฟาแอมิเลส (ย่อยพันธะแอลฟา 1 $\rightarrow$ 4 อย่างสุ่ม) และอาจใช้พัลลูลาเนส (ย่อยพันธะแอลฟา 1 $\rightarrow$ 6) ร่วมด้วย หรือใช้ทั้งกรด และเอนไซม์ ทำให้สายพอลิเมอร์น้ำตาลกลูโคสที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา 1 $\rightarrow$ 4 ในโครงสร้างสั้นลง มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าน้อยกว่า 20 ละลายน้ำได้มากกว่าร้อยละ 75 มีความหนืดต่ำ ในอุตสาหกรรมอาหารใช้มอลโทเดกซ์ทรินช่วยเพิ่มปริมาณของแข็งในอาหารสูงขึ้นเช่น เครื่องดื่ม, สารให้กลิ่นรสในนม, ซุป, ซอส, และน้ำสลัด เป็นต้น ซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของไมโครแคปซูลในการใช้เทคนิคการทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอย (วิภา, 2547; Forssell, 2004; BeMiller, 2007) มอลโทเดกซ์ทรินเป็นผลิตภัณฑ์ในกลุ่มของสตาร์ชที่

ผ่านการย่อย (starch hydrolysis products) นิยมนำมาใช้ในกระบวนการเอนแคปซูเลชันมากที่สุด เนื่องจากมอลโทเดกซ์ทรินช่วยป้องกันสารสำคัญที่อยู่ภายในไมโครแคปซูลจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ (Shahidi and Han, 1993; Forssell, 2004) และเกิดฟิล์มได้ดี แต่โครงสร้างของมอลโทเดกซ์ทรินไม่มีกลุ่มไม่ชอบน้ำ จึงไม่มีสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ ทำให้สูญเสียสารไวต่อความร้อน และสารให้กลิ่นรสระหว่างการทำแห้งโดยใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิสูงในกระบวนการผลิตไมโครแคปซูลจากเทคนิคการทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอย ดังนั้นสารสำคัญในโครงสร้างไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินจึงไม่คงตัว และมีอายุการเก็บรักษาสั้น (Qi and Xu, 1999) ปัจจุบันอุตสาหกรรมอาหารนำมอลโทเดกซ์ทรินมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางได้แก่ ใช้เคลือบถั่วลิสงคั่วเพื่อป้องกันออกซิเจน, ช่วยยับยั้งการตกผลึกของน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ลูกอม และของหวาน, ยับยั้งการเกิดผลึกน้ำแข็งในอาหารแช่เยือกแข็ง, ใช้เป็นสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น ขนมอบ, มาร์การีน, น้ำสลัด, ครีมที่ใช้แต่งหน้าขนม หรือไอศกรีม, และโยเกิร์ต เป็นต้น, และช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการในเครื่องดื่มสำหรับผู้บริโภคที่ต้องการควบคุมอาหาร เป็นต้น (BeMiller, 2007)

Ersus and Yurdagel (2007) ทดสอบประสิทธิภาพการกักเก็บสารแอนโทไซยานินที่สกัดจากแคร์รอตสีม่วงโดยใช้ตัวทำละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 96 ผสมกับกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1.5 นอร์แมล ในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต 3 ชนิดคือ มอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่ากับ 10 และ 20 และแบะแซที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าในช่วง 28 ถึง 31 โดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอยปรากฏว่า เมื่อเก็บรักษาไมโครแคปซูล 3 ชนิด ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 64 วัน ไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่ากับ 20 สามารถกักเก็บสารแอนโทไซยานินไว้ในไมโครแคปซูลได้นานที่สุด และมีปริมาณแอนโทไซยานินสูงที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา รองลงมาคือ ไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่ากับ 20 และไมโครแคปซูลจากแบะแซที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าในช่วง 28 ถึง 30 ตามลำดับ โดยไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตทั้ง 3 ชนิด มีขนาดไมโครแคปซูลไม่แตกต่างกันคือ อยู่ในช่วง 3 ถึง 20 ไมโครเมตร

ในปี 1995 Li and Reineccius นำกระบวนการเอนแคปซูเลชันมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร โดยทดลองนำสารให้กลิ่นรสบลูเบอร์รีสังเคราะห์ที่กักเก็บในไมโครแคปซูลจากกัมอะราบิกโดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอย มาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์แพนเค้กที่ผ่านกระบวนการทอด และอบด้วยไมโครเวฟ เพื่อลดปัญหาการสูญเสียกลิ่นรสผลิตภัณฑ์ใน

ระหว่างกระบวนการผลิตอาหารปรากฏว่า ระยะเวลาที่ใช้ทอด และการสูญเสียความชื้นระหว่างอบด้วยไมโครเวฟในกระบวนการผลิตมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์แพนเค้กสูญเสียกลิ่นรสบลูเบอร์รีที่กักเก็บในไมโครแคปซูล จึงแนะนำให้ทดลองใช้สารเอนแคปซูลชนิดอื่นได้แก่ มอลโทเดกซ์ทริน, สตาร์ชดัดแปร เป็นต้น ซึ่งในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร และขนมขบเคี้ยวที่ผ่านกระบวนการทอดเช่น ข้าวเกรียบ (ปริมาณการดูดซึมน้ำมันร้อยละ 9 ถึง 11), ขนมปังทอด (ปริมาณการดูดซึมน้ำมันร้อยละ 7 ถึง 13), มันฝรั่งแผ่น (ปริมาณการดูดซึมน้ำมันร้อยละ 30 ถึง 35), และโดนัต (ปริมาณการดูดซึมน้ำมันร้อยละ 10 ถึง 15) เป็นต้น มักเกิดการเสื่อมเสียจากการเคลื่อนที่ของความชื้น (สูญเสีย หรือดูดซับความชื้น) ปฏิกิริยาออกซิเดชัน และการแตกหักของผลิตภัณฑ์ การเสื่อมเสียเหล่านี้ขึ้นอยู่กับปัจจัย หรือสภาวะในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์, อุณหภูมิ, ออกซิเจน, และแสง เป็นต้น ซึ่งความชื้นสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์กับค่าวอเตอร์แอกทิวิตีในอาหาร โดยสามารถคำนวณค่าวอเตอร์แอกทิวิตีได้จากการนำค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอาหารหารด้วย 100 ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีในอาหารสัมพันธ์กับอัตราการเกิดปฏิกิริยาทั้งทางเคมี ฟิสิกส์ จุลินทรีย์ และปริมาณความชื้นในอาหาร ดังภาพที่ 8 ซึ่งการเสื่อมเสียจากปฏิกิริยาทางเคมีเป็นปัญหาที่พบมากในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร และขนมขบเคี้ยวที่ผ่านกระบวนการทอดคือ ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ (nonenzymatic browning; Maillard browning) และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน หรือน้ำมัน ทำให้อาหารมีกลิ่น สี และเนื้อสัมผัสเปลี่ยนไป และมีคุณค่าทางโภชนาการลดลง (Man, 2002; Singh and Anderson, 2004) เนื่องจากอนุมูลอิสระ และสารในกลุ่มเพอร์ออกไซด์ที่เป็นผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาออกซิเดชันขั้นปฐมภูมิเข้าทำปฏิกิริยากับกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว และวิตามินเอ และอีที่สามารถละลายได้ในน้ำมันที่เป็นองค์ประกอบในอาหาร (Man, 2002) แต่ไม่พบการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์เนื่องจากผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวส่วนใหญ่มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีอยู่ในช่วง 0.20 ถึง 0.40 มีความชื้นประมาณร้อยละ 5 (Esse and Saari, 2004)



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวอเตอร์แอกทิวิตี อัตราการเกิดปฏิกิริยาทั้งทางเคมี ฟิสิกส์ จุลินทรีย์ และปริมาณความชื้นในอาหาร

ที่มา: Labuza *et al.* (1970)

ข้าวเกรียบ

ข้าวเกรียบหมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งเป็นส่วนประกอบหลัก เช่น แป้งข้าวเจ้า, แป้งสาลี, แป้งมันสำปะหลัง ผสมด้วยเนื้อสัตว์ หรือผัก เครื่องปรุงรส บดผสมให้เข้ากัน ทำให้สุก แล้วทำให้เป็นรูปร่างต่าง ๆ ทำให้แห้ง และนำไปทอด หรืออบก่อนรับประทาน (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2530) มีลักษณะเป็นแผ่นบาง พอง กรอบ มีรูพรุนเรียบสม่ำเสมอ นิยมบริโภคกันมานาน ไม่ว่าจะเป็นข้าวเกรียบกุ้ง หรือข้าวเกรียบปลา เมื่อพิจารณาคุณค่าทางโภชนาการพบว่า ข้าวเกรียบกุ้ง 100 กรัมให้พลังงาน 509 กิโลแคลอรี, โปรตีน 6.8 กรัม, ไขมัน 25.6 กรัม, และคาร์โบไฮเดรต 62.8 กรัม แม้ว่าปัจจุบันในท้องตลาดจะมีขนมขบเคี้ยวที่ผลิตจากกระบวนเอกซ์ทรูชันจำหน่ายมากมาย ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะพองตัว กรอบ และความหนาแน่นต่ำ แต่ข้าวเกรียบก็ยังได้รับความนิยมบริโภคกันพอสมควร ข้าวเกรียบมีการผลิตกันอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรในจังหวัดต่าง ๆ เนื่องจากเป็นวิธีการแปรรูปผลผลิตการเกษตรประเภทพืชผัก ผลไม้ หรือเนื้อสัตว์ประเภทปลา และกุ้งฝอย ที่ใช้เทคโนโลยีแบบง่าย ๆ (เพลินใจ, 2546)

ข้าวเกรียบที่ยังไม่ได้ทอดหรือ ข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานหลายเดือน ข้อสำคัญวัตถุดิบหลักที่ใช้คือ แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวเจ้า และแป้งข้าวเหนียว เนื่องจากมีราคาถูก สำหรับส่วนผสมอื่น ๆ อาจใช้เนื้อสัตว์ เช่น กุ้ง และปลา ช่วยเพิ่มรสชาติ และคุณค่าทางโภชนาการ หรืออาจเติมผัก และผลไม้ชนิดต่าง ๆ เพื่อปรับปรุงรสชาติให้แปลก และแตกต่างไปจากเดิม เช่น ขนุน, มะละกอ, เผือก, และมันเทศ เป็นต้น ขั้นตอนการทำข้าวเกรียบอาศัยหลักการพื้นฐานคือ เจลาทิไนเซชันของเม็ดสตาร์ช ซึ่งต้องให้เกิดอย่างสมบูรณ์จึงจะได้ผลิตภัณฑ์ที่ดี (เพลินใจ, 2546)

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของข้าวเกรียบได้แก่ ชนิดของแป้ง, สัดส่วนของแป้ง และส่วนผสมอื่น ๆ, ขั้นตอนการทำให้แป้งบางส่วนสุก, การนวด, และการทอด เป็นต้น ซึ่งแต่ละปัจจัยมีรายละเอียดดังนี้

ชนิดของแป้ง แป้งแต่ละชนิดมีลักษณะของเม็ดสตาร์ช อุณหภูมิที่ทำให้เกิดเจลาทิไนเซชัน เนื้อสัมผัสด้านความเหนียว การพองตัว และความกรอบแตกต่างกัน เนื่องจากเม็ดสตาร์ชแต่ละชนิดประกอบด้วยแอมิโลส และแอมิโลเพกทินในสัดส่วนที่แตกต่างกัน แป้งสุกชนิดที่มีปริมาณแอมิโลสสูงมีลักษณะแข็ง ส่วนแป้งสุกชนิดที่มีแอมิโลเพกทินสูงมีลักษณะเหนียว ยืดหยุ่นสูง เช่น แป้งข้าวเหนียว และแป้งมันสำปะหลัง ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบที่ผลิตจากแป้งที่มีปริมาณแอมิโลเพกทินสูงมีการพองตัวดี น้ำหนักเบา เปราะง่าย ดังนั้นการทำขนมขบเคี้ยวจึงควรใช้แป้งขนิดที่มีปริมาณแอมิโลสอยู่ในช่วงร้อยละ 5 ถึง 20 ข้าวเกรียบที่ทำจากแป้งมันสำปะหลังมีความหนาแน่นต่ำที่สุดคือ มีการพองตัวดีที่สุด มีลักษณะกรอบเบา แต่จะกรอบไม่นาน การผสมแป้งข้าวเจ้า หรือแป้งสาลีทดแทนแป้งมันสำปะหลังมีผลทำให้ก้อนแป้งหลังผ่านกระบวนการนึ่งคงรูปร่างทรงกระบอก เมื่อนำไปทอดในน้ำมันร้อนทำให้เกิดรูพรุนขนาดเล็ก ผลิตภัณฑ์มีการพองตัวลดลง เนื้อแน่น แต่สามารถรักษาความกรอบไว้ได้นาน (เพลินใจ, 2546)

สัดส่วนของแป้ง และส่วนผสมอื่น ๆ เช่น เนื้อสัตว์, ผัก, และผลไม้ เป็นต้น ต้องมีปริมาณเหมาะสมคือ ประมาณร้อยละ 20 ถึง 25 ของน้ำหนักแป้ง การเติมส่วนผสมเหล่านี้ในปริมาณที่มากเกินไปมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบที่ได้มีการพองตัวลดลง (เพลินใจ, 2546)

ขั้นตอนการทำให้แป้งบางส่วนสุก หลังจากผสมส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากันแล้ว เติมน้ำเดือดลงในส่วนผสม เพื่อให้สามารถนวดแป้งเป็นก้อนโดได้ การเติมน้ำเดือดทำให้แป้งบางส่วนสุก

สามารถนวดแป้งให้เป็นเนื้อเดียวกัน หากใช้น้ำเย็น หรือน้ำอุ่นอุณหภูมิของน้ำไม่สูงพอที่จะทำให้เม็ดสตาร์ชบางส่วนสุกเป็นผลให้เม็ดสตาร์ชอุ้มน้ำไม่มากพอที่จะทำให้เกิดเจลาทิไนเซชันสมบูรณ์ในระหว่างกระบวนการนึ่ง ทำให้บริเวณตรงกลางก้อนแป้งที่ได้มีลักษณะสีขาวขุ่น ซึ่งบริเวณนี้ไม่เกิดการพองขยายตัวเมื่อนำไปทอด (เพลินใจ, 2546)

การนวด และนึ่ง เป็นขั้นตอนสำคัญขั้นตอนหนึ่ง การนวดให้เนื้อแป้งเนียนจนส่วนผสมทั้งหมดเป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบมีลักษณะปรากฏเป็นรูพรุนสม่ำเสมอ และพองตัวดี สำหรับการนึ่ง เป็นกระบวนการทำให้เม็ดสตาร์ชเกิดเจลาทิไนเซชันสมบูรณ์ การนึ่งก้อนแป้งควรนึ่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 ถึง 45 นาที (เพลินใจ, 2546)

การอบ หรือตากแห้ง เป็นขั้นตอนที่มีผลต่อการพองตัว และความสม่ำเสมอของรูพรุนที่เกิดบนผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับปริมาณความชื้นในข้าวเกรียบ เมื่อข้าวเกรียบได้รับความร้อนจากน้ำมันทำให้น้ำในเนื้อแป้งกลายเป็นไอ เกิดความดันไอจากภายในเม็ดสตาร์ช เป็นผลให้เม็ดสตาร์ชพองตัว ผลิตภัณฑ์เกิดการขยายตัวเป็นโพรง เกิดรูพรุน ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมในข้าวเกรียบก่อนทอดคือ ร้อยละ 12 โดยข้าวเกรียบที่มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 7 ถึง 8 เมื่อนำมาทอด แผ่นข้าวเกรียบที่ได้มีรอยแตกร้าว แต่ถ้าข้าวเกรียบก่อนทอดมีปริมาณความชื้นสูง เมื่อนำมาทอดทำให้ข้าวเกรียบมีลักษณะปรากฏไม่สม่ำเสมอคือ เกิดทั้งรูพรุนที่มีขนาดใหญ่ และเล็ก เป็นลักษณะของข้าวเกรียบคุณภาพต่ำ (เพลินใจ, 2546)

การทอด อุณหภูมิของน้ำมันที่เหมาะสมในการทอดข้าวเกรียบคือ 180 ถึง 220 องศาเซลเซียส ทำให้ผลิตภัณฑ์มีการขยายตัว เกิดรูพรุนสม่ำเสมอ ความหนาแน่นต่ำ ถ้าทอดในน้ำมันที่อุณหภูมิต่ำข้าวเกรียบจะไม่พองตัว เพราะอุณหภูมิไม่สูงพอที่จะทำให้น้ำในเนื้อแป้งกลายเป็นไออย่างรวดเร็ว ทำให้ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบที่ได้อมน้ำมัน (เพลินใจ, 2546)

ข้าวเกรียบเป็นผลิตภัณฑ์อาหารว่างที่ผ่านกรรมวิธีการทอดแบบน้ำมันท่วมชิ้นอาหาร (deep-fat frying) ซึ่งการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหารกลุ่มนี้ในระหว่างการเก็บรักษามีสาเหตุมาจากการเกิดกลิ่นเหม็นหืน และการสูญเสียลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความกรอบของผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

การเกิดกลิ่นเหม็นหืนขึ้นในผลิตภัณฑ์ มีความสัมพันธ์กับค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา (ดังภาพที่ 8) และปริมาณสัดส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวต่อกรดไขมันอิ่มตัวในผลิตภัณฑ์ โดยการเกิดกลิ่นเหม็นหืนในผลิตภัณฑ์อาหารทอดมีสาเหตุมาจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งเกิดได้ 2 ทางคือ ปฏิกิริยาไฮโดรไลติก (hydrolytic reaction) และปฏิกิริยาออกซิเดทีฟ (oxidative reaction) (Labuza, 1982) โดยปฏิกิริยาไฮโดรไลติกเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างไขมัน น้ำ และเอนไซม์ย่อยไขมัน ที่อยู่ภายในชิ้นอาหารในระหว่างการทอด ซึ่งเอนไซม์จะเข้าไปย่อยโมเลกุลไตรกลีเซอร์ไรด์ของไขมันทำให้เกิดกรดไขมันอิสระ มอโนกลีเซอร์ไรด์ ไดกลีเซอร์ไรด์ และกลีเซอรอล (Mahungu *et al.*, 1999) ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์อาหารมีกลิ่นรสคล้ายสบู่ ปฏิกิริยาไฮโดรไลติกสามารถเกิดได้เร็วที่สุดที่อุณหภูมิประมาณ 38 องศาเซลเซียส แต่ปฏิกิริยานี้สามารถควบคุมได้จากการควบคุมสภาวะในการผลิต และการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เช่น การใช้กระบวนการสเทอริไลเซชันทำลาย หรือยับยั้งเอนไซม์, การควบคุมปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์ภายหลังการผลิตให้มีระดับความชื้นต่ำ, และการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่ำ เป็นต้น (Labuza, 1982) สำหรับปฏิกิริยาออกซิเดทีฟ หรือออโตออกซิเดชัน เกิดจากกรดไขมันไม่อิ่มตัวในไขมันทำปฏิกิริยากับออกซิเจนทำให้มอโนเมอร์ ไดเมอร์ และพอลิเมอร์ของไขมันมีระดับการออกซิไดส์สูงขึ้น เกิดสารไดเมอร์ และพอลิเมอร์ที่ไม่มีขั้ว และเกิดสารประกอบระเหยได้กลุ่มแอลดีไฮด์ และคีโทน (Mahungu *et al.*, 1999) ทำให้อาหารมีสีคล้ำ และมีกลิ่นเหม็นหืน ปฏิกิริยานี้สามารถควบคุมได้โดยป้องกันการเข้าทำปฏิกิริยาของออกซิเจนที่ตำแหน่งพันธะคู่ หรือพันธะสามของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ควบคุมปัจจัยภายนอกที่เร่งการเกิดอนุมูลอิสระ ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบต่อเนื่องได้แก่ ความร้อน, แสง, ปริมาณไอออนของเหล็ก และสังกะสี เป็นต้น และอาจเติมสารประกอบฟีนอลิกซึ่งมีความสามารถต้านออกซิเดชันลงในน้ำมัน (Labuza, 1982) เช่น วิตามินอี หรือทอโคฟีรอล (Tocopherol), คูมาริน, ฟลาโวนอยด์, สารอนุพันธ์ของกรดฟีนอลิก (phenolic acid derivatives) เช่น กรดแกลลิก (gallic acid), กรดคูมาริก (coumaric acid), กรดแคฟเฟอิก, และกรดเฟอริวลิก เป็นต้น, บิวทิเลตไฮดรอกซีแอนิโซล (butylated hydroxyanisole หรือ BHA), บิวทิเลตไฮดรอกซีทอลูอีน, พรอพิลแกลเลต (propyl gallate) เป็นต้น (Eskin and Przybylski, 2001) โดยปริมาณสารที่มีความสามารถต้านออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์อาหารควรมีความเข้มข้นไม่เกินร้อยละ 0.02 โดยน้ำหนักของปริมาณไขมัน หรือน้ำมันทั้งหมดในชิ้นอาหาร เป็นต้น สารประกอบฟีนอลิกจะทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระโดยให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระ เป็นการหยุดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบต่อเนื่องของอนุมูลอิสระกับออกซิเจน หรือกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Labuza, 1982)

การสูญเสียลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความกรอบของผลิตภัณฑ์ เกี่ยวข้องกับปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอกทิวิตีในผลิตภัณฑ์ สามารถสังเกตความเปลี่ยนแปลงด้านความกรอบของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยว หรืออาหารที่มีปริมาณความชื้นต่ำเช่น ข้าวเกรียบ, คุกกี้, และมันฝรั่งแผ่นทอดกรอบ เป็นต้น ได้จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส เมื่อผลิตภัณฑ์มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีอยู่ในช่วง 0.35 ถึง 0.50 หรือมีปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ถึง 3 การสูญเสียความกรอบของผลิตภัณฑ์อาหารมักมีสาเหตุมาจากผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นสูงกว่าระดับความชื้นวิกฤต (critical water content) ทำให้อุณหภูมิในสภาวะกลาส (Glass transition temperature หรือ T_g) ของผลิตภัณฑ์ต่ำลงกว่าอุณหภูมิห้อง เนื่องจากน้ำมีสมบัติเป็นสารพลาสติไซเซอร์ (plasticizer) จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบลดลง และมีความเหนียวเพิ่มขึ้นระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (Roos, 2001)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

งานวิจัยนี้ใช้สมุนไพรทั้งหมด 3 ชนิดคือ เปลือกอบเชย และรากชะเอมเทศตากแห้ง และใบสะระแหน่สด โดยสมุนไพร 2 ชนิด คือ เปลือกอบเชย และรากชะเอมเทศตากแห้ง มาจากกรมการแพทย์แผนไทย กระทรวงสาธารณสุข และใบสะระแหน่สด จากตลาดไท ใช้ไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต 3 ชนิด คือ สตาร์ชดัดแปรโดยใช้สารออกทีนิลซักซีนิกแอนไฮไดรด์, มอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8-12, และ 16-20 ซึ่งได้รับจากบริษัท สยามมอดิฟาย สตาร์ช จำกัด และใช้ข้าวเจ้ากล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และข้าวเหนียวกล้องพันธุ์ กข 6 จากกรมการข้าว (ปี 2549)

2. อุปกรณ์

2.1 เครื่องทำแห้งแบบเยือกแข็ง (Freezer Dryer; รุ่น FD2.5, บริษัท Heto, ประเทศเดนมาร์ก)

2.2 เครื่องบดตัวอย่างแห้ง (Ultra-centrifugal mill; รุ่น ZM1, บริษัท Retsch, ประเทศเยอรมนี)

2.3 ตะแกรงร่อนขนาด 80 เมช และ 100 เมช (บริษัท Retsch, ประเทศเยอรมนี)

2.4 ตู้แช่เยือกแข็ง -18 องศาเซลเซียส (รุ่น U30AAWHZZ, บริษัท Brandt, ประเทศฝรั่งเศส)

2.5 เครื่องทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอย (Spray Dryer; รุ่น A/S, บริษัท Niro, ประเทศเดนมาร์ก)

2.6 เครื่องกวนแบบแม่เหล็ก (magnetic stirrer; รุ่น C919i, บริษัท Combination Ltd., Part, ประเทศไทย)

2.7 แท่งแม่เหล็ก (Magnetic bar)

2.8 เครื่องโซนิเคเตอร์ (Sonicator; รุ่น UR1, บริษัท Retsch, ประเทศเยอรมนี)

2.9 หลอดเซนทริฟิวส์

2.10 เครื่องหมุนเหวี่ยงแบบเย็น (Refrigerated centrifuge; รุ่น CR 20B2, บริษัท Hitachi Koki Co., Ltd., ประเทศญี่ปุ่น)

2.11 เครื่องเขย่าผสม (Vortex mixer; รุ่น G-560E, บริษัท Scientific Industries, Inc., ประเทศสหรัฐอเมริกา)

2.12 เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (รุ่น Spectronic Genesys 10 UV Scanning, บริษัท Thermoelectron Corporation, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

2.13 เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (รุ่น GT4100, บริษัท Ohaus Corporation Florham Park, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

2.14 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (รุ่น AP210 S, บริษัท Ohaus Corporation Florham Park, ประเทศสวิสเซอร์แลนด์)

2.15 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven; บริษัท Memmert, ประเทศเยอรมนี)

2.16 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (รุ่น EM/4, บริษัท Juliabo Labortechnik, ประเทศเยอรมนี)

2.17 ตู้บ่มควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ (รุ่น KBF240, บริษัท Scientific Promotion Co., Ltd., ประเทศไทย)

2.18 ตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray Dryer; บริษัท Kang Seng Lee Machinery (1960) Ltd., Part, ประเทศไทย)

2.19 เครื่องบดตัวอย่างแห้ง (Ultra-centrifugal mill; รุ่น ZM1, บริษัท Retsch, ประเทศเยอรมนี)

2.20 ตู้เย็น (รุ่น SF-C65, บริษัท Sanyo Co., Ltd., ประเทศไทย)

2.21 เครื่องปั่นอาหาร (Blender; รุ่น MX-T2GN, บริษัท A.P. National Sales, ประเทศไต้หวัน)

2.22 เครื่องนึ่งอาหารไฟฟ้า (รุ่น HS-639, บริษัท Freedom Development, ประเทศไต้หวัน)

2.23 เครื่องรีดเป็นแผ่น (รุ่น 150 mm-DELUXE, บริษัท Atlas, ประเทศอิตาลี)

2.24 เครื่องทอดอาหารแบบควบคุมอุณหภูมิ (รุ่น Professional 35, บริษัท Efritel, ประเทศเบลเยียม)

2.25 เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermocouple; รุ่น Rixen T-60, บริษัท Aquaair, ประเทศไทย)

2.26 นาฬิกาจับเวลา

2.27 พิมพ์กด

2.28 เวอร์เนียคาลิปเปอร์ (Verniercalipper; บริษัท Mitutoyo, ประเทศญี่ปุ่น)

2.29 เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (รุ่น Testo 65, บริษัท Testo GmbH&Co., ประเทศเยอรมนี)

2.30 เครื่องวัดสี (Hunter Lab; รุ่น Miniscan XE, บริษัท Hunter Associates Laboratory, Inc., ประเทศสหรัฐอเมริกา)

2.31 เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyser; รุ่น TA-XT Plus 2, บริษัท Stable Micro Systems Ltd., ประเทศอังกฤษ)

2.32 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (รุ่น B-342, B-414, B-426, บริษัท Buchi, ประเทศสวิสเซอร์แลนด์)

2.33 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (รุ่น Soxtec system HT 1043, บริษัท Tecator, ประเทศสวีเดน)

2.34 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยหยาบ (รุ่น fibertec system M 1020, บริษัท Tecator, ประเทศสวีเดน)

2.35 เตาเผา (Muffle furnance; รุ่น FSE-621, บริษัท Sanyo Gallenkamo, ประเทศอังกฤษ)

2.36 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-เบส (pH meter; รุ่น 410A, บริษัท Orion Research, Inc., ประเทศสหรัฐอเมริกา

2.37 เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge; รุ่น Damon/IEC Division จากบริษัท IEC Clinical Centrifuge ประเทศสหรัฐอเมริกา)

2.38 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดลำแสง (Scanning electron microscope; รุ่น JSM-5600LV, บริษัท JEOL, ประเทศอังกฤษ)

2.39 เครื่องวัดความหนืดแบบบรูคฟิลด์ (Brookfield viscometer; รุ่น RV DV-III+, บริษัท Brookfield Engineering Labs Inc., ประเทศสหรัฐอเมริกา)

2.40 อุปกรณ์เครื่องแก้ว

3. สารเคมี

3.1 เอทานอล (Analytical grade, บริษัท Merck, ประเทศเยอรมนี)

3.2 กรดแกลลิก (Gallic acid; Analytical grade, บริษัท Sigma-Aldrich, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

3.3 โฟลิน-ซีโอคาลทู (Folin-Ciocalteu reagent; Analytical grade, บริษัท Sigma-Aldrich, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

3.4 โซเดียมคาร์บอเนต (Analytical grade, บริษัท Ajax Finechem, ประเทศนิวซีแลนด์)

3.5 เมทานอล (Analytical grade, บริษัท Merck, ประเทศเยอรมนี)

3.6 กรดแอสคอร์บิก (L-ascorbic; Analytical grade, บริษัท Sigma-Aldrich, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

3.7 ไดฟีนิลไพคริลไฮดราซิล (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl หรือ DPPH; Analytical grade, บริษัท Sigma-Aldrich, ประเทศเยอรมนี)

3.8 เฮกเซน (Analytical grade, บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี)

3.9 สารเคมีในการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ได้แก่ กรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 95 ถึง 97, คอปเปอร์ซัลเฟต, โซเดียมไฮดรอกไซด์, กรดบอริก, โพแทสเซียมซัลเฟต, กรดไฮโดรคลอริก, เมทิลเรด, และโบรโมครีซอลกรีน

3.10 สารเคมีในการวิเคราะห์ปริมาณไขมัน ได้แก่ ปิโตรเลียมอีเทอร์

3.11 สารเคมีในการวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยหยาบ ได้แก่ ออกทาแนล (n-octanal), โซเดียมไฮดรอกไซด์

4. อุปกรณ์ประมวลผล และวิเคราะห์ผลทางสถิติ

4.1 เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์

4.2 โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 12

วิธีการ

1. ตรวจสอบ และเตรียมสมุนไพร 3 ชนิด เพื่อคัดเลือก

1.1 ตรวจสอบคุณภาพทางเคมีของสมุนไพรทั้ง 3 ชนิด คือ เปลือกอบเชย, รากชะเอมเทศ, และใบสะระแหน่สด

1.1.1.1 ความชื้น ตามวิธีของ A.O.A.C. (2000) หมายเลข 941.11

1.1.1.2 ปริมาณไขมัน ตามวิธีของ A.O.A.C. (2000) หมายเลข 920.39

1.1.1.3 ปริมาณเส้นใยหยาบ ตามวิธีของ A.O.A.C. (2000) หมายเลข 920.169

1.1.1.4 ปริมาณเถ้า ตามวิธีของ A.O.A.C. (2000) หมายเลข 942.05

1.2 เตรียมสมุนไพร

นำใบสะระแหน่สดมาทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบเยือกแข็ง และนำสมุนไพร 3 ชนิด มาบดละเอียดโดยใช้เครื่องบดตัวอย่างแห้ง แล้วร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 80 เมช ได้ผงสมุนไพร นำไปบรรจุในถุงพอลิเอทิลีนเพาซ์ (polyethelene pouches) ปิดผนึกสนิท เพื่อป้องกันความชื้น อากาศ แสง และกลิ่นต่าง ๆ จากภายนอก เก็บรักษาในตู้แช่เยือกแข็ง -18 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์ต่อไป

1.3 เตรียมสารสกัดจากผงสมุนไพร (ดัดแปลงมาจากวิธีของ Cosio *et al.*, 2006)

นำผงสมุนไพรแต่ละชนิดมา 0.625 กรัม ผสมเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดเซนทริฟิวส์ และทำให้ผงสมุนไพรกระจายตัวโดยใช้คลื่นเสียงจากเครื่องโซนิเคเตอร์ เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำหลอดเซนทริฟิวส์มาเหวี่ยงแยกตะกอนผงสมุนไพรที่ความเร็ว 1,500 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที และนำตะกอนผงสมุนไพรในหลอดเซนทริฟิวส์มาสกัดซ้ำเช่นเดียวกับวิธีข้างต้นอีก จากนั้นแยกสารละลายส่วนใสทั้งหมดมาเก็บรักษาไว้ในตู้แช่เยือกแข็ง -18 องศาเซลเซียส

1.4 ตรวจสอบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดจากผงสมุนไพร โดยใช้วิธี Total phenols assay (ดัดแปลงมาจากวิธีของ Matkowski and Piotrowska, 2006)

นำสารสกัดจากผงสมุนไพรแต่ละชนิดมา 0.1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง เติมน้ำกลั่น 0.5 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารโฟลิน-ซีโอคาลทู (Folin-Ciocalteu reagent) 0.1 มิลลิลิตร ทิ้งไว้นาน 6 นาที เติมโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้นร้อยละ 7 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร วางไว้ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกเข้มข้น 20 ถึง 100 ppm (ดังแสดงในภาคผนวกที่ ข1) แล้วนำมาคำนวณเป็นมิลลิกรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้งของผงสมุนไพร 1 กรัม

1.5 ตรวจสอบปริมาณสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระของสารสกัดจากผงสมุนไพร โดยใช้วิธี DPPH assay (ดัดแปลงมาจากวิธีของ Cai *et al.*, 2006)

ปิเปตสารสกัดจากผงสมุนไพรแต่ละชนิด 0.1 มิลลิลิตร เติมสารละลาย DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) เข้มข้นร้อยละ 0.1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน วางทิ้งไว้ในที่มืด ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิกเข้มข้น 20 ถึง 100 ppm (ดังแสดงในภาคผนวกที่ ข2) แล้วนำมาคำนวณเป็นมิลลิกรัมเทียบเท่าวิตามินซีต่อน้ำหนักแห้งของผงสมุนไพร 1 กรัม

2. ตรวจสอบคาร์โบไฮเดรต 3 ชนิด

ตรวจสอบคุณภาพทางเคมี (ความชื้น และความเป็นกรด-เบส) เคมีเชิงฟิสิกส์ (ความหนืด) และจุลินทรีย์ (ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด, ยีสต์ และรา, โคลิฟอร์ม, และซัลโมเนลลา) ของคาร์โบไฮเดรต 3 ชนิด คือ สตาร์ชดัดแปร, มอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12, และ 16 ถึง 20

2.1 ความชื้น ตามวิธีของ AACC (2000) หมายเลข 44-15A

ชั่งน้ำหนักคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิดประมาณ 2 กรัม อบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำตัวอย่างออกมาทิ้งให้เย็นในเดสิกเคเตอร์ และชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณปริมาณความชื้น (ร้อยละ)

2.2 ความเป็นกรด-เบส ด้วยเครื่อง pH meter รุ่น 410A ตามวิธีของ AOAC (2000) หมายเลข 943.02

เตรียมสารละลายคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิดที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 แล้วนำไปวัดค่าความเป็นกรด-เบส ด้วยเครื่อง pH meter

2.3 ความหนืด

เตรียมสารละลายคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิดเข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 โดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลาย นำสารละลายคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นวัดความหนืดของสารละลายคาร์โบไฮเดรตด้วยเครื่องวัดความหนืดแบบบรูคฟิลด์ (Brookfield viscometer) ที่อุณหภูมิ 28±1 องศาเซลเซียส โดยกวนสารละลายคาร์โบไฮเดรตให้เข้ากันก่อนวัดความหนืด ด้วยหัววัด UL ทรงกระบอก ที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที นาน 30 วินาที และใช้สารละลายคาร์โบไฮเดรตปริมาตร 16 มิลลิลิตร (ดัดแปลงมาจากวิธีของ Xu and Hanna, 2006)

2.4 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count) วิเคราะห์ตาม BAM (2001) ดังแสดงในภาคผนวก ก2 ข้อ 2.2

2.5 ยีสต์ และรา วิเคราะห์ตาม BAM (2001) ดังแสดงในภาคผนวก ก2 ข้อ 2.3

2.6 โคลิฟอร์ม (Coliform) ตามวิธี most probable number technique (MPN) วิเคราะห์ตาม BAM (2001) ดังแสดงในภาคผนวก ก4 ข้อ 2.4

2.7 ซัลโมเนลลา (*Sallmonellae*) วิเคราะห์ตาม BAM (2001) ดังแสดงในภาคผนวก ก2 ข้อ 2.5

3. ผลิตไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต 3 ชนิด ที่กักเก็บผงสมุนไพร และเปรียบเทียบประสิทธิภาพ

3.1 เตรียมตัวอย่าง และสภาวะที่ใช้ผลิตไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตในการกักเก็บผงสมุนไพร

นำผงสมุนไพรชนิดที่มีปริมาณสารให้ความสามารถต้านออกซิเดชันสูงที่สุดมา 1 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ผสมกับสารละลายคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด (ทั้งหมด 3 ชนิด) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ในอัตราส่วนสมุนไพรต่อสารละลายคาร์โบไฮเดรตเป็น 1 ต่อ 100 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) กวนให้สมุนไพรกระจายตัวทั่วกันโดยใช้แท่งแม่เหล็กกวนตลอดเวลา แล้วนำแต่ละตัวอย่างเข้าเครื่องทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอย ซึ่งอุณหภูมิที่หัวฉีด (inlet temperature) เป็น 180±2 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่ท่อทางออกของอนุภาค (outlet temperature) เป็น 85±5 องศาเซลเซียส ตัวอย่างมีอัตราเร็วการไหลเข้าเครื่อง 25 มิลลิลิตรต่อนาที และที่หัวฉีดมีความเร็ว 11,500 g จากนั้นนำไมโครแคปซูลที่กักเก็บผงสมุนไพรแต่ละตัวอย่างใส่ลงในถุงพอลิเอทิลีน ปิดผนึกให้เรียบร้อย และเก็บไว้ในเดสิกเคเตอร์ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เพื่อทดลองต่อไป

ชั่งน้ำหนักคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด 10, 20, และ 30 กรัม

↓

เติมน้ำกลั่นลงในแต่ละตัวอย่างจนมีปริมาตรครบ 100 มิลลิลิตร

↓

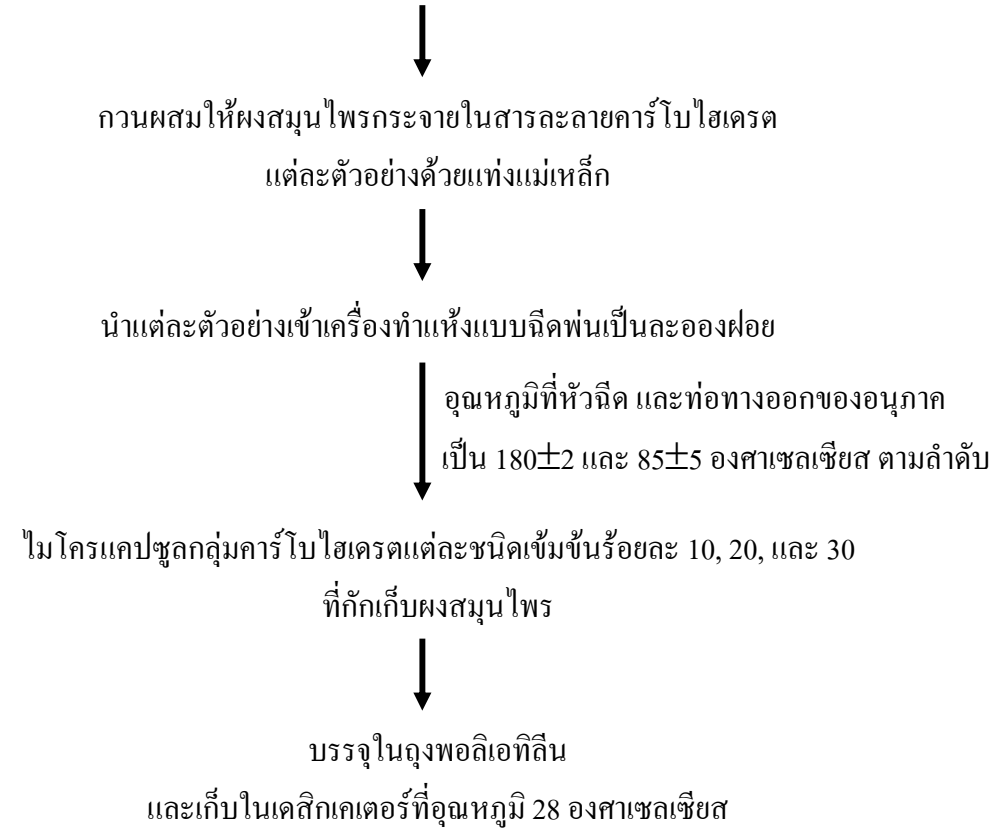
สารละลายคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิดเข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30

↓

เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

↓

นำสารละลายคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิดเข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ผสมกับผงสมุนไพร 1 กรัม



ภาพที่ 9 วิธีผลิตไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิดเข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่กักเก็บผงสมุนไพร

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก Krishnan *et al.* (2005)

3.2 ตรวจสอบคุณภาพทางเคมี และฟิสิกส์ของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงสมุนไพร

3.2.1 ร้อยละผลได้ (% yield) (ดัดแปลงมาจากวิธีของ Xu and Hanna, 2006)

ร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงสมุนไพรคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักแห้งของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงสมุนไพรแต่ละตัวอย่าง ซึ่งได้จากกระบวนการเอนแคปซูเลชันต่อน้ำหนักของผงสมุนไพร และคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิดเริ่มต้น

$$\text{ร้อยละผลได้} = \frac{\text{น้ำหนักของไมโครแคปซูลที่กักเก็บผงสมุนไพร} \times 100}{(\text{น้ำหนักของผงสมุนไพรเริ่มต้น} + \text{น้ำหนักของคาร์โบไฮเดรตเริ่มต้น})}$$

3.2.2 ความชื้น (A.O.A.C., 2000)

ตรวจสอบปริมาณความชื้นของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดด้วยวิธีเช่นเดียวกับข้อ 2.1

3.2.3 ร้อยละผงสมุนไพรในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต ดัดแปลงมาจากวิธีของ Kaushik and Roos, 2007; Loksuwan, 2007)

ชั่งน้ำหนักไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่กักเก็บผงสมุนไพร ตัวอย่างละ 1 กรัม ผสมกับน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใช้แท่งแม่เหล็กกวนเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปเหวี่ยงแยกตะกอนผงสมุนไพรโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 980 g ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำตะกอนผงสมุนไพรเข้าตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ทราบน้ำหนักของผงสมุนไพรในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละตัวอย่าง 1 กรัม ซึ่งนำมาใช้คำนวณร้อยละผงสมุนไพรในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตได้จากอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของผงสมุนไพรในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตต่อน้ำหนักของผงสมุนไพรทั้งหมดก่อนผ่านกระบวนการเอนแคปซูเลชัน

$$\text{ร้อยละผงสมุนไพรในไมโครแคปซูล} = \frac{\text{น้ำหนักของผงสมุนไพรในไมโครแคปซูล} \times 100}{\text{น้ำหนักของผงสมุนไพรเริ่มต้น}}$$

3.2.4 ตรวจสอบรูปร่าง และขนาดของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงสมุนไพร

เตรียมตัวอย่างไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิดเข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่กักเก็บผงสมุนไพร ดังรายละเอียดในภาคผนวกที่ ค1 แล้วถ่ายภาพไมโครแคปซูลทั้งหมด โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดลำแสง (Scanning electron microscope; SEM) สังเกตรูปร่าง และวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละ

ชนิดเข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่กักเก็บผงสมุนไพร ตัวอย่างละ 350 อนุภาค เทียบกับขนาดสเกลของแต่ละภาพ ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า คิดเป็นสัดส่วนโดยน้ำหนักของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิดที่กักเก็บผงสมุนไพร (ร้อยละ) วิธีนี้ใช้วัดขนาดของไมโครแคปซูลที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยตั้งแต่ 0.02 ถึง 1,000 ไมโครเมตร (Barbosa-Cánovas *et al.*, 2005)

3.3 ตรวจสอบปริมาณสารให้ความสามารถต้านออกซิเดชันของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงสมุนไพร

3.3.1 เตรียมสารสกัดจากไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงสมุนไพร (ดัดแปลงมาจากวิธีของ Cosio *et al.*, 2006)

ชั่งน้ำหนักไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิดเข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่กักเก็บผงสมุนไพร ตัวอย่างละ 2 กรัม ผสมกับน้ำกลั่นปริมาตร 25 มิลลิลิตร ใช้แท่งแม่เหล็กกวนให้ไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงสมุนไพรละลาย เป็นเวลา 5 นาที และเติมเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร เทตัวอย่างลงในหลอดเซนทริฟิวส์ และทำให้ผงสมุนไพรกระจายตัวโดยใช้คลื่นเสียงจากเครื่องโซนิเคเตอร์ เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำหลอดเซนทริฟิวส์มาเหวี่ยงแยกตะกอนที่ความเร็ว 150 g ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที และนำตะกอนผงสมุนไพรในหลอดเซนทริฟิวส์มาสกัดซ้ำเช่นเดียวกับวิธีข้างต้น จากนั้นแยกสารละลายส่วนใสทั้งหมดมาเก็บรักษาไว้ในตู้แช่เยือกแข็ง -18 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระต่อไป

3.3.2 ตรวจสอบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในสารสกัดจากไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงสมุนไพร โดยใช้วิธี Total phenols assay (ดัดแปลงมาจากวิธีของ Matkowski and Piotrowska, 2006)

ทำตามวิธีการเช่นเดียวกับข้อ 1.4 แล้วนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกเข้มข้น 20 ถึง 100 ppm (ดังแสดงในภาคผนวกที่ ข3) แล้วนำมาคำนวณเป็นมิลลิกรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อน้ำหนัก 1 กรัมของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงสมุนไพร และคูณด้วยร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงสมุนไพร ทราบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผงสมุนไพรในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต

มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงสมุนไพร

3.3.3 ตรวจสอบปริมาณสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระในสารสกัดจากไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงสมุนไพร โดยใช้วิธี DPPH assay (ดัดแปลงมาจากวิธีของ Cai *et al.*, 2006)

ทำตามวิธีการเช่นเดียวกับข้อ 1.5 แล้วนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิกเข้มข้น 20 ถึง 100 ppm (ดังแสดงในภาคผนวกที่ ข4) แล้วนำมาคำนวณเป็นมิลลิกรัมเทียบเท่าวิตามินซีต่อน้ำหนัก 1 กรัมของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงสมุนไพร และคูณด้วยร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงสมุนไพร ทราบปริมาณสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระของผงสมุนไพรที่อยู่ภายในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมเทียบเท่าวิตามินซีต่อร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงสมุนไพร

3.4 ตรวจสอบปริมาณสารให้กลิ่นรสหลักของผงสมุนไพรในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต โดยใช้เทคนิคสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

3.4.1 ตรวจสอบระดับความยาวคลื่นที่เหมาะสมในการวัดปริมาณสารให้กลิ่นรสหลักของผงสมุนไพรในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต (ดัดแปลงมาจาก A.O.A.C., 2000)

เตรียมสารมาตรฐานให้กลิ่นรสหลักของสมุนไพรที่ความเข้มข้น 2, 4, 6, 8, และ 10 ppm เจือจางโดยใช้เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 60 แล้วนำมาสแกนหาระดับความยาวคลื่นที่เหมาะสมที่สุด (อ่านค่าได้สูงที่สุด) ในช่วง 200 ถึง 400 นาโนเมตร สแกนทุก ๆ 3 นาโนเมตร โดยใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

3.4.2 เตรียมสารสกัดจากไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงสมุนไพร (ดัดแปลงมาจากวิธีของ Cosio *et al.*, 2006)

ชั่งน้ำหนักไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิดเข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่กักเก็บผงสมุนไพร ตัวอย่างละ 2 กรัม ผสมกับน้ำกลั่นปริมาตร 25 มิลลิลิตร เติมเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 60 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร เทตัวอย่างลงในหลอดเซนทริฟิวส์ และทำให้ผงสมุนไพรกระจายตัวโดยใช้คลื่นเสียงจากเครื่องโซนิเคเตอร์ เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำหลอดเซนทริฟิวส์มาเหวี่ยงแยกตะกอนผงสมุนไพรที่ความเร็ว 150 g ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที และนำตะกอนผงสมุนไพรในหลอดเซนทริฟิวส์มาสกัดซ้ำเช่นเดียวกับวิธีข้างต้น จากนั้นแยกสารละลายส่วนใสมาเก็บรักษาไว้ในตู้แช่เยือกแข็ง -18 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับข้อ 3.3.1

3.4.3 เปรียบเทียบปริมาณสารให้กลิ่นรสหลักของผงสมุนไพรในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต (ดัดแปลงมาจาก A.O.A.C., 2000)

ปิเปตสารสกัดไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิดเข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่กักเก็บผงสมุนไพร มาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่เหมาะสมจากข้อ 3.4.1 โดยใช้เครื่องสเปกโทรโฟโทมิเตอร์ แล้วนำค่าที่ได้เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารซินนามอลดีไฮด์ของสมุนไพรเข้มข้น 2 ถึง 10 ppm (ดังแสดงในภาคผนวกที่ ข5) และคูณด้วยร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงสมุนไพร ทราบปริมาณสารให้กลิ่นรสหลักของผงสมุนไพรในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต มีหน่วยเป็น ppm

4. การผลิตข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอก และเปรียบเทียบคุณภาพการคลุกผงสมุนไพร

4.1 เตรียมแป้งข้าวกล้องเริ่มงอกจากข้าวเจ้า และข้าวเหนียวกล้องปกติ (ดัดแปลงมาจากวิธีของสายัณห์ และคณะ, 2549)

นำข้าวกล้อง 2 พันธุ์ คือ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ข้าวเจ้า) และพันธุ์กข 6 (ข้าวเหนียว) มาทำความสะอาด โดยล้างน้ำ 3 รอบ แล้วนำมาแช่น้ำกลั่นในอัตราส่วนข้าวกล้องต่อน้ำเป็น 1 ต่อ 3 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เทน้ำทิ้ง นำเมล็ดข้าวกล้องทั้ง 2 พันธุ์มาบ่มให้เริ่มงอก โดยเกลี่ยให้เมล็ดข้าวกล้องกระจายตัวบาง ๆ บนถาดที่ปูด้วยผ้าขาวบางชุบน้ำ

หมาด ๆ จากนั้นนำผ้าขาวบางชุบน้ำหมาด ๆ วางปิดทับเมล็ดข้าวกล้องอีกชั้นหนึ่ง แล้วนำแผ่นพลาสติกใสสำหรับห่ออาหารมาปิดให้ทั่วผิวหน้าถาด เพื่อป้องกันเมล็ดข้าวกล้องสูญเสียความชื้นในระหว่างการบ่มให้เริ่มงอก นำเข้าตู้บ่มควบคุมอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ที่ร้อยละ 80 เป็นเวลา 17 ชั่วโมง นำข้าวกล้องเริ่มงอกทั้ง 2 พันธุ์ มาทำแห้งในตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 40±5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำมาบดละเอียดโดยใช้เครื่องบดตัวอย่างแห้ง ร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช ได้แป้งข้าวกล้องเริ่มงอก นำไปบรรจุในถุงพลาสติกพอลิเอทิลีนปิดผนึกสนิท เก็บรักษาในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอก

4.2 การผลิตข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงสมุนไพร (ดัดแปลงมาจากวิธีของสายัณห์ และคณะ, 2549)

นำแป้งข้าวเจ้ากล้องเริ่มงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และข้าวเหนียวกล้องเริ่มงอกพันธุ์กข 6 ผสมกันในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก ค่อย ๆ เติมน้ำลงไป 0.6 เท่าของน้ำหนักแป้งข้าวกล้องเริ่มงอกทั้งหมด (น้ำหนักแห้ง) นวดผสมจนแป้งเริ่มจับตัวเป็นก้อนประมาณ 5 นาที จากนั้นนำไปนึ่งด้วยเครื่องนึ่งอาหารไฟฟ้า 15 นาที โดยเกลี่ยให้แป้งกระจายทั่วผ้าขาวบาง แล้วกลับแป้งจากด้านบนลงล่าง และนึ่งต่ออีก 15 นาที จากนั้นนำแป้งมานวดให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วนำมาขึ้นรูป โดยใช้เครื่องรีดเป็นแผ่นที่ความหนาระดับ 3 ใช้พิมพ์กดแผ่นแป้งให้มีรูปร่างตามต้องการ นำมาทำแห้งในตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 50±5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และนำมาทอดด้วยเครื่องทอดอาหารแบบควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 ถึง 10 วินาที ได้ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกสูตรควบคุม (ไม่คลุกสมุนไพร) แล้วนำมาบรรจุในถุงพอลิเอทิลีน ปิดผนึกให้เรียบร้อย เพื่อป้องกันความชื้น

4.3 ตรวจสอบคุณภาพทางเคมี ฟิสิกส์ เคมีเชิงฟิสิกส์ และจุลินทรีย์ของข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอก

4.3.1 ความชื้น

นำข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกบดละเอียดด้วยเครื่องปั่นอาหาร นาน 1 นาที ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 2.00 กรัม มาวิเคราะห์หาความชื้นตามวิธี AACC (2000) หมายเลข 44-15A

4.3.2 ปริมาณไขมัน

นำข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกบดละเอียดด้วยเครื่องปั่นอาหาร นาน 1 นาที ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 2.00 กรัม มาวิเคราะห์หาปริมาณไขมันตามวิธี A.O.A.C. (2000)

4.3.3 วอเตอร์แอกทิวิตี (water activity; a_w)

นำข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกบดละเอียดด้วยเครื่องปั่นอาหาร นาน 1 นาที ตักตัวอย่างใส่ลงในถ้วยวัดวอเตอร์แอกทิวิตี สูง 2 ใน 3 ส่วนของถ้วย แล้ววัดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส โดยอ่านค่าตัวเลขทันทีหลังจากหน้าจอของเครื่องแสดงสัญลักษณ์ $\rightleftharpoons$ โดยค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของเครื่องก่อนวัดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของตัวอย่างควรมีค่าความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่าร้อยละ 25 (ดัดแปลงวิธีมาจากคู่มือการใช้เครื่องวัดวอเตอร์แอกทิวิตี ผลิตโดยบริษัท Testo GmbH&Co.)

4.3.4 อัตราส่วนการขยายตัว (2 มิติ) และการพองตัว (3 มิติ) (ดัดแปลงมาจากวิธีของ Suknark *et al*., 1999)

อัตราส่วนการขยายตัวของข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่างหลังทอดลบกับก่อนทอดต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่างก่อนทอด (เท่า) โดยอุปกรณ์ที่ใช้วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่างคือเวอร์เนียคาลิปเปอร์

อัตราส่วนการพองตัวของข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกหาได้จากการวัดปริมาตรของตัวอย่างก่อน และหลังทอด โดยนำเมล็ดงาเทใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จนเต็ม แล้ววัดปริมาตรของเมล็ดงาทั้งหมดในบีกเกอร์ด้วยกระบอกตวง จากนั้นนำตัวอย่างข้าวเกรียบก่อนทอด หรือหลังทอด 1 ชิ้น ใส่ในบีกเกอร์ เทเมล็ดงาจนเต็มบีกเกอร์ แล้ววัดปริมาตรของเมล็ดงาในบีกเกอร์ ทราบปริมาตรตัวอย่างข้าวเกรียบก่อนทอด หรือหลังทอด และนำค่าที่ได้มาคำนวณอัตราส่วนระหว่างปริมาตรของตัวอย่างหลังทอดต่อปริมาตรตัวอย่างก่อนทอด (เท่า)

4.3.5 สี

นำข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกมาบดละเอียดด้วยเครื่องปั่นอาหาร นาน 1 นาที ตักใส่จานแก้วใส (plate) ที่มีฝาแก้วปิด ประมาณ 2 ใน 3 ของภาชนะ ตรวจวัดด้วยเครื่องวัดสี (Hunter Lab รุ่น Miniscan XE) และบันทึกค่าของสีที่วัดได้ในระบบ Hunter Lab เป็น L (ค่าความสว่างของสี), a (-a คือค่าความเป็นสีเขียว และ +a คือค่าความเป็นสีแดง), และ b (-b คือค่าความเป็นสีน้ำเงิน และ +b คือค่าความเป็นสีเหลือง) (ดัดแปลงวิธีมาจากคู่มือการใช้เครื่องวัดสี ผลิตโดยบริษัท Hunter Associates Laboratory, Inc.)

4.3.6 เนื้อสัมผัส โดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

วัดเนื้อสัมผัสของข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyser) ดัดแปลงวิธีมาจากคู่มือการใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ผลิตโดยบริษัท Stable Micro Systems Ltd. ใช้หัววัด ¼ Ball Probe (P/0.25S) กดลงบนจุดศูนย์กลางของตัวอย่างข้าวเกรียบด้วยแรงคงที่ 5 กรัม เป็นระยะทาง 5 มิลลิเมตรของความสูงของตัวอย่าง วิเคราะห์ผลค่าแรงกดสูงสุดเป็นค่าความแข็ง (hardness) ดังแสดงวิธีในภาคผนวกที่ ง1 ทำ 6 ซ้ำ (ดัดแปลงวิธีมาจากคู่มือการใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ผลิตโดยบริษัท Stable Micro Systems Ltd.)

4.3.7 จุลินทรีย์

สุ่มตัวอย่างข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกหลังการผลิตมาตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count) ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมข้าวเกรียบ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2530) โดยวิเคราะห์ตาม BAM (2001)

4.4 การผลิต และตรวจสอบคุณภาพทางเคมี และฟิสิกส์ของข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกผงสมุนไพร และคลุกไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงสมุนไพร

4.4.1 ทดสอบปริมาณไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงสมุนไพรที่เหมาะสมในการคลุกผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอก

นำไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงสมุนไพรจากข้อ 3.1 ที่มีปริมาณสารให้ความสามารถต้านออกซิเดชัน และสารให้กลิ่นรสสูงที่สุดมาใช้คลุกข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอก โดยนำผลิตภัณฑ์จากข้อ 3.2 มาคลุกผงไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงสมุนไพร ปริมาณร้อยละ 0.15, 0.30, 0.50, และ 0.70 แล้วนำผลิตภัณฑ์มาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยวิธีการให้คะแนนความชอบ (9-point hedonic scale) ในด้านลักษณะปรากฏ สี ความกรอบ กลิ่นรสผลิตภัณฑ์ และความชอบโดยรวม เพื่อคัดเลือกปริมาณไมโครแคปซูลที่ผู้บริโภคยอมรับ และนำไปใช้เป็นเกณฑ์กำหนดปริมาณผงสมุนไพรในการคลุกผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอก โดยปริมาณผงสมุนไพรที่ใช้เทียบเท่ากับปริมาณผงสมุนไพรใน ไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต

4.4.2 ตรวจสอบคุณภาพทางเคมี ฟิสิกส์ และเคมีเชิงฟิสิกส์ ของข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกผงสมุนไพร และไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงสมุนไพรสูงที่สุดในปริมาณที่ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัส

4.4.2.1 วอเตอร์แอกทิวิตี (water activity; a_w)

วัดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของข้าวเกรียบข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกทั้งหมดด้วยวิธีเดียวกับข้อ 4.3.3

4.4.2.2 สี

วัดค่าสีของข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกผงสมุนไพร และไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงสมุนไพรด้วยวิธีเดียวกับข้อ 4.3.5

4.4.2.3 ร้อยละการเกาะติด

ตรวจสอบร้อยละการเกาะติดของข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงสมุนไพร โดยคำนวณจากอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงสมุนไพรก่อนคลุกข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกลบกับไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงสมุนไพรที่เหลืออยู่ภายหลังคลุกผลิตภัณฑ์ต่อน้ำหนักของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงสมุนไพรก่อนคลุกข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอก

4.4.2.4 เนื้อสัมผัส โดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

วัดเนื้อสัมผัสของข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกผงสมุนไพร และไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงสมุนไพรด้วยวิธีเดียวกับข้อ 4.3.6

5. เปรียบเทียบอายุการเก็บรักษาของข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอก 3 ลักษณะ

สุ่มตัวอย่างข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุก คลุกผงสมุนไพร และคลุกไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงสมุนไพร มาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2, 4, และ 6 สัปดาห์ เปรียบเทียบกับข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุก คลุกผงสมุนไพร และคลุกไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงสมุนไพรก่อนเก็บรักษา มาตรวจสอบคุณภาพทางเคมี ดังนี้

5.1 วอเตอร์แอกทิวิตี

วัดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกทั้งหมดด้วยวิธีเดียวกับข้อ 4.3.3

5.2 กลิ่นหืน (ดัดแปลงมาจากวิธีของ Shimada, 1991)

นำตัวข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกแต่ละลักษณะบดละเอียดด้วยเครื่องปั่นผสม นาน 1 นาที ตักตัวอย่าง 1 กรัม เพื่อสกัดเอาไขมันออกจากตัวอย่างโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซน ปริมาตร 10 มิลลิลิตร กวนตัวอย่างโดยใช้เครื่องเขย่า (shaker) ความเร็ว 60 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที กรองแยกตะกอนด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 จากนั้นนำสารละลายส่วนใสมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 234 และ 270 นาโนเมตร เป็นการติดตามแนวโน้มการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะคู่ และพันธะสามในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว

6. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

คำนวณผลการทดลอง และวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Complete Randomized Design; CRD) วิเคราะห์ผลคุณภาพทางประสาทสัมผัสใช้แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized complete block design; RCBD) วิเคราะห์ความแปรปรวนใช้ ANOVA ในโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 12 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธีดันแคน (Duncan's Multiple Range Test; DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

7. สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการ Rice and Starch ห้องปฏิบัติการ Physical property อาคารแปรรูปของคณะอุตสาหกรรมเกษตร และงานกล้องจุลทรรศน์ ชั้น 1 อาคารปฏิบัติการวิจัยกลาง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

8. ระยะเวลาทำการวิจัย

เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2549 ถึงเดือนมิถุนายน 2551

ผลและวิจารณ์

งานวิจัยนี้แบ่งการทดลองออกเป็นห้าส่วน ส่วนที่หนึ่งเป็นการคัดเลือกสมุนไพรที่มีกลิ่นรส 3 ชนิด คือ เปลือกอบเชย รากชะเอมเทศ และใบสะระแหน่ และมีสารให้ความสามารถต้านออกซิเดชันสูงที่สุด ส่วนที่สอง ตรวจสอบคุณภาพคาร์โบไฮเดรต 3 ชนิด คือ สตาร์ชดัดแปร, มอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12, และ 16 ถึง 20 ส่วนที่สาม เปรียบเทียบชนิดของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต 3 ชนิด เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ในการกักเก็บผงสมุนไพรที่มีปริมาณสารให้ความสามารถต้านออกซิเดชัน และสารให้กลิ่นรสสูงที่สุดจากส่วนที่หนึ่ง โดยวัดปริมาณสารให้ความสามารถต้านออกซิเดชันของผงสมุนไพร และไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงสมุนไพรจากปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระ สำหรับส่วนที่สี่เป็นการนำไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่ผ่านการคัดเลือกจากส่วนที่สาม มาเคลือบข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอก เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมี ฟิสิกส์ และประสาทสัมผัสกับข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่เคลือบ และเคลือบผงสมุนไพร และส่วนที่ห้า เปรียบเทียบอายุการเก็บรักษาของข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกคลุกผงสมุนไพร และคลุกไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงสมุนไพรซึ่งได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสจากส่วนที่สี่ เป็นเวลา 6 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

1. ผลการคัดเลือกสมุนไพรให้กลิ่นรส 3 ชนิด ที่มีปริมาณสารให้ความสามารถต้านออกซิเดชันสูงที่สุด

1.1 ผลการตรวจสอบคุณภาพทางเคมีของสมุนไพร 3 ชนิด

เมื่อนำสมุนไพร 3 ชนิด คือ เปลือกอบเชย รากชะเอมเทศ และใบสะระแหน่สด ซึ่งบดละเอียดโดยใช้เครื่องบดตัวอย่างแห้ง มาตรวจสอบคุณภาพทางเคมีคือ ความชื้น ไขมัน เส้นใย หยาบ และเถ้า แสดงผลในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของสมุนไพร 3 ชนิด

ชนิดสมุนไพร	องค์ประกอบทางเคมีของสมุนไพร[1]			
	ความชื้น (ร้อยละ)	ไขมัน (ร้อยละ)[2]	เส้นใยหยาบ (ร้อยละ)[2]	เถ้า (ร้อยละ)[2]
เปลือกอบเชย	9.70 ± 0.18 b	0.15 ± 0.02 c	16.70 ± 0.24 a	4.27 ± 0.01 b
กิ่งชะเอมเทศ	8.67 ± 0.17 c	1.09 ± 0.06 b	17.98 ± 1.99 a	6.32 ± 0.02 a
ใบสะระแหน่สด	91.88 ± 0.15 a	2.47 ± 0.04 a	0.66 ± 0.06 b	1.00 ± 0.00 c

หมายเหตุ [1] ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

[2] วิเคราะห์ที่ร้อยละน้ำหนักแห้งของไขมัน เส้นใย และเถ้า

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของสมุนไพร 3 ชนิด ปรากฏว่า เปลือกอบเชยมีปริมาณความชื้น (ร้อยละ 9.70) ต่ำกว่าใบสะระแหน่สด (ร้อยละ 91.88) แต่สูงกว่ากิ่งชะเอมเทศ (ร้อยละ 8.67) ทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สำหรับปริมาณองค์ประกอบทางเคมีอื่นคือ ไขมัน เส้นใยหยาบ และเถ้า เปรียบเทียบค่าที่ร้อยละน้ำหนักแห้งของสมุนไพรทั้ง 3 ชนิด ปริมาณไขมันในสมุนไพรแต่ละชนิดพบว่า เปลือกอบเชยมีปริมาณไขมัน (ร้อยละ 0.15) น้อยที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยใบสะระแหน่ (ร้อยละ 2.47) และกิ่งชะเอมเทศ (ร้อยละ 1.09) มีปริมาณไขมันสูงกว่าเปลือกอบเชยทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนปริมาณเส้นใยหยาบของสมุนไพรแต่ละชนิดพบว่า เปลือกอบเชย (ร้อยละ 16.70) และกิ่งชะเอมเทศ (ร้อยละ 17.98) มีปริมาณเส้นใยหยาบไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) สำหรับใบสะระแหน่มีปริมาณเส้นใยหยาบ (ร้อยละ 0.66) น้อยที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เปลือกอบเชยมีปริมาณเถ้า (ร้อยละ 4.27) ต่ำกว่ากิ่งชะเอมเทศ (ร้อยละ 6.32) แต่สูงกว่าใบสะระแหน่ (ร้อยละ 1.00) ทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดลองข้างต้นแสดงถึงคุณภาพของผงสมุนไพรแต่ละชนิด เปลือกอบเชยเป็นตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งแล้ว มีปริมาณความชื้นต่ำร้อยละ 9.70 อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของอบเชยทางการค้าที่ ASTA (American Spice Trade Association) กำหนดคือ ไม่เกินร้อยละ 14 โดยมีปริมาณไขมันร้อยละ 0.15 ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของอบเชยทางการค้าที่ ASTA กำหนดคือ ร้อยละ 1.5 ถึง 3.0 ซึ่งคุณภาพของอบเชยสามารถแบ่งตามปริมาณไขมันได้เป็น 3 ระดับคือ คุณภาพต่ำ ปานกลาง และสูง ในแต่ละระดับคุณภาพมีปริมาณไขมันอยู่ในช่วงร้อยละ 1.5 ถึง 2.0, 2.1 ถึง 2.5, และ

2.6 ถึง 3.0 ตามลำดับ (Uhl, 2000; Tainter and Grenis, 2001; Raghavan, 2007) เปลือกอบเชยมีปริมาณเส้นใยหยาบร้อยละ 16.70 ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานทางโภชนาการที่ USDA (United States Department of Agriculture) กำหนดคือ ไม่น้อยกว่าร้อยละ 24.40 (Farrell, 1990; Tainter and Grenis, 2001) ส่วนปริมาณเถ้าร้อยละ 4.27 อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของอบเชยทางการค้าที่ ASTA กำหนดคือ ไม่เกินร้อยละ 5 สำหรับใบสะระแหน่มีปริมาณไขมันร้อยละ 2.47 สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานของสะระแหน่แห้งทางการค้าที่ ASTA กำหนดคือ ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.50 (Uhl, 2000) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า เปลือกอบเชยที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้มีคุณภาพต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานทางการค้าเครื่องเทศของสากลกำหนด อาจมีสาเหตุจากเปลือกอบเชยมีอายุน้อยในขณะที่ตัดจำหน่าย จึงทำให้เปลือกอบเชยมีปริมาณไขมัน และเส้นใยหยาบต่ำกว่าที่มาตรฐานทางการค้ากำหนด ซึ่งปริมาณไขมัน และเส้นใยหยาบของพืชขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น อายุของพืช แหล่งเพาะปลูก หรือสภาพภูมิอากาศ และสายพันธุ์ เป็นต้น ส่วนใบสะระแหน่มีคุณภาพตรงตามเกณฑ์มาตรฐานทางการค้าเครื่องเทศของสากลกำหนด

1.2 ปริมาณสารให้ความสามารถต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากผงสมุนไพร โดยใช้วิธี Total phenols assay ได้ค่าเป็นปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และใช้วิธี DPPH assay ในการวัดปริมาณสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระของสาร DPPH

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดจากผงสมุนไพร 3 ชนิดคือ เปลือกอบเชย รากชะเอมเทศ และใบสะระแหน่ โดยใช้เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 เป็นตัวทำละลาย นำสารสกัดจากผงสมุนไพรทั้งหมดมาวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระ แสดงผลในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระของสารสกัดจากผงสมุนไพร 3 ชนิด

ชนิดผงสมุนไพร	ปริมาณสารให้ความสามารถต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากผงสมุนไพร[1]	
	สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้งของผงสมุนไพร 1 กรัม)	สารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระ (มิลลิกรัมเทียบเท่าวิตามินซีต่อน้ำหนักแห้งของผงสมุนไพร 1 กรัม)
อบเชย	81.76 ± 7.22 a	301.66 ± 1.98 a
ชะเอมเทศ	25.91 ± 6.94 b	287.94 ± 0.00 c
ใบสะระแหน่	24.94 ± 2.64 b	291.56 ± 1.32 b

หมายเหตุ [1] ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดจากผงสมุนไพร 3 ชนิด ที่ใช้เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 เป็นตัวทำละลายปรากฏว่า สารสกัดจากผงอบเชยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (81.76 มิลลิกรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้งของผงสมุนไพร 1 กรัม) มากที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนสารสกัดจากผงชะเอมเทศ (25.91 มิลลิกรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้งของผงสมุนไพร 1 กรัม) และผงใบสะระแหน่ (24.94 มิลลิกรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้งของผงสมุนไพร 1 กรัม) มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยสารสกัดจากผงอบเชยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดคิดเป็น 3.16 เท่าของสารสกัดจากผงชะเอมเทศ และ 3.28 เท่าของสารสกัดจากผงใบสะระแหน่

จากผลการทดลองข้างต้นสารสกัดจากผงอบเชยที่ใช้เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 เป็นตัวทำละลายในตารางที่ 4 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (81.76 มิลลิกรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้งของสมุนไพร 1 กรัม) น้อยกว่า 1.46 เท่าของสารสกัดจากผงอบเชยในงานวิจัยของ Shan *et al.* (2005) ซึ่งสกัดสารจากผงอบเชยโดยใช้เมทานอลเข้มข้นร้อยละ 80 เป็นตัวทำละลาย มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 119.00 มิลลิกรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้งของผงสมุนไพร 1 กรัม ซึ่งสูงกว่าสารสกัดจากพืชวงศ์เดียวกับสะระแหน่ (*Mentha canadensis*) ที่ใช้ตัวทำละลายชนิดเดียวกันคือ 51.50 มิลลิกรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้งของผง

สมุนไพร 1 กรัม คิดเป็น 2.31 เท่าของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของพืชวงศ์เดียวกับสะระแหน่ โดยส่วนสารสกัดจากผงใบสะระแหน่ที่ใช้เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 เป็นตัวทำละลายในตารางที่ 4 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (24.94 มิลลิกรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้งของผงสมุนไพร 1 กรัม) น้อยกว่า 2.06 เท่าของสารสกัดจากพืชวงศ์เดียวกับสะระแหน่ (*Mentha canadensis*) ที่ใช้เมทานอลเข้มข้นร้อยละ 80 เป็นตัวทำละลาย (51.50 มิลลิกรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้งของผงสมุนไพร 1 กรัม) แต่สารสกัดจากผงใบสะระแหน่ที่ใช้เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 เป็นตัวทำละลาย มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าสารสกัดจากพืชวงศ์เดียวกับสะระแหน่ (*Mentha piperita*) ในงานวิจัยของ Cosio *et al.* (2006) ซึ่งใช้เมทานอลเข้มข้นร้อยละ 99 เป็นตัวทำละลาย คิดเป็น 1.74 ถึง 2.03 เท่า โดยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ในช่วง 12.3 ถึง 14.3 มิลลิกรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้งของผงสมุนไพร 1 กรัม

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระของสารสกัดจากผงสมุนไพร 3 ชนิด ที่ใช้เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 เป็นตัวทำละลายปรากฏว่า สารสกัดจากผงอบเชยมีปริมาณสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระ (301.66 มิลลิกรัมเทียบเท่าวิตามินซีต่อน้ำหนักแห้งของผงสมุนไพร 1 กรัม) มากที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือ สารสกัดจากผงใบสะระแหน่ (291.56 มิลลิกรัมเทียบเท่าวิตามินซีต่อน้ำหนักแห้งของผงสมุนไพร 1 กรัม) และผงชะเอมเทศ (287.94 มิลลิกรัมเทียบเท่าวิตามินซีต่อน้ำหนักแห้งของผงสมุนไพร 1 กรัม) ทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยสารสกัดจากผงอบเชยมีปริมาณสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระคิดป็น 1.05 เท่าของสารสกัดจากผงชะเอมเทศ และ 1.03 เท่าของสารสกัดจากผงใบสะระแหน่

จากผลการทดลองข้างต้นสารสกัดจากผงอบเชยที่ใช้เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 เป็นตัวทำละลายในตารางที่ 4 มีปริมาณสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระ (301.66 มิลลิกรัมเทียบเท่าวิตามินซีต่อน้ำหนักแห้งของผงสมุนไพร 1 กรัม) เป็น 1.03 เท่าของสารสกัดจากผงใบสะระแหน่ (291.56 มิลลิกรัมเทียบเท่าวิตามินซีต่อน้ำหนักแห้งของผงสมุนไพร 1 กรัม) ซึ่งมีแนวโน้มคล้ายคลึงกับงานวิจัยของ Shan et al. (2005) ที่สกัดสารจากผงอบเชยโดยใช้เมทานอลเข้มข้นร้อยละ 80 เป็นตัวทำละลาย มีปริมาณสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระของสาร $ABTS^{\cdot+}$ (2,2-anizo-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)) 1.08 มิลลิโมลเทียบเท่าสารทรอลอกซ์ต่อน้ำหนักแห้งของผงสมุนไพร 1 กรัม สูงกว่าสารสกัดจากพืชวงศ์เดียวกับสะระแหน่ (*Mentha canadensis*) 0.34 มิลลิโมลเทียบเท่าสารทรอลอกซ์ต่อน้ำหนักแห้งของผงสมุนไพร 1 กรัม คิดเป็น 3.18 เท่าของปริมาณสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระของสารสกัดจากพืชวงศ์เดียวกับสะระแหน่ สารสกัดจากผงใบ

สะระแหน่ที่ใช้เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 เป็นตัวทำละลายในตารางที่ 4 (291.56 มิลลิกรัมเทียบเท่าวิตามินซีต่อน้ำหนักแห้งของสมุนไพร 1 กรัม) มีปริมาณสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระสูงกว่าสารสกัดจากพืชวงศ์เดียวกับสะระแหน่ (*Mentha arvensis*) (255 มิลลิกรัมเทียบเท่าวิตามินซีต่อน้ำหนักแห้งของสมุนไพร 1 กรัม) ในงานวิจัยของ Runnie *et al.* (2004) ซึ่งใช้เมทานอลเข้มข้นร้อยละ 99 เป็นตัวทำละลาย คิดเป็น 1.14 เท่า

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระของสารสกัดจากผงสมุนไพร 3 ชนิด ปรากฏว่า สารสกัดจากผงอบเชยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือ สารสกัดจากผงชะเอมเทศ และผงใบสะระแหน่ และสารสกัดจากผงอบเชยมีปริมาณสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระสูงที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือ สารสกัดจากผงใบสะระแหน่ และผงชะเอมเทศ

การทดลองนี้จึงเลือกอบเชยมาใช้ในการผลิตไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด โดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอย

2. ผลการตรวจสอบคาร์โบไฮเดรต 3 ชนิด

นำคาร์โบไฮเดรต 3 ชนิด คือ สตาร์ชดัดแปร, มอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12, และ 16 ถึง 20 มาตรวจสอบคุณภาพทางเคมีคือ ความชื้น และความเป็นกรด-เบส ทางเคมีเชิงฟิสิกส์คือ ความหนืด และทางจุลินทรีย์คือ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด, ยีสต์และรา, โคลิฟอร์ม, และซัลโมเนลลา

2.1 ความชื้น และความเป็นกรด-เบสของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต

ชั่งน้ำหนักคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิดประมาณ 2 กรัม อบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดสิกเคเตอร์ และชั่งน้ำหนักตัวอย่างเพื่อคำนวณปริมาณความชื้น และเตรียมสารละลายคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิดเข้มข้นร้อยละ 6 เพื่อนำไปวัดค่าความเป็นกรด-เบส ด้วยเครื่อง pH meter แสดงผลในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ปริมาณความชื้น และค่าความเป็นกรด-เบสของคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด

ชนิดคาร์โบไฮเดรต [1]	ความชื้นของคาร์โบไฮเดรต [2] (ร้อยละ)	ความเป็นกรด-เบสของคาร์โบไฮเดรต
สตาร์ชดัดแปร	5.64±0.10 a	5.7
มอลโทเดกซ์ทริน D.E. 8-12	5.00±0.05 c	6.0
มอลโทเดกซ์ทริน D.E. 16-20	5.32±0.06 b	5.8

หมายเหตุ [1] D.E. 8-12 คือ มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12
D.E. 16-20 คือ มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20
[2] ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

คาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิดมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 5.00 ถึง 5.64 สตาร์ชดัดแปรมีปริมาณความชื้น (ร้อยละ 5.64) สูงที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมอลโทเดกซ์ทรินที่มีเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 มีปริมาณความชื้น (ร้อยละ 5.32) มากกว่ามอลโทเดกซ์ทรินที่มีเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12 (ร้อยละ 5.00) ทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิดมีปริมาณความชื้นตรงกับคุณภาพของคาร์โบไฮเดรตที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสำหรับเทคนิคการทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอย และกระบวนการเอนแคปซูเลชันคือ มีปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 6 ของบริษัท สยามมอดิฟายสตาร์ช จำกัด ซึ่งคาร์โบไฮเดรตเหล่านี้ควรมีปริมาณความชื้นต่ำเพื่อป้องกันการจับรวมตัวเป็นก้อน เนื่องจากคาร์โบไฮเดรตที่ใช้ในการผลิตไมโครแคปซูลมีสมบัติละลายน้ำได้ดีทำให้ดูดซับความชื้นจากอากาศได้ง่าย ส่วนผลการวัดค่าความเป็นกรด-เบสของคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิดพบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 5.7 ถึง 6.0 โดยคาร์โบไฮเดรตทั้ง 3 ชนิดมีค่าความเป็นกรด-เบสอยู่ในช่วงกรด มอลโทเดกซ์ทรินที่มีเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12 มีค่าความเป็นกรด-เบส (6.0) สูงที่สุด รองลงมาคือ มอลโทเดกซ์ทรินที่มีเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 (5.8) และสตาร์ชดัดแปร (5.7) ซึ่งคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิดมีค่าความเป็นกรด-เบสอยู่ในช่วงเดียวกับคุณภาพของคาร์โบไฮเดรตที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสำหรับเทคนิคการทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอย และกระบวนการเอนแคปซูเลชันคือ มีค่าความเป็นกรด-เบสอยู่ในช่วง 4.0 ถึง 6.0 ของบริษัท สยามมอดิฟายสตาร์ช จำกัด ดังนั้นคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิดจึงมีคุณภาพตรงกับคาร์โบไฮเดรตที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสำหรับ

เทคนิคการทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอย และกระบวนการเอนแคปซูเลชันของบริษัท สยามมอดิฟายสตาร์ช จำกัด

2.2 ความหนืดของสารละลายคาร์โบไฮเดรต

นำสารละลายคาร์โบไฮเดรต 3 ชนิดคือ สตาร์ชดัดแปร, มอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12, และ 16 ถึง 20 เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 มาวัดความหนืดของด้วยเครื่องวัดความหนืดแบบบรูคฟิลด์ แสดงผลในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าความหนืดของสารละลายคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30

ชนิดคาร์โบไฮเดรต [1]	ค่าความหนืดของสารละลายคาร์โบไฮเดรต (มิลลิปาสคาล·วินาที) [2]		
	ร้อยละ 10	ร้อยละ 20	ร้อยละ 30
สตาร์ชดัดแปร	2.50±0.05 b	2.75±0.00 b	5.20±0.05 b
มอลโทเดกซ์ทริน D.E. 8-12	2.61±0.04 a	3.93±0.03 a	9.93±0.31 a
มอลโทเดกซ์ทริน D.E. 16-20	2.51±0.08 b	2.79±0.04 b	4.52±0.13 c

หมายเหตุ [1] D.E. 8-12 คือ มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12
D.E. 16-20 คือ มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20
[2] ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 6 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สารละลายคาร์โบไฮเดรตทั้ง 3 ชนิด ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 มีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 2.50 ถึง 2.61, 2.75 ถึง 3.93, และ 4.52 ถึง 9.93 มิลลิปาสคาล·วินาที ตามลำดับ โดยที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 (2.50 มิลลิปาสคาล·วินาที) และ 20 (2.75 มิลลิปาสคาล·วินาที) สารละลายสตาร์ชดัดแปร มีค่าความหนืดไม่แตกต่างกับสารละลายมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 เข้มข้นร้อยละ 10 (2.51 มิลลิปาสคาล·วินาที) และ 20 (2.79 มิลลิปาสคาล·วินาที) ทางสถิติ ($p>0.05$) ซึ่งสารละลายไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตทั้ง 2 ชนิด มีค่าความหนืดต่ำกว่าสารละลายมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12

เข้มข้นร้อยละ 10 (2.61 มิลลิปาสคาล·วินาที) และ 20 (3.93 มิลลิปาสคาล·วินาที) ทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 สารละลายสตาร์ชดัดแปรมีค่าความหนืด (5.20 มิลลิปาสคาล·วินาที) สูงกว่าสารละลายมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 (4.52 มิลลิปาสคาล·วินาที) แต่ต่ำกว่าสารละลายมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12 (9.93 มิลลิปาสคาล·วินาที) ทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบสารละลายคาร์โบไฮเดรตทั้ง 3 ชนิด ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ปรากฏว่า สารละลายสตาร์ชดัดแปรเข้มข้นร้อยละ 10 มีค่าความหนืด (2.50 มิลลิปาสคาล·วินาที) ต่ำที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดลองข้างต้นคล้ายคลึงกับผลการทดลองของ Loksuwan (2007) ที่ผลิตไมโครแคปซูลจากสตาร์ชมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการดัดแปร สตาร์ชดัดแปรที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่า 2 และมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่า 24 ที่กักเก็บสารบีตา-แครอทีน โดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอย ซึ่งสตาร์ชมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการดัดแปร เข้มข้นร้อยละ 20 มีค่าความหนืดสูงที่สุดคือ 31,880 มิลลิปาสคาล·วินาที รองลงมาคือ สตาร์ชดัดแปรที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่า 2 และมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่า 24 มีค่าความหนืดเท่ากับ 133.80 และ 13.80 มิลลิปาสคาล·วินาที ตามลำดับ ซึ่งค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าที่เพิ่มขึ้นทำให้โครงสร้างของมอลโทเดกซ์ทรินเป็นเส้นตรงมากขึ้น มีระดับการย่อยเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งเพิ่มขึ้น มีผลทำให้สารละลายมอลโทเดกซ์ทรินสามารถละลายน้ำได้ดีขึ้น และมีค่าความหนืดลดลง ดังนั้นจากผลการทดลองสารละลายมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12 มีค่าความหนืดสูงที่สุดจึงอาจเกี่ยวข้องกับลักษณะโครงสร้าง และน้ำหนักมวลโมเลกุลของคาร์โบไฮเดรต ซึ่งความหนืดของสารละลายคาร์โบไฮเดรตเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของไมโครแคปซูลในเทคนิคการทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอย โดยสารละลายคาร์โบไฮเดรตที่มีค่าความหนืดสูงทำให้เกิดโครงสร้างของไมโครแคปซูลที่หัวฉีดภายในเครื่องทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอยช้า ไมโครแคปซูลที่ได้มีขนาดใหญ่ เป็นผลให้สูญเสียสารสำคัญ และสารให้กลิ่นรสในไมโครแคปซูลได้ (Reineccius, 2004)

2.3 จุลินทรีย์

ตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ในคาร์โบไฮเดรต 3 ชนิด โดยสุ่มตัวอย่างคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิดมาตรวจปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด, ยีสต์และรา, โคลิฟอร์ม, และซัลโมเนลลา แสดงผลในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ปริมาณจุลินทรีย์ในคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด

ชนิดคาร์โบไฮเดรต[1]	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (ซีเอฟยู/กรัม)	ยีสต์ และรา (ซีเอฟยู/กรัม)	โคลิฟอร์ม (เอ็มพีเอ็น/กรัม)	ซัลโมเนลลา (ซีเอฟยู/25 กรัม)
สตาร์ชดัดแปร	$< 3 \times 10^3$	$< 1 \times 10^2$	ไม่พบ	ไม่พบ
มอลโทเดกซ์ทริน D.E. 8-12	$< 1 \times 10^3$	$< 1 \times 10^2$	ไม่พบ	ไม่พบ
มอลโทเดกซ์ทริน D.E. 16-20	$< 1 \times 10^3$	$< 1 \times 10^2$	ไม่พบ	ไม่พบ

หมายเหตุ [1] D.E. 8-12 คือ มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12
D.E. 16-20 คือ มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20

สตาร์ชดัดแปรมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 3×10^3 ซีเอฟยู/กรัม มอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12 และ 16 ถึง 20 มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 1×10^3 ซีเอฟยู/กรัม โดยไมโครแคปซูลแต่ละชนิดตรวจพบยีสต์ และราน้อยกว่า 1×10^2 ซีเอฟยู/กรัม และตรวจไม่พบโคลิฟอร์ม และซัลโมเนลลา เมื่อเปรียบเทียบกับคุณภาพของคาร์โบไฮเดรตที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสำหรับเทคนิคการทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอย และกระบวนการเอนแคปซูเลชันพบว่า คาร์โบไฮเดรตทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ และรา โคลิฟอร์ม และซัลโมเนลลา อยู่ในเกณฑ์คุณภาพของบริษัท สยามมอดิฟายสตาร์ช จำกัด คือ มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 5×10^3 ซีเอฟยู/กรัม ยีสต์ และราน้อยกว่า 1×10^2 ซีเอฟยู/กรัม ตรวจไม่พบโคลิฟอร์ม และซัลโมเนลลา ดังนั้นคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดมีคุณภาพ และระดับความปลอดภัยเพียงพอสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหาร

3. ผลการผลิตไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต 3 ชนิด ที่กักเก็บผงอบเชย และเปรียบเทียบประสิทธิภาพ

3.1 คุณภาพทางเคมี ฟิสิกส์ ปริมาณสารให้ความสามารถต้านออกซิเดชัน และสารซินนามอลดีไฮด์ของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย

นำไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชยที่เตรียมจากสารละลายสตาร์ชดัดแปร, มอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12, และ 16 ถึง 20 เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 โดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอย มาตรวจสอบคุณภาพทางเคมี (ความชื้น) ฟิสิกส์ (ร้อยละผลได้, ร้อยละผงอบเชยที่อยู่ภายในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต, และขนาด และรูปร่างของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย) ปริมาณสารให้ความสามารถต้านออกซิเดชันของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย (ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระของสารสกัดจากไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย) และปริมาณสารซินนามอลดีไฮด์ของผงอบเชยในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต ได้ผลดังนี้

3.1.1 ร้อยละผลได้

ไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด ความเข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่กักเก็บผงอบเชยมีร้อยละผลได้อยู่ในช่วงร้อยละ 68.18 ถึง 70.35, 71.95 ถึง 82.47, และ 82.68 ถึง 87.39 ตามลำดับ (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 ร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่กักเก็บผงอบเชย

ชนิดไมโครแคปซูล[1]	ร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย[2]		
	ร้อยละ 10[ns]	ร้อยละ 20	ร้อยละ 30
สตาร์ชดัดแปร	70.35±3.96	76.14±1.47 ab	87.39±0.30 a
มอลโทเดกซ์ทริน D.E. 8-12	68.18±8.93	82.47±1.29 a	83.04±2.45 b
มอลโทเดกซ์ทริน D.E. 16-20	68.51±3.37	71.95±6.61 b	82.68±0.13 b

หมายเหตุ [1] D.E. 8-12 คือ มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12
D.E. 16-20 คือ มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20
[2] ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
[ns] ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายคาร์โบไฮเดรตมีผลทำให้ร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตทั้ง 3 ชนิด ที่กักเก็บผงอบเชยเพิ่มขึ้น โดยที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 ไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิดที่กักเก็บผงอบเชยมีร้อยละผลได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 ไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรที่กักเก็บผงอบเชยมีร้อยละผลได้ (ร้อยละ 76.14) ไม่แตกต่างกับไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12 (ร้อยละ 82.47) และ 16 ถึง 20 (ร้อยละ 71.95) ที่กักเก็บผงอบเชยทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12 ที่กักเก็บผงอบเชยมีร้อยละผลได้ (ร้อยละ 82.47) มากกว่าไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 ทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรมีร้อยละผลได้ (ร้อยละ 87.39) มากกว่าไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12 (ร้อยละ 83.04) และ 16 ถึง 20 (ร้อยละ 82.68) ที่กักเก็บผงอบเชยทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12 (ร้อยละ 83.04) และ 16 ถึง 20 (ร้อยละ 82.68)ที่กักเก็บผงอบเชย มีร้อยละผลได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากผลการทดลองนี้แสดงว่า ร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชยไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของคาร์โบไฮเดรต และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นหรือปริมาณของแข็งของสารละลายคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิดปรากฏว่า ร้อยละผลได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

3.1.2 ความชื้น

ไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด ความเข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่กักเก็บผงอบเชยมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 3.79 ถึง 4.30, 3.23 ถึง 4.12, และ 2.58 ถึง 3.95 ตามลำดับ (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 ปริมาณความชื้นของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่กักเก็บผงอบเชย

ชนิดไมโครแคปซูล[1]	ปริมาณความชื้นของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย (ร้อยละ)[2]		
	ร้อยละ 10	ร้อยละ 20	ร้อยละ 30
สตาร์ชดัดแปร	3.84±0.01 b	3.23±0.00 c	2.81±0.23 b
มอลโทเดกซ์ทริน D.E. 8-12	4.30±0.01 a	4.12±0.01 a	3.95±0.17 a
มอลโทเดกซ์ทริน D.E. 16-20	3.79±0.04 c	3.68±0.00 b	2.58±0.01 b

หมายเหตุ [1] D.E. 8-12 คือ มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12
D.E. 16-20 คือ มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20
[2] ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 ไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรที่กักเก็บผงอบเชยมีปริมาณความชื้น (ร้อยละ 3.84) ต่ำกว่าไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12 ที่กักเก็บผงอบเชย (ร้อยละ 4.30) แต่สูงกว่าไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 ที่กักเก็บผงอบเชย (ร้อยละ 3.79) ทางสถิติ

($p \leq 0.05$) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 ไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรที่กักเก็บผงอบเชยมีปริมาณความชื้น (ร้อยละ 3.23) ต่ำที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 ที่กักเก็บผงอบเชยมีปริมาณความชื้น (ร้อยละ 3.68) ต่ำกว่าไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12 ที่กักเก็บผงอบเชย (ร้อยละ 4.12) ทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรที่กักเก็บผงอบเชยมีปริมาณความชื้น (ร้อยละ 2.81) ไม่แตกต่างกับไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 ที่กักเก็บผงอบเชย (ร้อยละ 2.58) ทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตทั้ง 2 ชนิด มีปริมาณความชื้นต่ำกว่าไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12 ที่กักเก็บผงอบเชย (ร้อยละ 3.95) ทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณความชื้นระหว่างไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่กักเก็บผงอบเชยปรากฏว่า ไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12 ที่กักเก็บผงอบเชยมีปริมาณความชื้นสูงที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณความชื้นของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชยทั้ง 3 ชนิด มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับไมโครแคปซูลทั่วไปที่ผ่านการทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอยคืออยู่ในช่วงร้อยละ 1 ถึง 6 (Reineccius, 2004)

จากผลการเปรียบเทียบปริมาณความชื้นของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละความเข้มข้นที่กักเก็บผงอบเชยในตารางที่ 9 มีความสัมพันธ์กับค่าความหนืดของสารละลายคาร์โบไฮเดรตคือ สตาร์ชดัดแปร, มอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12, และ 16 ถึง 20 ที่ความเข้มข้นเดียวกัน โดยที่ความเข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 สารละลายคาร์โบไฮเดรตชนิดที่มีค่าความหนืดสูงมีแนวโน้มทำให้ไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชยมีปริมาณความชื้นสูงกว่าไมโครแคปซูลอื่น ซึ่งผลการทดลองที่ได้เป็นไปในแนวทางเดียวกับผลการทดลองของ Loksuwan (2007) ที่เปรียบเทียบปริมาณความชื้นระหว่างไมโครแคปซูลจากสตาร์ชมันสำปะหลัง เข้มข้นร้อยละ 20 ไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่า 2 เข้มข้นร้อยละ 29 และไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่า 24 เข้มข้นร้อยละ 29 ในการกักเก็บสารบีตา-แครอทีน และเปรียบเทียบค่าความหนืดของสารละลายไมโครแคปซูลแต่ละชนิดปรากฏว่า ไมโครแคปซูลจากสตาร์ชมันสำปะหลัง เข้มข้นร้อยละ 20 ที่กักเก็บสารบีตา-แครอทีนมีปริมาณความชื้นสูงที่สุดร้อยละ 6.00 และสารละลายสตาร์ชมันสำปะหลังมีค่าความหนืดสูงที่สุด 31,880 มิลลิปาสคาล·วินาที รองลงมาคือ ไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่า 2 เข้มข้นร้อยละ 29 ที่กักเก็บสารบีตา-แครอทีนมีค่า

ความชื้นร้อยละ 3.12 และสารละลายสตาร์ชดัดแปรที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่า 2 มีค่าความหนืด 133.8 มิลลิปาสคาล·วินาที และไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่า 24 เข้มข้นร้อยละ 29 ที่กักเก็บสารบีตา-แครอทีนมีปริมาณความชื้นต่ำที่สุดร้อยละ 2.11 และสารละลายมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่า 24 มีค่าความหนืดต่ำที่สุด 13.8 มิลลิปาสคาล·วินาที ซึ่งค่าความหนืดของสารละลายคาร์โบไฮเดรตมีผลต่ออัตราการทำแห้งของเทคนิคการทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอย

3.1.3 ร้อยละผงอบเชยในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต

ไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่กักเก็บผงอบเชยมีร้อยละผงอบเชยอยู่ในช่วง ร้อยละ 3.76 ถึง 5.90, 2.76 ถึง 3.42, และ 2.17 ถึง 3.00 ตามลำดับ (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 10 ร้อยละผงอบเชยในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด เข้มข้น 10, 20, และ 30

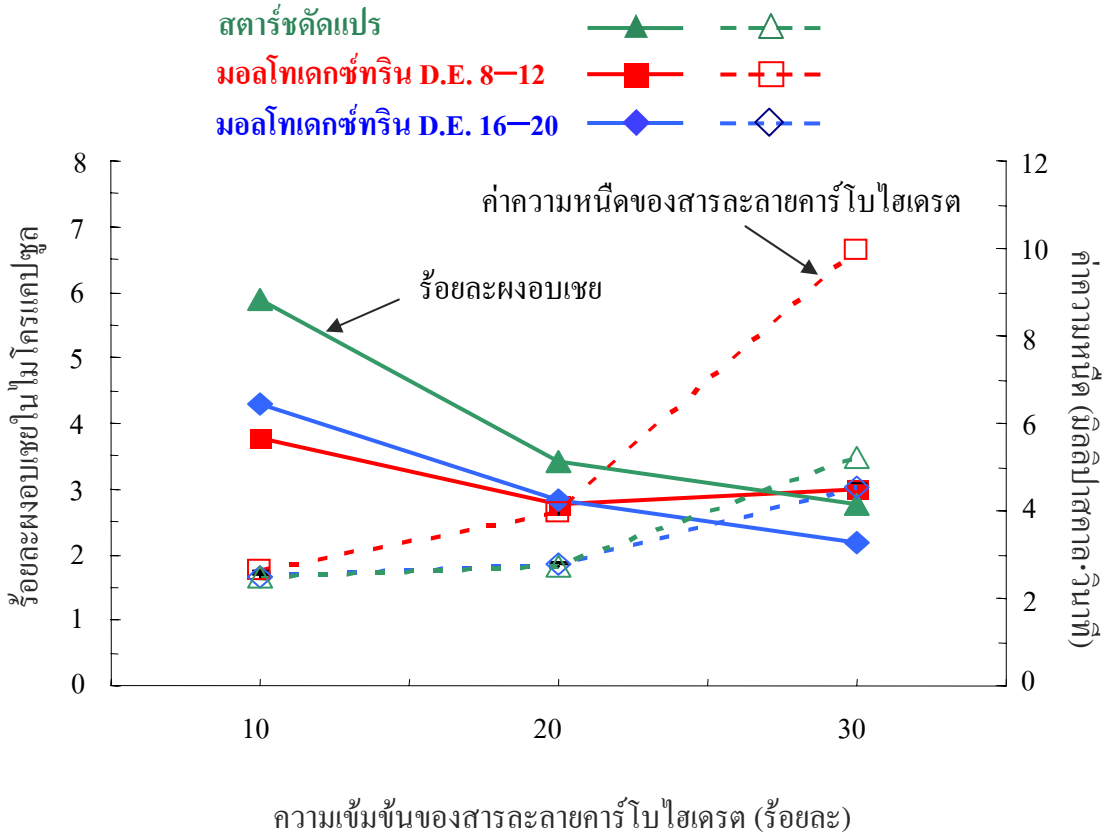
ชนิดไมโครแคปซูล [1]	ร้อยละผงอบเชยในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต [2]		
	ร้อยละ 10	ร้อยละ 20 [ns]	ร้อยละ 30 [ns]
สตาร์ชดัดแปร	5.90±0.20 a	3.42±0.29	2.76±0.37
มอลโทเดกซ์ทริน D.E. 8-12	3.76±0.06 c	2.76±0.41	3.00±0.70
มอลโทเดกซ์ทริน D.E. 16-20	4.28±0.32 b	2.83±1.11	2.17±0.07

หมายเหตุ [1] D.E. 8-12 คือ มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12
D.E. 16-20 คือ มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20
[2] ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
[ns] ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 ไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรที่กักเก็บผงอบเชยมีร้อยละผงอบเชย (ร้อยละ 5.90) มากที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือ ไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 (ร้อยละ 4.28) และ 8 ถึง 12 (ร้อยละ

3.76) ที่กักเก็บผงอบเชย แสดงว่าสารละลายสตาร์ชดัดแปรเข้มข้นร้อยละ 10 มีค่าความหนืดเหมาะสมกับเทคนิคการทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอยในกระบวนการเอนแคปซูเลชัน ส่วนไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรเข้มข้นร้อยละ 20 (ร้อยละ 3.42) และ 30 (ร้อยละ 2.76) ที่กักเก็บผงอบเชยมีร้อยละผงอบเชยไม่แตกต่างกับไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12 เข้มข้นร้อยละ 20 (ร้อยละ 2.76) และ 30 (ร้อยละ 3.00) และไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 เข้มข้นร้อยละ 20 (ร้อยละ 2.83) และ 30 (ร้อยละ 2.17) ที่กักเก็บผงอบเชยทางสถิติ ($p>0.05$)

จากผลการทดลองนี้พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิดมีแนวโน้มทำให้ร้อยละผงอบเชยในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่ผ่านการทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอยในกระบวนการเอนแคปซูเลชันลดลง ซึ่งผลการทดลองที่ได้คล้ายคลึงกับผลการทดลองของ Trubiano (1995) เปรียบเทียบปริมาณสารสำคัญคือ น้ำมันส้ม ในไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร และไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่ากับ 10 เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ปรากฏว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของไมโครแคปซูลแต่ละชนิดจากร้อยละ 10 เป็นร้อยละ 20 และ 30 มีผลทำให้ปริมาณน้ำมันส้มในไมโครแคปซูลแต่ละชนิดลดลง โดยไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 มีปริมาณน้ำมันส้มในไมโครแคปซูล ร้อยละ 99.0, 99.0, และ 94.0 ตามลำดับ สำหรับไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่ากับ 10 เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 มีปริมาณน้ำมันส้มในไมโครแคปซูล ร้อยละ 76.8, 42.0, และน้อยกว่า 42.0 ตามลำดับ



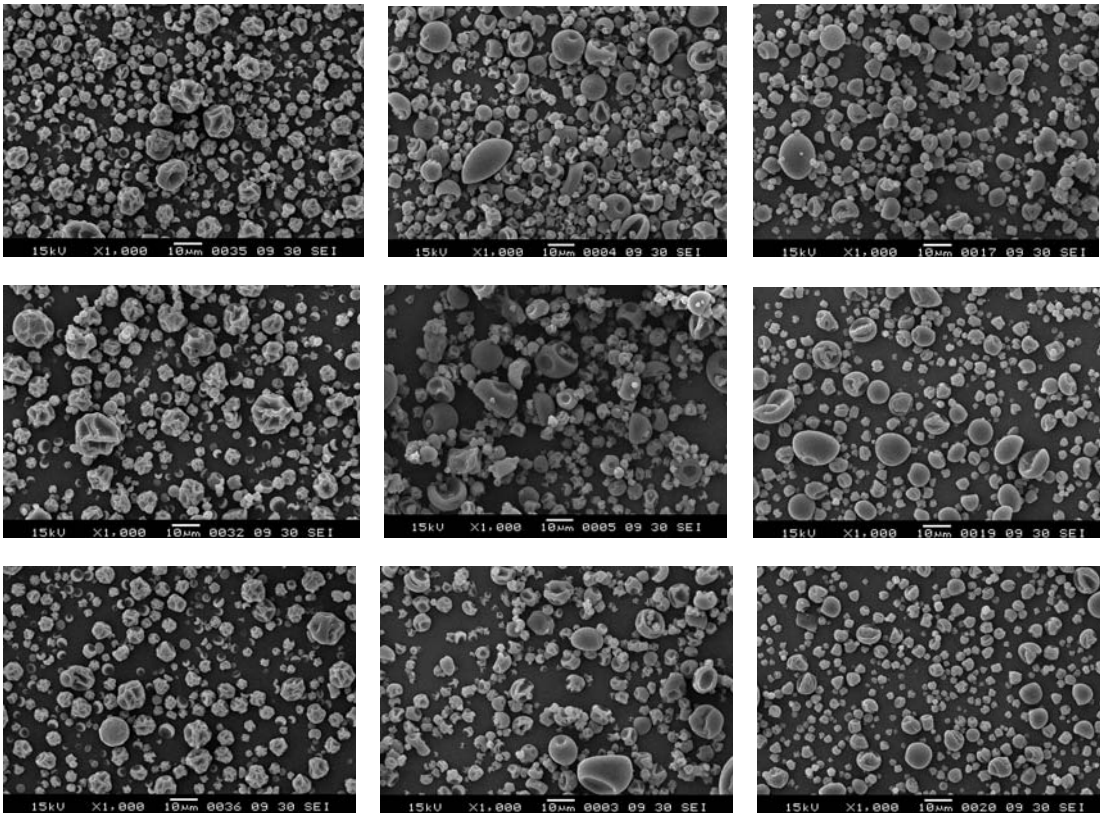
ภาพที่ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดของสารละลายคาร์โบไฮเดรต และร้อยละผงอบเชยในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต 3 ชนิด เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างตารางที่ 6 และตารางที่ 10 ปรากฏว่า ค่าความหนืดของสารละลายคาร์โบไฮเดรตเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อร้อยละผงอบเชยในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต ดังแสดงในภาพที่ 10 สารละลายคาร์โบไฮเดรตที่มีค่าความหนืดสูงมีผลทำให้ไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตมีประสิทธิภาพในการกักเก็บผงอบเชยไว้ภายในโครงสร้างของไมโครแคปซูลลดลง ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากสารละลายคาร์โบไฮเดรตที่มีค่าความหนืดสูงทำให้น้ำในระบบระเหยออกจากพื้นผิวของไมโครแคปซูลช้า จึงใช้ระยะเวลานานในการทำแห้ง และสร้างโครงสร้างของไมโครแคปซูลที่หัวฉีด ทำให้สารสำคัญ และสารให้กลิ่นรสภายในระบบสัมผัสกับลมร้อนภายในเครื่องทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอยเป็นเวลานาน จึงสูญเสียสารสำคัญ และสารให้กลิ่นรสในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตได้ (Reineccius, 2004)

3.1.4 รูปร่าง และขนาดของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย

ตรวจสอบรูปร่าง และวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต 3 ชนิด ความเข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่กักเก็บผงอบเชย โดยใช้ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดลำแสง ได้ผลการทดลองดังภาพที่ 11 ถึง 20

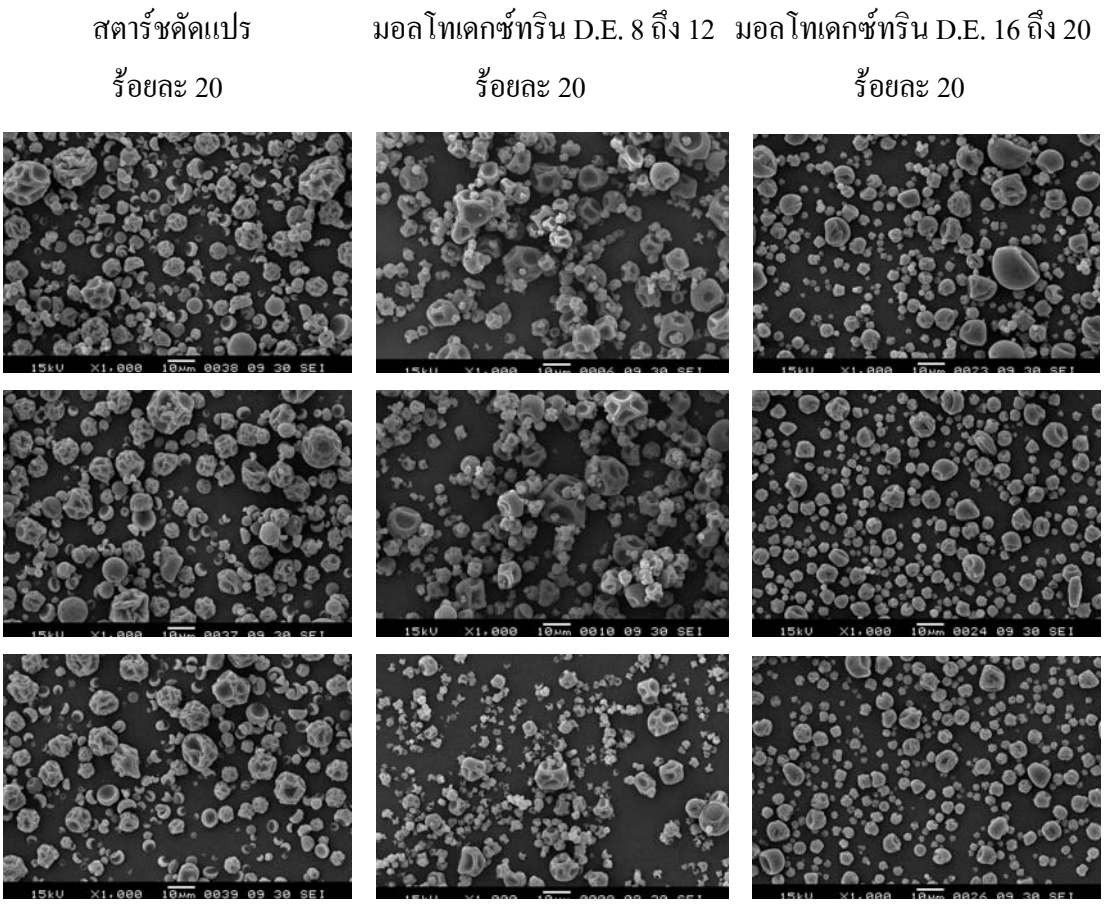
สตาร์ชดัดแปร ร้อยละ 10	มอลโทเดกซ์ทริน D.E. 8 ถึง 12 ร้อยละ 10	มอลโทเดกซ์ทริน D.E. 16 ถึง 20 ร้อยละ 10



ภาพที่ 11 ลักษณะไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต ความเข้มข้นร้อยละ 10 ที่มีปริมาณอบเชยคิดเป็นสัดส่วน 1 กรัม ต่อสารละลายคาร์โบไฮเดรต 100 มิลลิลิตร ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดลำแสง

จากภาพที่ 11 เมื่อเปรียบเทียบลักษณะไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยพบว่า ไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตทั้ง 3 ชนิด ที่กักเก็บผงอบเชย มีขนาดไมโครแคปซูลไม่แตกต่างกัน และมีลักษณะรูปร่างคล้ายทรงกลม โดยไมโคร

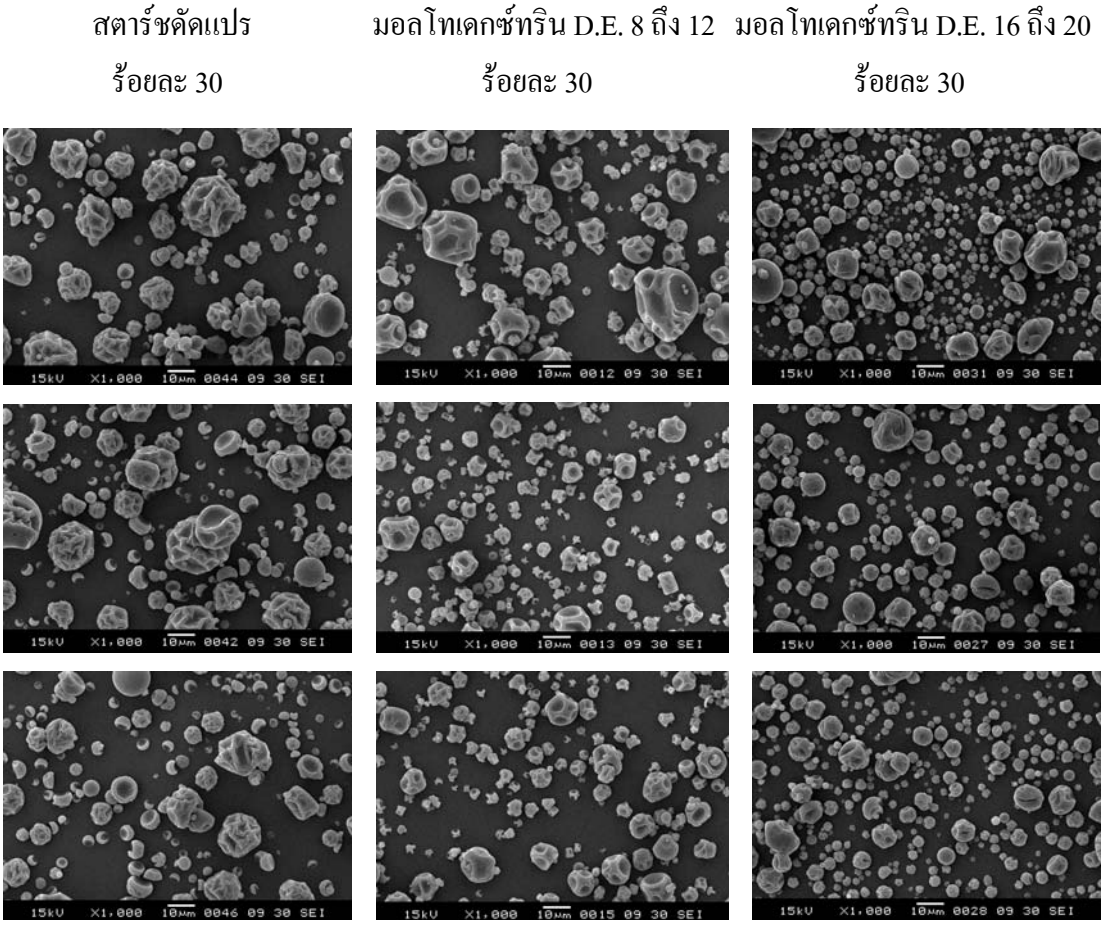
แคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรที่กักเก็บผงอบเชย มีการกระจายตัว ไม่เกาะกลุ่มกัน และมีรอยบุบที่บริเวณพื้นผิวของไมโครแคปซูลมากกว่าไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12 และ 16 ถึง 20 ที่กักเก็บผงอบเชย ตามลำดับ ซึ่งไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12 และ 16 ถึง 20 ที่กักเก็บผงอบเชย มีลักษณะรอยบุบที่บริเวณพื้นผิวของไมโครแคปซูลคล้ายคลึงกัน



ภาพที่ 12 ลักษณะไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต ความเข้มข้นร้อยละ 20 ที่มีปริมาณอบเชยคิดเป็นสัดส่วน 1 กรัม ต่อสารละลายคาร์โบไฮเดรต 100 มิลลิลิตร ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดลำแสง

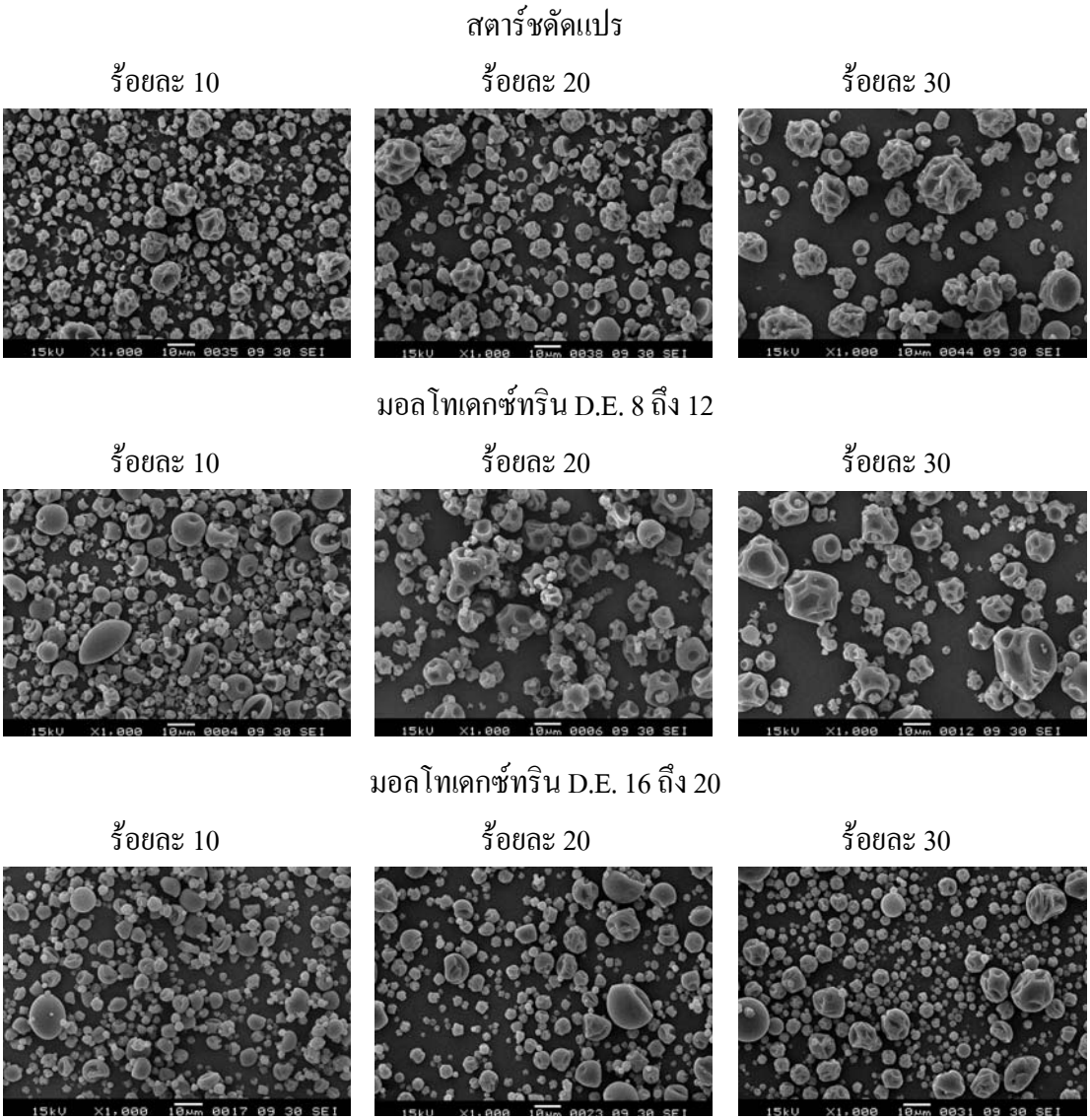
จากภาพที่ 12 เมื่อเปรียบเทียบลักษณะไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด เข้มข้นร้อยละ 20 ที่กักเก็บผงอบเชยพบว่า ไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12 ที่กักเก็บผงอบเชย มีการเกาะกลุ่มกันมากกว่าไมโครแคปซูล

จากสตาร์ชดัดแปร และมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 ที่กักเก็บผงอบเชย ตามลำดับ ไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตทั้ง 3 ชนิด ที่กักเก็บผงอบเชย มีลักษณะรูปร่างคล้ายทรงกลม แต่ไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรมีขนาดไมโครแคปซูลส่วนใหญ่ใกล้เคียงกันมากกว่าไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่า 16 ถึง 20 และ 8 ถึง 12 ตามลำดับ โดยไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรที่กักเก็บผงอบเชย มีรอยบุบที่บริเวณพื้นผิวของไมโครแคปซูลมากกว่าไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12 และ 16 ถึง 20 ที่กักเก็บผงอบเชย ตามลำดับ เช่นเดียวกับไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต ความเข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชย (ภาพที่ 11)



ภาพที่ 13 ลักษณะไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต ความเข้มข้นร้อยละ 30 ที่มีปริมาณอบเชยคิดเป็นสัดส่วน 1 กรัม ต่อสารละลายคาร์โบไฮเดรต 100 มิลลิลิตร ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดลำแสง

จากภาพที่ 13 เมื่อเปรียบเทียบลักษณะไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิดเข้มข้นร้อยละ 30 ที่กักเก็บผงอบเชยพบว่า ไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 ที่กักเก็บผงอบเชย ส่วนใหญ่มีขนาดเล็กกว่า และเกาะกลุ่มกันน้อยกว่าไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตชนิดอื่นที่กักเก็บผงอบเชย ไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตทั้ง 3 ชนิด ที่กักเก็บผงอบเชย มีลักษณะรูปร่างคล้ายทรงกลม โดยไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร ที่กักเก็บผงอบเชย มีรอยบุบที่บริเวณพื้นผิวของไมโครแคปซูลมากกว่าไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตชนิดอื่น ที่กักเก็บผงอบเชย



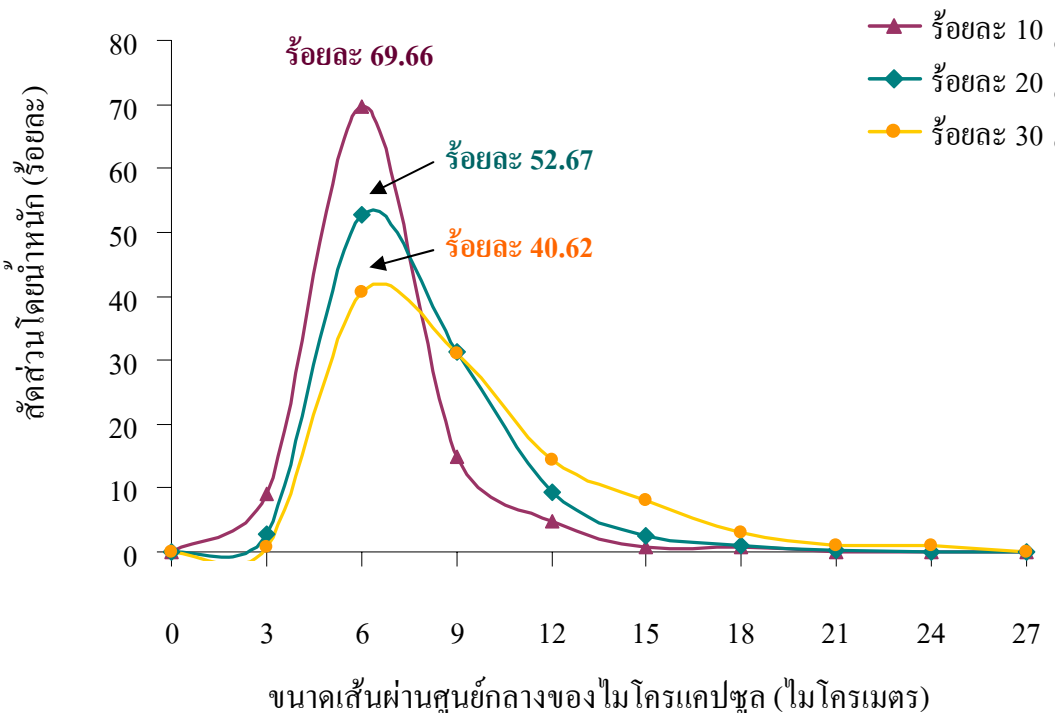
ภาพที่ 14 ลักษณะไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต ความเข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่มีปริมาณอบเชยคิดเป็นสัดส่วน 1 กรัม ต่อสารละลายคาร์โบไฮเดรต 100 มิลลิลิตร ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดลำแสง

จากภาพที่ 14 แสดงลักษณะไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต ความเข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่กักเก็บผงอบเชยพบว่า ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 ไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรมีรอยบุบที่บริเวณพื้นผิว มีการกระจายตัว และไม่เกาะกลุ่มกันมากกว่าไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตชนิดอื่นที่กักเก็บผงอบเชย ที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 ไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรมีรอยบุบที่บริเวณพื้นผิวมากกว่าไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12 และ 16 ถึง 20 ที่กักเก็บผงอบเชย ตามลำดับ โดยไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12 มีการเกาะกลุ่มกันมากกว่าไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตชนิดอื่นที่กักเก็บผงอบเชย ส่วนที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรมีขนาดใหญ่กว่าไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 แต่มีขนาดเล็กกว่าไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสอยู่ในช่วง 8 ถึง 12 ที่กักเก็บผงอบเชย และมีรอยบุบที่บริเวณพื้นผิวไมโครแคปซูลมากกว่าไมโครแคปซูลจากคาร์โบไฮเดรตชนิดอื่นที่กักเก็บผงอบเชย เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายคาร์โบไฮเดรตจากร้อยละ 10 เป็น 20 และ 30 มีผลทำให้ไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิดที่กักเก็บผงอบเชยมีขนาดใหญ่ขึ้น มีการกระจายตัว และไม่เกาะกลุ่มกันมากขึ้น โดยไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตทั้ง 3 ชนิด ที่กักเก็บผงอบเชยส่วนใหญ่มีลักษณะรูปร่างคล้ายทรงกลม ซึ่งไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12 มีขนาดรอยบุบที่บริเวณพื้นผิวของไมโครแคปซูลใหญ่กว่าไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 และสตาร์ชดัดแปร เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่กักเก็บผงอบเชย ซึ่งไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 มีรอยบุบสม่ำเสมอทั่วทั้งอนุภาคไมโครแคปซูล และมีจำนวนรอยบุบมากกว่าไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตชนิดอื่นที่กักเก็บผงอบเชย

จากผลการตรวจสอบรูปร่างของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต ความเข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่กักเก็บผงอบเชยข้างต้นสรุปได้ว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิดในการผลิตไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต จากความเข้มข้นร้อยละ 10 เป็น 20 และ 30 ที่กักเก็บผงอบเชย มีผลทำให้ไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชยมีขนาดใหญ่ขึ้น กระจายตัว และไม่เกาะกลุ่มกันมากขึ้น โดยไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรความเข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่กักเก็บผงอบเชยมีรอยบุบบริเวณพื้นผิวของไมโครแคปซูลสม่ำเสมอมากกว่าไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตชนิดอื่น โดยไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12 ที่กักเก็บผงอบเชย มีลักษณะรูปร่าง และลักษณะรอยบุบที่บริเวณพื้นผิวของไมโครแคปซูลคล้ายคลึงกับไมโครแคปซูลจากสตาร์ชมันสำปะหลังดัด

แปรที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่า 2 เข้มข้นร้อยละ 29 ที่กักเก็บสารบีตา-แครอทีนได้ร้อยละ 82.18 ในงานวิจัยของ Loksuwan (2007) ซึ่งลักษณะรอยบุบบริเวณพื้นผิวของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิดอาจมีผลต่อประสิทธิภาพในการกักเก็บผงอบเชยไว้ภายในไมโครแคปซูล สอดคล้องกับร้อยละผงอบเชยที่อยู่ภายในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตคือ ไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร (ร้อยละ 5.90) เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชย มีร้อยละผงอบเชยสูงกว่าไมโครแคปซูลจากคาร์โบไฮเดรตชนิดอื่นที่กักเก็บผงอบเชย คล้ายคลึงกับงานวิจัยของ Loksuwan (2007) คือ ไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่า 2 สามารถกักเก็บสารบีตาแครอทีนไว้ภายในไมโครแคปซูลได้ (ร้อยละ 82.18) มากกว่าไมโครแคปซูลจากสตาร์ชมันสำปะหลัง (ร้อยละ 68.35) ที่บริเวณพื้นผิวของไมโครแคปซูลเรียบ และไม่มีรอยบุบ

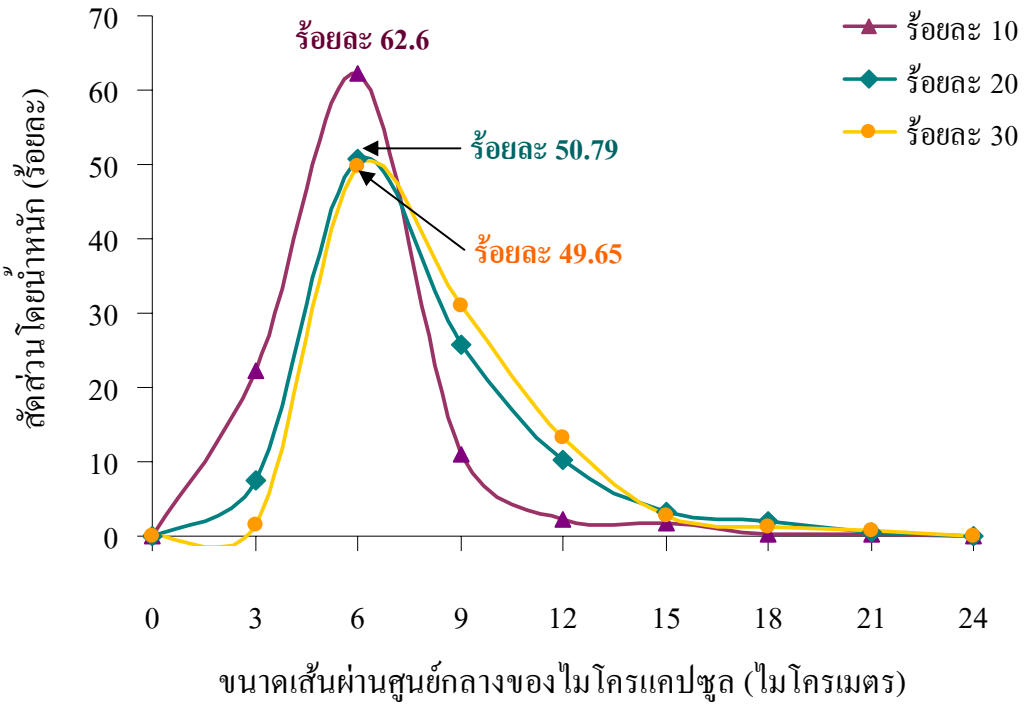
วิธีการตรวจสอบรูปร่างของไมโครแคปซูลจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดลำแสงสามารถสังเกตได้เพียงลักษณะรูปร่างภายนอกของไมโครแคปซูลเท่านั้น ไม่สามารถระบุตำแหน่งของผงอบเชย หรือสารสำคัญที่อยู่ภายในไมโครแคปซูลได้ โดยลักษณะโครงสร้างของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชยอาจมีลักษณะคล้ายกับสารสำคัญกระจายตัวอยู่ภายในอนุภาคของไมโครแคปซูล (ดังภาพที่ 7) เนื่องจากผงอบเชยที่อยู่ภายในไมโครแคปซูลมีสถานะเป็นของแข็ง และมีบางส่วนที่สามารถละลายน้ำได้จึงสามารถกระจายตัวทั่วภายในโครงสร้างของไมโครแคปซูล ซึ่งเป็นลักษณะรูปแบบโครงสร้างของไมโครแคปซูลทั่วไปที่ใช้เทคนิคการทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอยในกระบวนการเอนแคปซูเลชัน (Desai and Park, 2005) รูปแบบโครงสร้างของไมโครแคปซูลที่ใช้เทคนิคการทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอยขึ้นอยู่กับสมบัติทางทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของสารสำคัญ และองค์ประกอบของโครงสร้างไมโครแคปซูล (Gharsallaoui *et al.*, 2007)



ภาพที่ 15 ขนาดไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่มีปริมาณอบเชยคิดเป็นสัดส่วน 1 กรัม ต่อสารละลายคาร์โบไฮเดรต 100 มิลลิลิตร

จากภาพที่ 15 แสดงขนาดไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่กักเก็บผงอบเชย มีขนาดตั้งแต่ 0.1 ถึง 18.0, 0.1 ถึง 21.0, และ 0.1 ถึง 24.0 ไมโครเมตร ตามลำดับ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 ไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรที่กักเก็บผงอบเชยส่วนใหญ่ (ร้อยละ 69.66) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไมโครแคปซูลอยู่ในช่วง 3.1 ถึง 6.0 ไมโครเมตร รองลงมาคือ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไมโครแคปซูลอยู่ในช่วง 6.1 ถึง 9.0 ไมโครเมตร (ร้อยละ 14.94) และ 0.1 ถึง 3.0 ไมโครเมตร (ร้อยละ 9.20) ส่วนที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 ไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรที่กักเก็บผงอบเชยส่วนใหญ่ (ร้อยละ 52.67) อยู่ในช่วง 3.1 ถึง 6.0 ไมโครเมตร รองลงมาคือ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไมโครแคปซูลอยู่ในช่วง 6.1 ถึง 9.0 ไมโครเมตร (ร้อยละ 31.34) และ 9.1 ถึง 12.0 ไมโครเมตร (ร้อยละ 9.38) และที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรที่กักเก็บผงอบเชยส่วนใหญ่ (ร้อยละ 40.62) อยู่ในช่วง 3.1 ถึง 6.0 ไมโครเมตร รองลงมาคือ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไมโครแคปซูลอยู่ในช่วง 6.1 ถึง 9.0 ไมโครเมตร (ร้อยละ 31.11) และ 9.1 ถึง 12.0 ไมโครเมตร (ร้อยละ 14.40) แสดงว่า ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 (ร้อยละ 69.66), 20 (ร้อยละ 52.67), และ 30 (ร้อยละ 40.62) ไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรที่กักเก็บผงอบเชยส่วนใหญ่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 3.1 ถึง 6.0 ไมโครเมตร

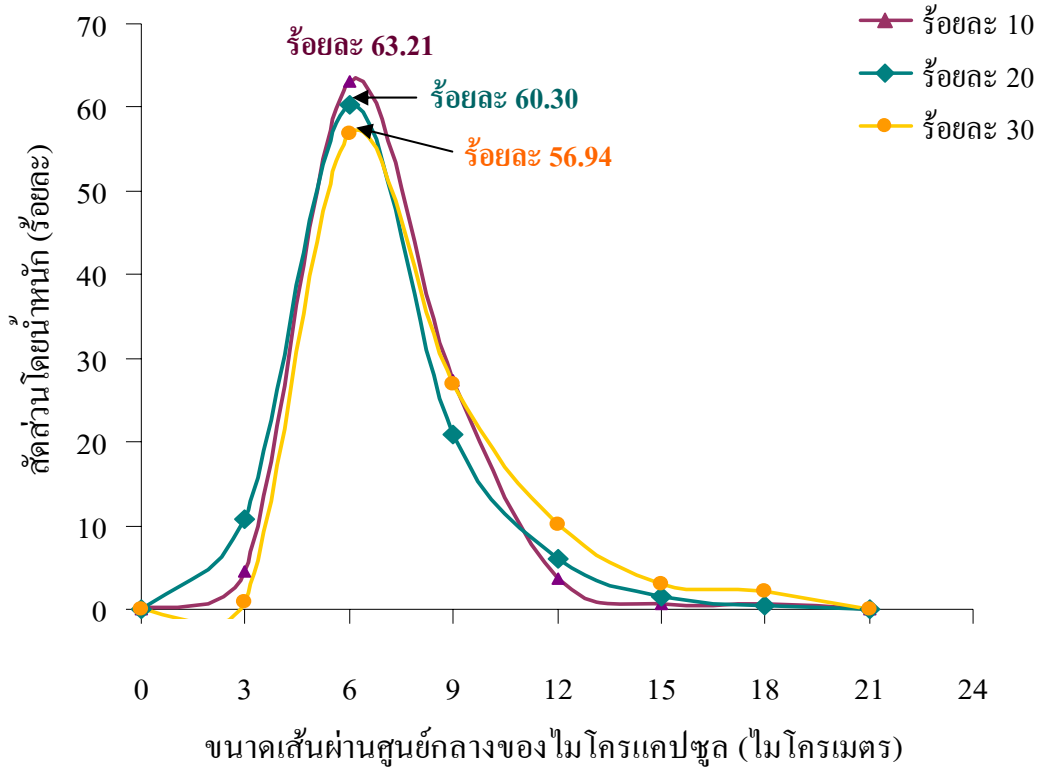
และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายสตาร์ชดัดแปรมีผลทำให้ไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรที่กักเก็บผงอบเชยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ขึ้น เช่นเดียวกับไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12 และ 16 ถึง 20 เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่กักเก็บผงอบเชย



ภาพที่ 16 ขนาดไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12 เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่มีปริมาณอบเชยคิดเป็นสัดส่วน 1 กรัม ต่อสารละลายคาร์โบไฮเดรต 100 มิลลิลิตร

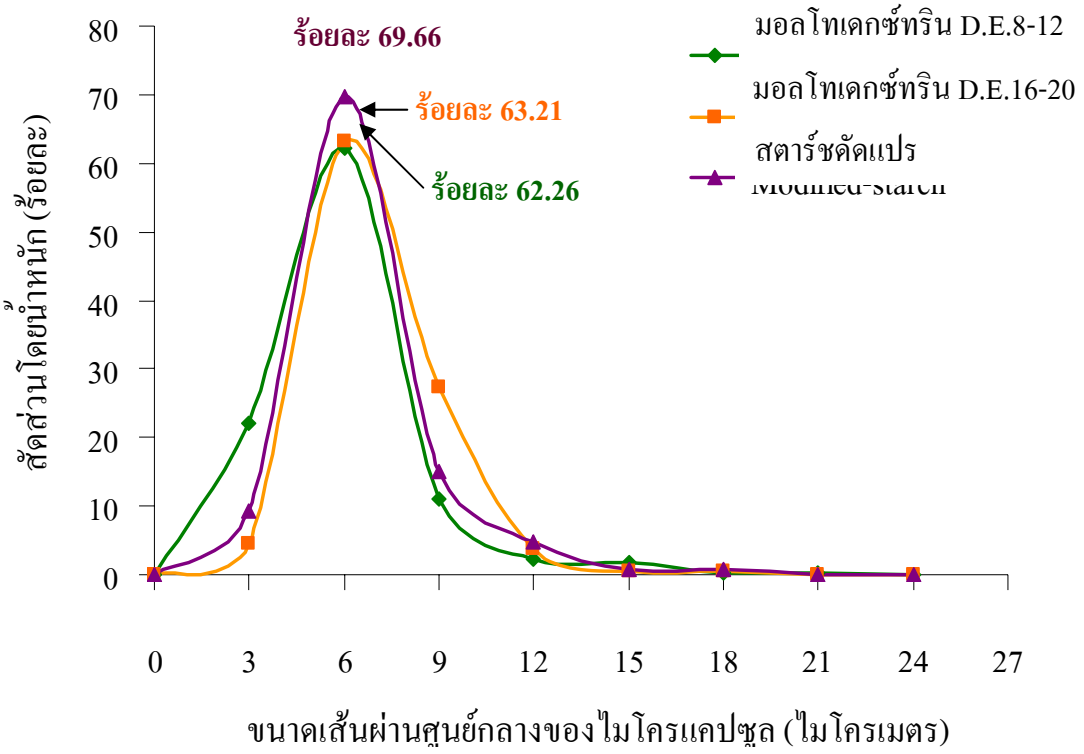
จากภาพที่ 16 แสดงขนาดไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12 เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่กักเก็บผงอบเชย มีขนาดตั้งแต่ 0.1 ถึง 21.0 ไมโครเมตร ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 ไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12 ที่กักเก็บผงอบเชยส่วนใหญ่ (ร้อยละ 62.26) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไมโครแคปซูลอยู่ในช่วง 3.1 ถึง 6.0 ไมโครเมตร รองลงมาคือ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไมโครแคปซูลอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 3.0 ไมโครเมตร (ร้อยละ 22.17) และ 6.1 ถึง 9.0 ไมโครเมตร (ร้อยละ 11.08) ส่วนที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 ไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12 ที่กักเก็บผงอบเชยส่วนใหญ่ (ร้อยละ 50.79) อยู่ในช่วง

3.1 ถึง 6.0 ไมโครเมตร รองลงมาคือ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไมโครแคปซูลอยู่ในช่วง 6.1 ถึง 9.0 ไมโครเมตร (ร้อยละ 25.85) และ 9.1 ถึง 12.0 ไมโครเมตร (ร้อยละ 10.20) และที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12 ที่กักเก็บผงอบเชยส่วนใหญ่ (ร้อยละ 49.65) อยู่ในช่วง 3.1 ถึง 6.0 ไมโครเมตร รองลงมาคือ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไมโครแคปซูลอยู่ในช่วง 6.1 ถึง 9.0 ไมโครเมตร (ร้อยละ 30.95) และ 9.1 ถึง 12.0 ไมโครเมตร (ร้อยละ 13.16) แสดงว่า ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 (ร้อยละ 62.26), 20 (ร้อยละ 50.79), และ 30 (ร้อยละ 49.65) ไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12 ที่กักเก็บผงอบเชยส่วนใหญ่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 3.1 ถึง 6.0 ไมโครเมตร และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายมอลโทเดกซ์ทรินที่มีเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12 มีผลทำให้ไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12 ที่กักเก็บผงอบเชยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ขึ้น



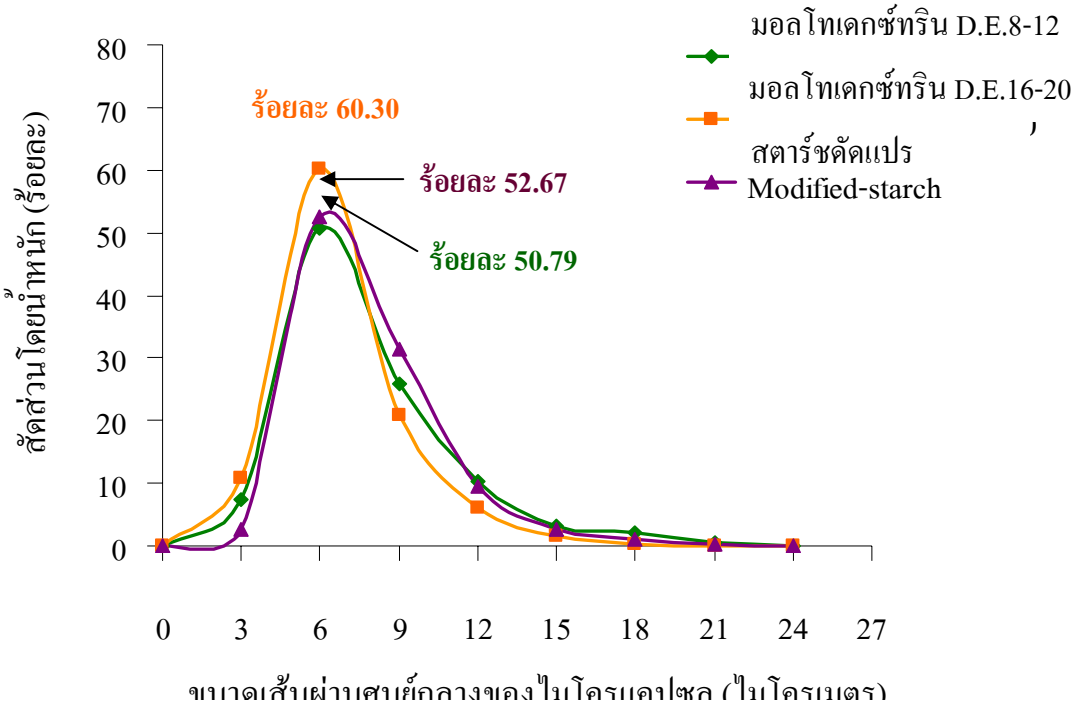
ภาพที่ 17 ขนาดไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่มีปริมาณอบเชยคิดเป็นสัดส่วน 1 กรัม ต่อสารละลายคาร์โบไฮเดรต 100 มิลลิลิตร

จากภาพที่ 17 แสดงขนาดไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่กักเก็บผงอบเชย มีขนาดตั้งแต่ 0.1 ถึง 18.0 ไมโครเมตร ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 ไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 ที่กักเก็บผงอบเชยส่วนใหญ่ (ร้อยละ 63.21) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไมโครแคปซูลอยู่ในช่วง 3.1 ถึง 6.0 ไมโครเมตร รองลงมาคือ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไมโครแคปซูลอยู่ในช่วง 6.1 ถึง 9.0 ไมโครเมตร (ร้อยละ 27.40) และ 0.1 ถึง 3.0 ไมโครเมตร (ร้อยละ 4.50) ส่วนที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 ไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 ที่กักเก็บผงอบเชยส่วนใหญ่ (ร้อยละ 60.30) อยู่ในช่วง 3.1 ถึง 6.0 ไมโครเมตร รองลงมาคือ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไมโครแคปซูลอยู่ในช่วง 6.1 ถึง 9.0 ไมโครเมตร (ร้อยละ 20.97) และ 0.1 ถึง 3.0 ไมโครเมตร (ร้อยละ 10.86) และที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าในช่วง 16 ถึง 20 ที่กักเก็บผงอบเชยส่วนใหญ่ (ร้อยละ 56.94) อยู่ในช่วง 3.1 ถึง 6.0 ไมโครเมตร รองลงมาคือ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไมโครแคปซูลอยู่ในช่วง 6.1 ถึง 9.0 ไมโครเมตร (ร้อยละ 26.92) และ9.1 ถึง 12.0 ไมโครเมตร (ร้อยละ 10.14) แสดงให้เห็นว่า ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 (ร้อยละ 63.21), 20 (ร้อยละ 60.30), และ 30 (ร้อยละ 56.94) ไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 ที่กักเก็บผงอบเชยส่วนใหญ่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 3.1 ถึง 6.0 ไมโครเมตร มีผลทำให้ไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 ที่กักเก็บผงอบเชยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ขึ้นเช่นเดียวกับไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12 เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่กักเก็บผงอบเชย



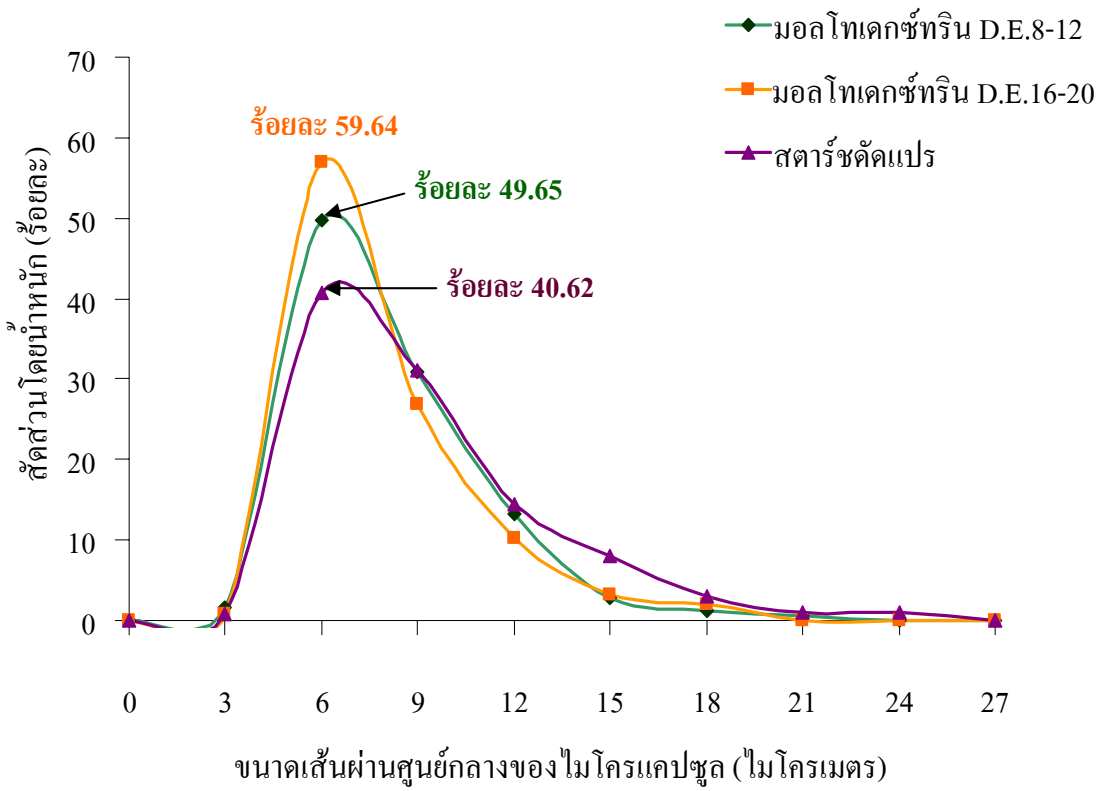
ภาพที่ 18 ขนาดไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด เข้มข้นร้อยละ 10 ที่มีปริมาณอบเชยคิดเป็นสัดส่วน 1 กรัม ต่อสารละลายคาร์โบไฮเดรต 100 มิลลิลิตร

จากภาพที่ 18 แสดงขนาดไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชย ไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12, 16 ถึง 20, และสตาร์ชดัดแปร ที่กักเก็บผงอบเชย มีขนาดตั้งแต่ 0.1 ถึง 21.0, 0.1 ถึง 18.0, และ 0.1 ถึง 18.0 ไมโครเมตร ตามลำดับ ไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12 (ร้อยละ 62.26), 16 ถึง 20 (ร้อยละ 63.21), และสตาร์ชดัดแปร (ร้อยละ 69.66) ที่กักเก็บผงอบเชยส่วนใหญ่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไมโครแคปซูลอยู่ในช่วง 3.1 ถึง 6.0 ไมโครเมตร โดยไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยมีปริมาณสัดส่วนโดยน้ำหนักของไมโครแคปซูลในช่วง 3.1 ถึง 6.0 ไมโครเมตร สูงที่สุดคือไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรเข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชย มีขนาดไมโครแคปซูลส่วนใหญ่เล็กกว่าไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตชนิดอื่นเข้มข้นร้อยละ 10



ภาพที่ 19 ขนาดไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด เข้มข้นร้อยละ 20 ที่มีปริมาณอบเชยคิดเป็นสัดส่วน 1 กรัม ต่อสารละลายคาร์โบไฮเดรต 100 มิลลิลิตร

จากภาพที่ 19 แสดงขนาดไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด เข้มข้นร้อยละ 20 ที่กักเก็บผงอบเชย ไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12, 16 ถึง 20, และสตาร์ชดัดแปร มีขนาดตั้งแต่ 0.1 ถึง 21.0, 0.1 ถึง 18.0, และ 0.1 ถึง 21.0 ไมโครเมตร ตามลำดับ ไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12 (ร้อยละ 50.79), 16 ถึง 20 (ร้อยละ 60.30), และสตาร์ชดัดแปร (ร้อยละ 52.67) ที่กักเก็บผงอบเชยส่วนใหญ่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไมโครแคปซูลอยู่ในช่วง 3.1 ถึง 6.0 ไมโครเมตร โดยไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 เข้มข้นร้อยละ 20 ที่กักเก็บผงอบเชยมีปริมาณสัดส่วนโดยน้ำหนักของไมโครแคปซูลในช่วง 3.1 ถึง 6.0 ไมโครเมตร สูงที่สุดคือ ไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 เข้มข้นร้อยละ 20 ที่กักเก็บผงอบเชยส่วนใหญ่มีขนาดไมโครแคปซูลเล็กกว่าไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตชนิดอื่น เข้มข้นร้อยละ 20



ภาพที่ 20 ขนาดไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด เข้มข้นร้อยละ 30 ที่มีปริมาณอบเชยคิดเป็นสัดส่วน 1 กรัม ต่อสารละลายคาร์โบไฮเดรต 100 มิลลิลิตร

จากภาพที่ 20 แสดงขนาดไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด เข้มข้นร้อยละ 30 ที่กักเก็บผงอบเชย ไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12, 16 ถึง 20, และสตาร์ชดัดแปร ที่กักเก็บผงอบเชยมีขนาดตั้งแต่ 0.1 ถึง 21.0, 0.1 ถึง 18.0, และ 0.1 ถึง 24.0 ไมโครเมตร ตามลำดับ ไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12 (ร้อยละ 49.65), 16 ถึง 20 (ร้อยละ 56.94), และสตาร์ชดัดแปร (ร้อยละ 40.62) ที่กักเก็บผงอบเชย อนุภาคส่วนใหญ่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไมโครแคปซูลอยู่ในช่วง 3.1 ถึง 6.0 ไมโครเมตร โดยไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 เข้มข้นร้อยละ 30 ที่กักเก็บผงอบเชย มีปริมาณสัดส่วนโดยน้ำหนักของไมโครแคปซูลในช่วง 3.1 ถึง 6.0 ไมโครเมตร สูงที่สุดคือ ไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 เข้มข้นร้อยละ 30 ที่กักเก็บผงอบเชย มีขนาดไมโครแคปซูลส่วนใหญ่เล็กกว่าไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตชนิดอื่น เข้มข้นร้อยละ 30 เช่นเดียวกับไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต เข้มข้นร้อยละ 20 ที่กักเก็บผงอบเชย

เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12, 16 ถึง 20, และสตาร์ชดัดแปร จากความเข้มข้นร้อยละ 10 เป็น 20 และ 30 ทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิดที่กักเก็บผงอบเชยมีแนวโน้มใหญ่ขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการตรวจสอบรูปร่างของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่กักเก็บผงอบเชย โดยไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตทั้ง 3 ชนิด เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่กักเก็บผงอบเชย ส่วนใหญ่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 3.1 ถึง 6.0 ไมโครเมตร ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 ไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรที่กักเก็บผงอบเชย ส่วนใหญ่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไมโครแคปซูลเล็กที่สุด (ร้อยละ 69.66) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 (ร้อยละ 60.30) และ 30 (ร้อยละ 59.64) ไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 ที่กักเก็บผงอบเชย ส่วนใหญ่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไมโครแคปซูลเล็กที่สุด สรุปได้ว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไมโครแคปซูลขึ้นอยู่กับความเข้มข้น หรือปริมาณของแข็งทั้งหมด และค่าความหนืดของสารละลายไมโครแคปซูล โดยสารละลายไมโครแคปซูลที่มีความเข้มข้น ค่าความหนืดและแรงตึงผิวสูง มีผลทำให้ไมโครแคปซูลมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ขึ้น (Gharsallaoui *et al.*, 2007) ซึ่งคล้ายคลึงกับผลการทดลองของ Hayashi *et al.* (1968) เมื่อเพิ่มความเข้มข้น หรือปริมาณของแข็งทั้งหมดของหางนมผงจากร้อยละ 30 เป็นร้อยละ 40 และ 50 นมผงมีขนาดอนุภาค 72, 88, และ 118 ไมโครเมตร ตามลำดับ และคล้ายคลึงกับผลการทดลองของ Keogh *et al.* (2004) การเพิ่มปริมาณของแข็งทั้งหมดในการผลิตนมผงจากร้อยละ 47.3 เป็น 52.3 มีผลทำให้นมผงที่ผ่านการทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอยมีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้นจาก 184.6 ไมโครเมตร เป็น 199.6 ไมโครเมตร เนื่องจากสารละลายไมโครแคปซูลที่มีค่าความหนืดสูง จะมีอัตราการไหลช้า การฉีดพ่นสารละลายให้กระจายตัวเป็นหยดเล็ก ๆ ทำได้ยาก และใช้เวลานานในการสร้างโครงสร้างของไมโครแคปซูล ทำให้อนุภาคที่ผ่านการทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอยมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งไมโครแคปซูลที่ได้จากเทคนิคการทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอยอาจมีขนาดเล็กมากตั้งแต่ 2 ถึง 3 ไมโครเมตร จนถึงขนาดใหญ่ 2 ถึง 3 มิลลิเมตร ขึ้นอยู่กับอัตราความเร็วที่ป้อนตัวอย่างไปที่หัวฉีด และสภาวะในการผลิต (Gharsallaoui *et al.*, 2007)

3.1.5 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดจากไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย โดยใช้วิธี Total phenols assay

นำไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่กักเก็บผงอบเชยผสมกับน้ำกลั่น และสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากแต่ละตัวอย่างโดยใช้

เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 เป็นตัวทำละลาย นำสารละลายส่วนใสตรวจสอบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยใช้วิธี Total phenols assay ซึ่งใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐาน แสดงผลในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากผงอบเชยในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตเข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30

ชนิดไมโครแคปซูล [1]	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย [2] (มิลลิกรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย)		
	ร้อยละ 10	ร้อยละ 20	ร้อยละ 30
สตาร์ชดัดแปร	1,424.59±18.07 a	795.67±13.16 b	617.56±15.79 b
มอลโทเดกซ์ทริน D.E. 8-12	1,297.70±25.28 b	938.78±10.42 a	671.24±21.33 a
มอลโทเดกซ์ทริน D.E. 16-20	1,317.68±21.13 b	767.47±41.32 b	671.09±13.43 a

หมายเหตุ [1] D.E. 8-12 คือ มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12
D.E. 16-20 คือ มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20
[2] ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 5 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผงอบเชยในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต 3 ชนิด เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ในช่วง 1,297.70 ถึง 1,424.59, 767.47 ถึง 938.78, และ 617.56 ถึง 671.24 มิลลิกรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต ความเข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยปรากฏว่า ไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรที่กักเก็บผงอบเชยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (1,424.59 มิลลิกรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย) สูงที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สำหรับที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 ผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (795.67 มิลลิกรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย) ไม่แตกต่างกับผงอบเชยในไมโครแคปซูลจาก

มอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 (767.47 มิลลิกรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย) ทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตทั้ง 2 ชนิด มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดน้อยกว่าไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12 ที่กักเก็บผงอบเชย (938.78 มิลลิกรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย) ทางสถิติ ($p\leq0.05$) ส่วนที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (617.56 มิลลิกรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย) น้อยกว่าผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12 (671.24 มิลลิกรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย) และ 16 ถึง 20 (671.09 มิลลิกรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย) ทางสถิติ ($p\leq0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่กักเก็บผงอบเชยปรากฏว่าไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (1,424.59 มิลลิกรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย) สูงที่สุดทางสถิติ ($p\leq0.05$) ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับร้อยละผงอบเชยในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต ความเข้มข้นร้อยละ 10 จากผลการทดลองนี้แสดงว่า ไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต ความเข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยสามารถกักเก็บสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในไมโครแคปซูลได้มากกว่าไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตความเข้มข้นร้อยละ 20 และ 30 ที่กักเก็บผงอบเชย ในการทดลองนี้ใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐานในการเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเนื่องจาก กรดแกลลิกเป็นสารประกอบที่อยู่ในกลุ่มเดียวกับสารประกอบฟีนอลิก จึงมีลักษณะโครงสร้างคล้ายคลึงกับสารประกอบในกลุ่มฟีนอลิก ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนจากสารให้อิเล็กตรอนคือ โฟลิน-ซีโอคาลทู โดยสารให้อิเล็กตรอนจะเข้าทำปฏิกิริยาที่หมู่ไฮดรอกซิลบนวงแหวนเบนซีนทั้ง 3 ตำแหน่งของกรดแกลลิก ตัวอย่างที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงแสดงว่า มีปริมาณสารให้ความสามารถต้านออกซิเดชันสูง (Okuda, 1997)

3.1.6 ปริมาณสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระของสารสกัดจากไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย โดยใช้วิธี DPPH assay

ตรวจสอบปริมาณสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระในสารสกัดจากไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่กักเก็บผงอบเชย โดยใช้เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 เป็นตัวทำละลาย และใช้วิตามินซีเป็นสารมาตรฐาน แสดงผลในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ปริมาณสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระจากผงอบเชยในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30

ชนิดไมโครแคปซูล[1]	ปริมาณสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย[2] (มิลลิกรัมเทียบเท่าวิตามินซีต่อร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย)		
	ร้อยละ 10	ร้อยละ 20	ร้อยละ 30
สตาร์ชดัดแปร	1,899.63±67.77 a	973.45±18.39 b	759.42±39.55 b
มอลโทเดกซ์ทริน D.E. 8-12	1,725.98±34.46 b	1,203.86±29.67 a	812.55±8.64 b
มอลโทเดกซ์ทริน D.E. 16-20	1,753.68±23.05 b	1,007.48±76.11 b	894.18±66.49 a

หมายเหตุ [1] D.E. 8-12 คือ มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12
D.E. 16-20 คือ มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20
[2] ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 5 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่กักเก็บผงอบเชยมีปริมาณสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระอยู่ในช่วง 1,725.98 ถึง 1,899.63, 973.45 ถึง 1,203.86, และ 759.42 ถึง 894.18 มิลลิกรัมเทียบเท่าวิตามินซีต่อร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย ตามลำดับ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 ไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรที่กักเก็บผงอบเชยมีปริมาณสารที่มีความสามารถในการจับอนุมูลอิสระ (1,899.63 มิลลิกรัมเทียบเท่าวิตามินซีต่อร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กัก

เก็บผงอบเชย) สูงที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12 (1,725.98 มิลลิกรัมเทียบเท่าวิตามินซีต่อร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย) และ 16 ถึง 20 (1,753.68 มิลลิกรัมเทียบเท่าวิตามินซีต่อร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย) ที่กักเก็บผงอบเชยมีปริมาณสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) สำหรับที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 ไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร (973.45 มิลลิกรัมเทียบเท่าวิตามินซีต่อร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย) และมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 (1,007.48 มิลลิกรัมเทียบเท่าวิตามินซีต่อร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย) ที่กักเก็บผงอบเชยมีปริมาณสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12 ที่กักเก็บผงอบเชยมีปริมาณสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระ (1,203.86 มิลลิกรัมเทียบเท่าวิตามินซีต่อร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย) สูงที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร (759.42 มิลลิกรัมเทียบเท่าวิตามินซีต่อร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย) และมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12 (812.55 มิลลิกรัมเทียบเท่าวิตามินซีต่อร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย) ที่กักเก็บผงอบเชยมีปริมาณสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 ที่กักเก็บผงอบเชยมีปริมาณสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระ (894.18 มิลลิกรัมเทียบเท่าวิตามินซีต่อร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย) สูงที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ปรากฏว่า ไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยมีปริมาณสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระสูงที่สุด (1,899.63 มิลลิกรัมเทียบเท่าวิตามินซีต่อร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย) ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับร้อยละผงอบเชยที่อยู่ภายในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด เข้มข้นร้อยละ 10 และสอดคล้องกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต ความเข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่กักเก็บผงอบเชย (ตารางที่ 11) โดยในการทดลองนี้ใช้วิตามินซีเป็นสารมาตรฐานในการเปรียบเทียบปริมาณสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระเนื่องจาก วิตามินซีทำหน้าที่เป็นสารให้อะตอมไฮโดรเจน หรืออิเล็กตรอนกับอนุมูลอิสระคือ DPPH เกิดการฟอกจางสีสาร DPPH โดยวิตามินซีจะให้อะตอมไฮโดรเจนจากหมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้าง ซึ่งตัวอย่างที่มี

ปริมาณสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระสูงแสดงว่า มีปริมาณสารให้ความสามารถต้านออกซิเดชันสูง (Okuda, 1997; Gordon, 2001)

3.1.7 ปริมาณสารซินนามอลดีไฮด์จากผงอบเชยในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตโดยใช้เทคนิคสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

ตรวจสอบปริมาณสารซินนามอลดีไฮด์ของสารสกัดจากผงอบเชยในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต ความเข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 จากการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 287 นาโนเมตร โดยใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ แสดงผลในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ปริมาณสารซินนามอลดีไฮด์จากผงอบเชยในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30

ชนิดไมโครแคปซูล [1]	ปริมาณสารซินนามอลดีไฮด์ของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย [2] (ppm)		
	ร้อยละ 10	ร้อยละ 20	ร้อยละ 30
สตาร์ชดัดแปร	1,989.49±6.86 a	1,285.90±4.10 a	1,224.41±2.27 a
มอลโทเดกซ์ทริน D.E. 8-12	1,805.10±5.85 c	1,266.18±6.69 b	1,075.01±6.62 c
มอลโทเดกซ์ทริน D.E. 16-20	1,819.24±5.69 b	1,075.73±4.32 c	1,108.77±4.55 b

หมายเหตุ [1] D.E. 8-12 คือ มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 12
D.E. 16-20 คือ มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20
[2] ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 8 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สารสกัดจากไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่กักเก็บผงอบเชยมีปริมาณสารซินนามอลดีไฮด์อยู่ในช่วง 1,805.10 ถึง 1,989.49 ppm, 1,075.73 ถึง 1,285.90 ppm, และ 1,075.01 ถึง 1,224.41 ppm ตามลำดับ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 (1,989.49 ppm), 20 (1,285.90 ppm), และ 30 (1,224.41 ppm) สารสกัดไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรที่กักเก็บผงอบเชยมีปริมาณสารซินนามอลดีไฮด์สูงที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง

ไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่กักเก็บผงอบเชย ปรากฏว่า สารสกัดไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยมีปริมาณสารซินนามอลดีไฮด์ (1,989.49 ppm) สูงที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับร้อยละผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร เข้มข้นร้อยละ 10 (ร้อยละ 5.90) และสอดคล้องกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (1,424.59 มิลลิกรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย) และปริมาณสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระ (1,899.63 มิลลิกรัมเทียบเท่าวิตามินซีต่อร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย) ของไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชย

จากผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกักเก็บผงอบเชยในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 สรุปได้ว่าสารละลายสตาร์ชดัดแปร (2.50 มิลลิปาสคาล·วินาที) และมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 (2.51 มิลลิปาสคาล·วินาที) เข้มข้นร้อยละ 10 มีค่าความหนืดต่ำที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยสารละลายไมโครแคปซูลที่มีค่าความหนืดต่ำมีผลทำให้ไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร (ร้อยละ 5.90) และมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 (ร้อยละ 4.28) เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชย มีปริมาณร้อยละผงอบเชยมากกว่าไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชยอื่น และไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร และมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 ที่กักเก็บผงอบเชยมีการกระจายตัว และไม่เกาะกลุ่มกัน อนุภาคส่วนใหญ่ของไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร (ร้อยละ 69.66) และมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 (ร้อยละ 63.21) ที่กักเก็บผงอบเชยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 3.1 ถึง 6.0 ไมโครเมตร ไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (1,424.59 มิลลิกรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย) สารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระ (1,899.63 มิลลิกรัมเทียบเท่าวิตามินซีต่อร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย) และสารซินนามอลดีไฮด์ (1,989.49 ppm) สูงที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือ ไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (1,317.68 มิลลิกรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย) สารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระ (1,753.68 มิลลิกรัมเทียบเท่าวิตามินซีต่อร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูลกลุ่ม

คาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย) และสารซินนามอลดีไฮด์ (1,819.24 ppm) สูงกว่าตัวอย่างอื่นทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังนั้นจึงเลือกไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร และมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยมาคลุกข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอก

4. ผลการผลิตข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอก และเปรียบเทียบคุณภาพการคลุกผงสมุนไพร

นำข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชย (สูตรควบคุม) มาตรวจสอบคุณภาพทางเคมี (ความชื้น, ไขมัน, และวอเตอร์แอกทิวิตี) ฟิสิกส์ (อัตราส่วนการขยายตัว (2 มิติ) และการพองตัว (3 มิติ), และค่าสี) เคมีเชิงฟิสิกส์ (ลักษณะเนื้อสัมผัส) และจุลินทรีย์ (ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด) และนำข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกผงอบเชย และคลุกไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร และมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยมาตรวจสอบปริมาณไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยซึ่งได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค ใช้การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยวิธีการให้คะแนนความชอบ ตรวจสอบคุณภาพทางเคมี (วอเตอร์แอกทิวิตี) ฟิสิกส์ (สี และร้อยละการเกาะติด) และเคมีเชิงฟิสิกส์ (เนื้อสัมผัส) ของข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต 2 ชนิด ที่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค และคลุกผงอบเชยปริมาณเทียบเท่ากับปริมาณผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร และมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 เข้มข้นร้อยละ 10

4.1 คุณภาพทางเคมี ฟิสิกส์ เคมีเชิงฟิสิกส์ และจุลินทรีย์ของข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชย

นำผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชย (สูตรควบคุม) มาตรวจสอบคุณภาพทางเคมีคือ ความชื้น, ไขมัน, และวอเตอร์แอกทิวิตี ทางฟิสิกส์คือ อัตราส่วนการขยายตัว (2 มิติ) และการพองตัว (3 มิติ) และค่าสี (L, a, b) ทางเคมีเชิงฟิสิกส์คือ ลักษณะเนื้อสัมผัส และทางจุลินทรีย์คือ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด แสดงผลดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 คุณภาพของข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชย

คุณภาพของผลิตภัณฑ์		ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชย	
		ก่อนทอด	หลังทอด
ความชื้น (ร้อยละ)		10.65±0.41	5.32±0.30
ไขมัน (ร้อยละ)		0.28±0.03	9.45±0.86
วอเตอร์แอกทิวิตี		0	0.26±0.00
อัตราส่วนการขยายตัว (เท่า)	เส้นผ่านศูนย์กลาง	0	0.21
	ความหนา	0	1.18
อัตราส่วนการพองตัว (เท่า)		0	3.5
ค่าสี	L	0	62.02±0.68
	a	0	7.89±0.40
	b	0	19.55±0.45
ค่าความแข็ง (กรัม)		0	650.52±165.54
ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม)		0	9x10

หมายเหตุ ผลการทดลองในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชยมีปริมาณความชื้นก่อนทอดร้อยละ 10.65±0.41 และหลังทอดร้อยละ 5.32±0.30 ปริมาณไขมันก่อนทอดร้อยละ 0.28±0.03 และหลังทอดร้อยละ 9.45±0.86 ซึ่งมีปริมาณไขมันตรงตามมาตรฐานขนมกรอบจากธัญชาติของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดคือ มีปริมาณไขมันไม่เกินร้อยละ 30 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2541) ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกหลังทอด 0.26±0.00 อัตราส่วนการขยายตัวของข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกหลังทอดในแนวเส้นผ่านศูนย์กลางเป็น 0.21 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกก่อนทอด ด้านความหนาเป็น 1.18 เท่าของความหนาของข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกก่อนทอด และการพองตัวเป็น 3.5 เท่าของปริมาตรข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกก่อนทอด มีค่าความสว่างของสี (L) 62.02±0.68 มีค่าความเป็นสีเขียว-แดง (a) 7.89±0.40 มีค่าความเป็นสีน้ำ

เงิน-เหลือง (b) 19.55±0.45 ค่าความแข็งของข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอก 650.52±165.54 กรัม และมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 9x10 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ซึ่งไม่เกินมาตรฐานจุลินทรีย์ที่สามารถตรวจพบได้ในข้าวเกรียบ และขนมอบกรอบจากธัญชาติของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคือ ไม่เกิน $1x10^4$ โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2530; สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2541) ดังนั้นข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชยที่ผลิตขึ้นมีคุณภาพตรงตามมาตรฐานตามที่กฎหมายกำหนด มีความปลอดภัยสำหรับการบริโภค

4.2 คุณภาพทางเคมี ฟิสิกส์ และเคมีเชิงฟิสิกส์ของข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกผงอบเชย และคลุกไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย

4.2.1 ปริมาณไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชยที่เหมาะสมในการคลุกข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอก

นำข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกมาคลุกไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรและมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชย ปริมาณร้อยละ 0.30, 0.50, และ 0.70 และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยวิธีการให้คะแนนความชอบ เปรียบเทียบกับข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชย (สูตรควบคุม) แสดงผลในตารางที่ 15

ตารางที่ 15 คะแนนความชอบจากการทดสอบชิมข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชย คลุกไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร และมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชย ปริมาณร้อยละ 0.30, 0.50, และ 0.70

ตัวอย่าง [1]	ปริมาณไมโครแคปซูล (ร้อยละ)	คะแนนความชอบ [2]				
		ลักษณะปรากฏ	สี	ความกรอบ	กลิ่นรสผลิตภัณฑ์	ความชอบโดยรวม
สูตรควบคุม	0	6.70 a	6.90 a	7.10 a	5.30 a	6.73 a
สตาร์ชดัดแปร	0.30	3.80 b	4.13 b	6.17 b	5.33 a	5.12 b
	0.50	3.53 b	4.10 b	6.10 b	4.85 ab	4.80 bc
	0.70	3.67 b	4.10 b	5.73 bc	5.00ab	4.58 bcd
มอลโทเดกซ์ทริน D.E. 16-20	0.30	4.03 b	4.30 b	6.13 b	4.83 ab	4.83 bc
	0.50	3.73 b	4.10 b	6.13 b	4.60 ab	4.50 cd
	0.70	3.67 b	3.90 b	5.50 c	4.37 b	4.13 d

หมายเหตุ [1] สูตรควบคุมคือ ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชย
สตาร์ชดัดแปรคือ ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรเข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชย
มอลโทเดกซ์ทริน D.E. 16-20 คือ ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชย

[2] ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 30 ซ้ำ
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
ระดับคะแนนความชอบเฉลี่ยในตารางมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 9 ซึ่ง 9 คือ ชอบมากที่สุด, 8 คือ ชอบมาก, 7 คือ ชอบปานกลาง, 6 คือ ชอบเล็กน้อย, 5 คือ บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ, 4 คือ ไม่ชอบเล็กน้อย, 3 คือ ไม่ชอบปานกลาง, 2 คือ ไม่ชอบมาก, และ 1 คือ ไม่ชอบมากที่สุด

ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชย (สูตรควบคุม) มีคะแนนความชอบทุกด้านอยู่ในช่วง 5.30 ถึง 7.10 โดยมีคะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏ (6.70), สี

(6.90), ความกรอบ (7.10), กลิ่นรสผลิตภัณฑ์ (5.30), และความชอบโดยรวม (6.73) มากที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยปริมาณร้อยละ 0.30 มีคะแนนความชอบทุกด้านอยู่ในช่วง 3.80 ถึง 6.17, ร้อยละ 0.50 มีคะแนนความชอบทุกด้านอยู่ในช่วง 3.53 ถึง 6.10, และร้อยละ 0.70 มีคะแนนความชอบทุกด้านอยู่ในช่วง 3.67 ถึง 5.73 โดยตัวอย่างคลุกไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร ปริมาณร้อยละ 0.30, 0.50, และ 0.70 มีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ (อยู่ในช่วง 3.53 ถึง 3.80), สี (อยู่ในช่วง 4.10 ถึง 4.13), ความกรอบ (อยู่ในช่วง 5.73 ถึง 6.17), กลิ่นรสผลิตภัณฑ์ (อยู่ในช่วง 4.85 ถึง 5.33), และความชอบโดยรวม (อยู่ในช่วง 4.58 ถึง 5.12) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) และที่ปริมาณร้อยละ 0.30 (5.33), 0.50 (4.85), และ 0.70 (5.00) ตัวอย่างมีคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสผลิตภัณฑ์ไม่แตกต่างกับข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชย (5.30) ทางสถิติ ($p>0.05$)

ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชย ปริมาณร้อยละ 0.30 มีคะแนนความชอบทุกด้านอยู่ในช่วง 4.03 ถึง 6.13, ร้อยละ 0.50 มีคะแนนความชอบทุกด้านอยู่ในช่วง 3.73 ถึง 6.13, และร้อยละ 0.70 มีคะแนนความชอบทุกด้านอยู่ในช่วง 3.67 ถึง 5.50 โดยตัวอย่างคลุกไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 ปริมาณร้อยละ 0.30, 0.50, และ 0.70 มีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ (อยู่ในช่วง 3.67 ถึง 4.03), สี (อยู่ในช่วง 3.90 ถึง 4.30), ความกรอบ (อยู่ในช่วง 5.50 ถึง 6.13), และกลิ่นรสผลิตภัณฑ์ (อยู่ในช่วง 4.37 ถึง 4.83) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) และข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชย ปริมาณร้อยละ 0.70 มีคะแนนความชอบโดยรวม (4.13) น้อยที่สุดทางสถิติ($p \leq 0.05$) โดยที่ปริมาณร้อยละ 0.30 (4.83) และ 0.50 (4.60) ตัวอย่างมีคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสผลิตภัณฑ์ไม่แตกต่างกับข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชย (5.30) ทางสถิติ ($p>0.05$)

จากผลการทดลองข้างต้นพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตทั้ง 2 ชนิด เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยในการคลุกผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มทำให้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี ความกรอบ กลิ่นรสผลิตภัณฑ์ และความชอบโดยรวมของผู้บริโภคลดลง จึงควรลดปริมาณไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตทั้ง 2 ชนิด เข้มข้นร้อยละ

10 ที่กักเก็บผงอบเชยลง จากปริมาณร้อยละ 0.30, 0.50, และ 0.70 เป็นร้อยละ 0.15 และ 0.30 ตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยวิธีการให้คะแนนความชอบ เปรียบเทียบกับข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชย (สูตรควบคุม) แสดงผลในตารางที่ 16

ตารางที่ 16 คะแนนความชอบจากการทดสอบชิมข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชย คลุกไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร และมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชย ปริมาณร้อยละ 0.15 และ 0.30

ตัวอย่าง [1]	ปริมาณไมโครแคปซูล (ร้อยละ)	คะแนนความชอบ [2]				
		ลักษณะปรากฏ	สี	ความกรอบ	กลิ่นรสผลิตภัณฑ์ [ns]	ความชอบโดยรวม
สูตรควบคุม	0	7.07 a	7.27 a	7.43 a	6.30	6.67 a
สตาร์ชดัดแปร	0.15	6.10 b	6.30 b	7.10 ab	6.13	6.40 ab
	0.30	5.20 cd	5.23 c	6.67 c	6.00	5.90 bc
มอลโทเดกซ์ทริน D.E. 16-20	0.15	5.77 bc	5.83 b	7.03 bc	6.20	6.30 abc
	0.30	5.03 d	4.93 c	6.80 bc	5.83	5.77 c

หมายเหตุ [1] สูตรควบคุมคือ ข้าวเกรียบข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชย
สตาร์ชดัดแปรคือ ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรที่กักเก็บผงอบเชย
มอลโทเดกซ์ทริน D.E. 16-20 คือ ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 ที่กักเก็บผงอบเชย
[2] ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 30 ซ้ำ
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
[ns] ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)
ระดับคะแนนความชอบเฉลี่ยในตารางมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 9 ซึ่ง 9 คือ ชอบมากที่สุด, 8 คือ ชอบมาก, 7 คือ ชอบปานกลาง, 6 คือ ชอบเล็กน้อย, 5 คือ บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ, 4 คือ ไม่ชอบเล็กน้อย, 3 คือ ไม่ชอบปานกลาง, 2 คือ ไม่ชอบมาก, และ 1 คือ ไม่ชอบมากที่สุด

ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชย (สูตรควบคุม) มีคะแนนความชอบทุกด้านอยู่ในช่วง 6.30 ถึง 7.43 โดยมีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ (7.07), สี (7.27), ความกรอบ (7.43), และความชอบโดยรวม (6.67) มากที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสของข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชย (6.30) ไม่แตกต่างกับตัวอย่างอื่นทางสถิติ ($p > 0.05$)

ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยปริมาณร้อยละ 0.15 มีคะแนนความชอบทุกด้านอยู่ในช่วง 6.10 และ 7.10 และร้อยละ 0.30 มีคะแนนความชอบทุกด้านอยู่ในช่วง 5.20 ถึง 6.67 ตัวอย่างคลุกไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรปริมาณร้อยละ 0.15 มีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ (6.10), สี (6.30), และความกรอบ (7.10) มากกว่าตัวอย่างคลุกไมโครแคปซูลปริมาณร้อยละ 0.30 ทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่างคลุกไมโครแคปซูลปริมาณร้อยละ 0.15 และ 0.30 มีคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสผลิตภัณฑ์ (อยู่ในช่วง 6.00 ถึง 6.13) และความชอบโดยรวม (อยู่ในช่วง 5.90 ถึง 6.40) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งตัวอย่างคลุกไมโครแคปซูลปริมาณร้อยละ 0.15 มีคะแนนความชอบด้านความกรอบ (7.10) กลิ่นรสผลิตภัณฑ์ (6.13) และความชอบโดยรวม (6.40) และตัวอย่างคลุกไมโครแคปซูลปริมาณร้อยละ 0.30 มีคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสผลิตภัณฑ์ (6.00) ไม่แตกต่างกับข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชยทางสถิติ ($p > 0.05$)

ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยปริมาณร้อยละ 0.15 มีคะแนนความชอบทุกด้านอยู่ในช่วง 5.77 ถึง 7.03 และร้อยละ 0.30 มีคะแนนความชอบทุกด้านอยู่ในช่วง 4.93 ถึง 6.80 โดยตัวอย่างคลุกไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 ปริมาณร้อยละ 0.15 มีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ (5.77) และสี (5.83) มากกว่าตัวอย่างคลุกไมโครแคปซูลปริมาณร้อยละ 0.30 ทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนคะแนนความชอบด้านความกรอบ (อยู่ในช่วง 6.80 ถึง 7.03) กลิ่นรสผลิตภัณฑ์ (อยู่ในช่วง 5.83 ถึง 6.20) และความชอบโดยรวม (อยู่ในช่วง 5.77 ถึง 6.30) ของตัวอย่างคลุกไมโครแคปซูลปริมาณร้อยละ 0.15 และ 0.30 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งตัวอย่างคลุกไมโครแคปซูลปริมาณร้อยละ 0.15 (6.20) และ 0.30 (5.83) มีคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสผลิตภัณฑ์ไม่แตกต่างกับข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชย (6.30) ทางสถิติ ($p > 0.05$) และตัวอย่างคลุกไมโครแคปซูล

ปริมาณร้อยละ 0.15 (6.30) มีคะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกับข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชย (6.67) ทางสถิติ ($p>0.05$)

จากผลการทดสอบชิมข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกสูตรต่าง ๆ ข้างต้นพบว่าข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยปริมาณร้อยละ 0.15 มีคะแนนความชอบด้านความกรอบ (7.10) กลิ่นรสผลิตภัณฑ์ (6.13) และความชอบโดยรวม (6.40) ไม่แตกต่างกับข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชยทางสถิติ ($p>0.05$) และข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยปริมาณร้อยละ 0.15 มีคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสผลิตภัณฑ์ (6.20) และความชอบโดยรวม (6.30) ไม่แตกต่างกับข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชยทางสถิติ ($p>0.05$)

จึงเลือกข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรและมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยปริมาณร้อยละ 0.15 มาตรวจสอบคุณภาพทางเคมี ฟิสิกส์ และเคมีเชิงฟิสิกส์ เปรียบเทียบกับข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชย

4.2.2 คุณภาพทางเคมี ฟิสิกส์ และเคมีเชิงฟิสิกส์ของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุก คลุกผงอบเชย และไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชยในปริมาณที่ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัส

ตรวจสอบคุณภาพทางเคมี (ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี) ฟิสิกส์ (ค่าสี และร้อยละการเกาะติด) และเคมีเชิงฟิสิกส์ (เนื้อสัมผัส) ของข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร และมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชย ปริมาณร้อยละ 0.15 เปรียบเทียบกับข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชย (สูตรควบคุม) ได้ผลดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี ค่าสี (L, a, และ b) ร้อยละการเกาะติด และค่าความแข็งของข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุก คลุกผงอบเชย และคลุกไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร และมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชย ปริมาณร้อยละ 0.15

สูตรที่[1]	ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี[2]	ค่าสี[3]			ร้อยละการเกาะติด[4]	ค่าความแข็ง[5] (กรัม)
		L	a	b		
1	0.26±0.00 d	62.02±0.68 b	7.89±0.40 b	19.55±0.45 a	0	650.52±165.54 a
2	0.27±0.01 c	52.50±1.32 d	10.26±0.87 a	19.19±0.67 a	0	367.35±84.98 b
3	0.28±0.00 b	55.38±1.25 c	10.68±0.93 a	19.97±0.47 a	0	635.56±162.95 a
4	0.30±0.01 a	69.22±0.53 a	5.01±0.57 c	12.77±1.08 b	90.00±6.48	369.55±88.38 b
5	0.30±0.01 a	70.78±2.27 a	4.57±0.81 c	11.65±0.95 c	88.67±4.50	463.25±57.36 b

หมายเหตุ [1] สูตรที่ 1 คือ ข้าวเกรียบข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชย (สูตรควบคุม)
สูตรที่ 2 คือ ข้าวเกรียบข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกผงอบเชยปริมาณเทียบเท่าปริมาณผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร
สูตรที่ 3 คือ ข้าวเกรียบข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกผงอบเชยปริมาณเทียบเท่าปริมาณผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20
สูตรที่ 4 คือ ข้าวเกรียบข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรที่กักเก็บผงอบเชย
สูตรที่ 5 คือ ข้าวเกรียบข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 ที่กักเก็บผงอบเชย
[2] ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ 2 ตัวอย่าง ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
[3] ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ 2 ตัวอย่าง ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
[4] ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 5 ซ้ำ 2 ตัวอย่าง ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
[5] ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 4 ซ้ำ 2 ตัวอย่าง ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร (0.30) และมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 (0.30) เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยปริมาณร้อยละ 0.15 มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีมากที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตามลำดับรองลงมาคือ ข้าวเกรียบข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกผงอบเชยปริมาณเทียบเท่าปริมาณผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 (0.28) มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีมากกว่าข้าวเกรียบข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกผงอบเชยปริมาณเทียบเท่าปริมาณผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร (0.27) ทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชยมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (0.26) น้อยที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร (69.22) และมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 (70.78) เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยปริมาณร้อยละ 0.15 มีค่าความสว่างของสี (L) มากที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือ ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชย (62.02) ซึ่งมีค่าความสว่างของสีมากกว่าข้าวเกรียบข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกผงอบเชยปริมาณเทียบเท่าปริมาณผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 (55.38) และข้าวเกรียบข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกผงอบเชยปริมาณเทียบเท่าปริมาณผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร (52.50) ทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกผงอบเชยปริมาณเทียบเท่าปริมาณผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร (10.26) และคลุกผงอบเชยปริมาณเทียบเท่าปริมาณผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 (10.68) มีค่าความเป็นสีเขียว-แดง หรือ a (-a เป็นสีเขียว และ +a เป็นสีแดง) มากที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงว่ามีค่าความเป็นสีแดงมากที่สุด รองลงมาคือ ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชย (7.89) โดยมีค่า a มากกว่าข้าวเกรียบข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร (5.01) และมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 (4.57) เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยปริมาณร้อยละ 0.15 ทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกทุกสูตรมีค่า a เป็นบวก แสดงว่ามีค่าความเป็นสีเขียว-แดง เป็นสีแดง

ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชย (19.55) คลุกผงอบเชยปริมาณเทียบเท่าปริมาณผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร (19.19) และคลุกผงอบเชยปริมาณ

เทียบเท่าปริมาณผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 (19.97) มีค่าความเป็นสีน้ำเงิน-เหลือง (b) (-b เป็นสีน้ำเงิน +b เป็นสีเหลือง) มากที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือ ข้าวเกรียบข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยปริมาณร้อยละ 0.15 (12.77) และข้าวเกรียบข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยปริมาณร้อยละ 0.15 มีค่า b (11.65) น้อยที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกทุกสูตรมีค่า b เป็นบวก แสดงว่ามีค่าความเป็นสีน้ำเงิน-เหลือง เป็นสีเหลือง

ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร (ร้อยละ 90.00 ± 6.48) และมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 (ร้อยละ 88.67 ± 4.50) เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยปริมาณร้อยละ 0.15 มีร้อยละการเกาะติดใกล้เคียงกัน ดังนั้นคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิดจึงไม่มีผลต่อร้อยละการเกาะติดของไมโครแคปซูลบนพื้นผิวข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอก

ข้าวเกรียบข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกผงอบเชยปริมาณเทียบเท่าปริมาณผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร (367.35 กรัม) คลุกไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร (369.55 กรัม) และไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 (463.25 กรัม) เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยปริมาณร้อยละ 0.15 มีค่าความแข็งน้อยกว่าข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชย (650.52 กรัม) และคลุกผงอบเชยปริมาณเทียบเท่าปริมาณผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 (635.56 กรัม) ทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการตรวจสอบคุณภาพทางเคมี ฟิสิกส์ และเคมีเชิงฟิสิกส์ ของข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกสูตรต่าง ๆ พบว่า ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกทุกสูตร (อยู่ในช่วง 0.26 ถึง 0.30) มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีอยู่ในช่วงค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของผลิตภัณฑ์บิสกิต และข้าวเกรียบทั่วไป คือ 0.20 ถึง 0.40 (Man, 2002; Esse and Saari, 2004) โดยข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร และมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยปริมาณร้อยละ 0.15 มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตี ค่าความสว่างของสี (L) ค่าความเป็นสีแดง (+a) และค่าความแข็งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) และข้าวเกรียบจาก

ข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยปริมาณร้อยละ 0.15 มีค่าความเป็นสีเหลือง (+b) มากกว่าข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยปริมาณร้อยละ 0.15

5. ผลการเปรียบเทียบอายุการเก็บรักษาของข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอก 3 ลักษณะ

นำข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชย (สูตรควบคุม) คลุกผงอบเชยปริมาณเทียบเท่าผงอบเชยที่อยู่ในไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร และมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 และคลุกไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร และมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยปริมาณร้อยละ 0.15 ตรวจสอบผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีคือ วอเตอร์แอกทิวิตี และกลิ่นหืน ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยสุ่มตัวอย่างข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกในระหว่างการเก็บรักษามาตรวจสอบคุณภาพทุก 2 สัปดาห์ เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ เปรียบเทียบกับข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกสูตรต่าง ๆ ก่อนเก็บรักษา ได้ผลดังนี้

5.1 วอเตอร์แอกทิวิตี

ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกทุกสูตรมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีอยู่ในช่วง 0.19 ถึง 0.35 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 สัปดาห์ เมื่อเปรียบเทียบค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกทุกสูตรก่อนเก็บรักษา และเก็บรักษาเป็นเวลา 2, 4, และ 6 สัปดาห์ (แนวตั้ง) แสดงผลในตารางที่ 18

ตารางที่ 18 ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของข้าวเกรียบข้าวกล้องเริ่มงอกสูตรต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในช่วง 6 สัปดาห์

สูตรที่ [1]	ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี [2]			
	ก่อนเก็บรักษา	2 สัปดาห์	4 สัปดาห์	6 สัปดาห์
1	0.26 ± 0.00 Dbc	0.31 ± 0.01 Aa	0.25 ± 0.01 Cc	0.28 ± 0.03 Cb
2	0.27 ± 0.01 Ca	0.20 ± 0.00 Bc	0.23 ± 0.02 Db	0.26 ± 0.02 Ca
3	0.28 ± 0.00 Ba	0.19 ± 0.01 Cc	0.19 ± 0.01 Ec	0.26 ± 0.02 Cb
4	0.30 ± 0.01 Ab	0.30 ± 0.01 Ab	0.30 ± 0.00 Bb	0.35 ± 0.04 Aa
5	0.30 ± 0.01 Ac	0.31 ± 0.00 Abc	0.32 ± 0.00 Aa	0.31 ± 0.01 Bab

หมายเหตุ [1] สูตรที่ 1 คือ ข้าวเกรียบข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชย (สูตรควบคุม)
สูตรที่ 2 คือ ข้าวเกรียบข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกผงอบเชยปริมาณเทียบเท่าปริมาณผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร
สูตรที่ 3 คือ ข้าวเกรียบข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกผงอบเชยปริมาณเทียบเท่าปริมาณผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20
สูตรที่ 4 คือ ข้าวเกรียบข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรที่กักเก็บผงอบเชย
สูตรที่ 5 คือ ข้าวเกรียบข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 ที่กักเก็บผงอบเชย
[2] ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ จาก 2 ตัวอย่าง ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ และเล็กที่แตกต่างกันในแนวตั้ง และแนวนอนตามลำดับ มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกทุกสูตรมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีก่อนเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส อยู่ในช่วง 0.26 ถึง 0.30 ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร (สูตรที่ 4) (0.30) และมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 (สูตรที่ 5) (0.30) และ เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยปริมาณร้อยละ 0.15 มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีมากที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือ ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกผงอบเชยปริมาณเทียบเท่าปริมาณผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรส

เทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 (สูตรที่ 3) (0.28) คลุกผงอบเชยปริมาณเทียบเท่าปริมาณผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร (สูตรที่ 2) (0.27) และไม่คลุกผงอบเชย (สูตรที่ 1) (0.26) ทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สัปดาห์ที่ 2 ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกทุกสูตรมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีอยู่ในช่วง 0.19 ถึง 0.31 ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชย (สูตรที่ 1) (0.31) คลุกไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร (สูตรที่ 4) (0.30) และมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 (สูตรที่ 5) (0.31) เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยปริมาณร้อยละ 0.15 มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีมากที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือ ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกผงอบเชยปริมาณเทียบเท่าปริมาณผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร (สูตรที่ 2) (0.20) และข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกผงอบเชยปริมาณเทียบเท่าปริมาณผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 (สูตรที่ 3) มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (0.19) น้อยที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สัปดาห์ที่ 4 ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกทุกสูตรมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีอยู่ในช่วง 0.19 ถึง 0.32 ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 (สูตรที่ 5) เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยปริมาณร้อยละ 0.15 มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (0.32) มากที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือ ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยปริมาณร้อยละ 0.15 (สูตรที่ 4) (0.30) ไม่คลุกผงอบเชย (สูตรที่ 1) (0.25) คลุกผงอบเชยปริมาณเทียบเท่าปริมาณผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร (สูตรที่ 2) (0.23) และคลุกผงอบเชยปริมาณเทียบเท่าปริมาณผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 (สูตรที่ 3) (0.19) ทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สัปดาห์ที่ 6 ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกทุกสูตรมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีอยู่ในช่วง 0.26 ถึง 0.35 ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 (สูตรที่ 5) เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยปริมาณร้อยละ 0.15 มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (0.31) มากที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือ ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรเข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยปริมาณร้อยละ 0.15 (สูตรที่ 4) (0.35) และข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชย (สูตรที่ 1)

(0.28) มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีไม่แตกต่างกับข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกผงอบเชยปริมาณเทียบเท่าปริมาณผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร (สูตรที่ 2) (0.26) และมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยปริมาณร้อยละ 0.15 (สูตรที่ 3) (0.26) และ ทางสถิติ ($p>0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกแต่ละสูตร ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บรักษา, 2, 4, และ 6 สัปดาห์ (แนวนอน) แสดงผลในตารางที่ 18

ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชย (สูตรที่ 1) เก็บรักษาเป็นเวลา 6 สัปดาห์ มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีอยู่ในช่วง 0.25 ถึง 0.31 เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ตัวอย่างมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (0.31) มากที่สุดทางสถิติ ($p\leq0.05$) รองลงมาคือ ตัวอย่างก่อนเก็บรักษา (0.26) และเก็บรักษาเป็นเวลา 6 สัปดาห์ (0.28) มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) และตัวอย่างเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ (0.25) มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีไม่แตกต่างกับก่อนเก็บรักษา (0.26) ทางสถิติ ($p>0.05$)

ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกผงอบเชยปริมาณเทียบเท่าปริมาณผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร (สูตรที่ 2) เก็บรักษาเป็นเวลา 6 สัปดาห์ มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีอยู่ในช่วง 0.20 ถึง 0.27 โดยตัวอย่างก่อนเก็บรักษา (0.27) และเก็บรักษาเป็นเวลา 6 สัปดาห์ (0.26) มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีมากที่สุดทางสถิติ ($p\leq0.05$) รองลงมาคือ ตัวอย่างเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ (0.23) และ 2 สัปดาห์ (0.20) ทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกผงอบเชยปริมาณเทียบเท่าปริมาณผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 (สูตรที่ 3) เก็บรักษาเป็นเวลา 6 สัปดาห์ มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีอยู่ในช่วง 0.19 ถึง 0.28 ตัวอย่างก่อนเก็บรักษามีค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (0.28) มากที่สุดทางสถิติ ($p\leq0.05$) รองลงมาคือ ตัวอย่างเก็บรักษาเป็นเวลา 6 สัปดาห์ (0.26) และตัวอย่างเก็บรักษาเป็นเวลา 2 (0.19) และ 4 สัปดาห์ (0.19) มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีน้อยที่สุดทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยปริมาณร้อยละ 0.15 (สูตรที่ 4) เก็บรักษาเป็นเวลา 6 สัปดาห์ มีค่าวอ

เตอร์แอกทิวิตีอยู่ในช่วง 0.30 ถึง 0.35 เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 สัปดาห์ ตัวอย่างมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (0.35) มากที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และรองลงมาคือ ตัวอย่างก่อนเก็บรักษา (0.30), เก็บรักษาเป็นเวลา 2 (0.30), และ 4 สัปดาห์ (0.30) ซึ่งมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยปริมาณร้อยละ 0.15 (สูตรที่ 5) เก็บรักษาเป็นเวลา 6 สัปดาห์ มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีอยู่ในช่วง 0.30 ถึง 0.32 เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 4 (0.32) และ 6 สัปดาห์ (0.31) มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีมากที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งตัวอย่างเก็บรักษาเป็นเวลา 2 สัปดาห์ มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (0.31) ไม่แตกต่างกับ 6 สัปดาห์ (0.31) ทางสถิติ ($p>0.05$) และตัวอย่างก่อนเก็บรักษามีค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (0.30) ไม่แตกต่างกับตัวอย่างเก็บรักษา 2 สัปดาห์ (0.31) ทางสถิติ ($p>0.05$)

จากการเปรียบเทียบค่าวอเตอร์แอกทิวิตีในข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกสูตรต่าง ๆ ก่อนเก็บรักษา และเก็บรักษาเป็นเวลา 2, 4, และ 6 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส สรุปได้ว่าข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชย (สูตรที่ 1) มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าวอเตอร์แอกทิวิตีเพิ่มขึ้นจาก 0.26 (ก่อนเก็บรักษา) เป็น 0.25 ถึง 0.31 ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกผงอบเชยปริมาณเทียบเท่าปริมาณผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร (สูตรที่ 2) มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าวอเตอร์แอกทิวิตีลดลงจาก 0.27 (ก่อนเก็บรักษา) เป็น 0.20 ถึง 0.26 ส่วนข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกผงอบเชยปริมาณเทียบเท่าปริมาณผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 (สูตรที่ 3) มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าวอเตอร์แอกทิวิตีลดลงจาก 0.28 (ก่อนเก็บรักษา) เป็น 0.19 ถึง 0.26 เช่นเดียวกับข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกผงอบเชยปริมาณเทียบเท่าปริมาณผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร (สูตรที่ 2) สำหรับข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรเข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยปริมาณร้อยละ 0.15 (สูตรที่ 4) มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าวอเตอร์แอกทิวิตีคงที่ตลอดระยะเวลาเก็บรักษา 4 สัปดาห์ (0.30) และในสัปดาห์ที่ 6 ตัวอย่างมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีเพิ่มขึ้น (0.35) และข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยปริมาณร้อยละ 0.15 (สูตรที่ 5) มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าวอเตอร์แอกทิวิตีคงที่ตลอดระยะเวลาเก็บรักษา 6 สัปดาห์ (อยู่ในช่วง 0.30 ถึง 0.32) ซึ่งข้าวเกรียบจากข้าว

กล้องเริ่มงอกทุกสูตรมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีอยู่ในช่วงไม่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ อยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยสำหรับการบริโภค

5.2 กลิ่นหืน

ตรวจสอบแนวโน้มการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะคู่ และพันธะสามระหว่างการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกสูตรต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 สัปดาห์ โดยใช้หลักการวัดค่าการดูดกลืนแสงของเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 234 และ 270 นาโนเมตร แสดงผลในตารางที่ 19 และ 20

ตารางที่ 19 แนวโน้มการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะคู่ระหว่างการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกสูตรต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในช่วง 6 สัปดาห์

สูตรที่ [1]	แนวโน้มการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว [2]			
	0 สัปดาห์	2 สัปดาห์	4 สัปดาห์	6 สัปดาห์
1	0 ± 0.00 d	0.75 ± 0.05 c	1.64 ± 0.06 a	1.25 ± 0.09 b
2	0 ± 0.00 d	1.19 ± 0.04 b	1.67 ± 0.02 a	0.88 ± 0.05 c
3	0 ± 0.00 d	1.33 ± 0.12 b	1.66 ± 0.02 a	1.14 ± 0.04 c
4	0 ± 0.00 d	0.74 ± 0.01 c	1.40 ± 0.09 b	1.60 ± 0.03 a
5	0 ± 0.00 c	0.94 ± 0.01 b	1.14 ± 0.02 a	0.90 ± 0.01 b

หมายเหตุ [1] สูตรที่ 1 คือ ข้าวเกรียบข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชย (สูตรควบคุม)
สูตรที่ 2 คือ ข้าวเกรียบข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกผงอบเชยปริมาณเทียบเท่าปริมาณผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร
สูตรที่ 3 คือ ข้าวเกรียบข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกผงอบเชยปริมาณเทียบเท่าปริมาณผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20
สูตรที่ 4 คือ ข้าวเกรียบข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรที่กักเก็บผงอบเชย
สูตรที่ 5 คือ ข้าวเกรียบข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 ที่กักเก็บผงอบเชย
[2] ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ จาก 2 ตัวอย่าง ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 19 เมื่อเปรียบเทียบแนวโน้มการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะคู่ระหว่างการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกสูตรต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 สัปดาห์ ปรากฏว่า ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชย (สูตรที่ 1) มีแนวโน้มการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่ในช่วง 0 ถึง 1.64 โดยข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชย (สูตรที่ 1) เก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ มีแนวโน้มการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (1.64) มากที่สุด

ทางสถิติ ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือ ตัวอย่างเก็บรักษาเป็นเวลา 6 (1.25) และ 2 สัปดาห์ (0.75) และก่อนเก็บรักษา (0) ทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกผงอบเชยปริมาณเทียบเท่าปริมาณผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร (สูตรที่ 2) มีแนวโน้มการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่ในช่วง 0 ถึง 1.67 ตัวอย่างเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ มีแนวโน้มการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (1.67) มากที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกับข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชย (สูตรที่ 1) รองลงมาคือ ตัวอย่างเก็บรักษาเป็นเวลา 2 (1.19) และ 6 สัปดาห์ (0.88) และก่อนเก็บรักษา (0) ทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกผงอบเชยปริมาณเทียบเท่าปริมาณผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 (สูตรที่ 3) มีแนวโน้มการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่ในช่วง 0 ถึง 1.66 ตัวอย่างเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ (1.66) มีแนวโน้มการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกับข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชย (สูตรที่ 1) และคลุกผงอบเชยปริมาณเทียบเท่าปริมาณผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร (สูตรที่ 2) รองลงมาคือ ตัวอย่างเก็บรักษาเป็นเวลา 2 (1.33) และ 6 สัปดาห์ (1.14) และก่อนเก็บรักษา (0) ทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยปริมาณร้อยละ 0.15 (สูตรที่ 4) มีแนวโน้มการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่ในช่วง 0 ถึง 1.60 โดยตัวอย่างเก็บรักษาเป็นเวลา 6 สัปดาห์ มีแนวโน้มการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (1.60) มากที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือ ตัวอย่างเก็บรักษาเป็นเวลา 4 (1.40) และ 2 สัปดาห์ (0.74) และก่อนเก็บรักษา (0) ทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยปริมาณร้อยละ 0.15 (สูตรที่ 5) มีแนวโน้มการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่ในช่วง 0 ถึง 1.14 โดยตัวอย่างเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ มีแนวโน้มการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (1.14) มากที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกับข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผง

อบเชย (สูตรที่ 1) คลุกผงอบเชยปริมาณเทียบเท่าปริมาณผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร (สูตรที่ 2) และคลุกผงอบเชยปริมาณเทียบเท่าปริมาณผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 (สูตรที่ 3) รองลงมาคือ ตัวอย่างเก็บรักษาเป็นเวลา 2 (0.94) และ 6 สัปดาห์ (0.90) มีแนวโน้มการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) และตัวอย่างก่อนเก็บรักษามีแนวโน้มการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (0) น้อยที่สุดทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตารางที่ 20 แนวโน้มการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะสามระหว่างการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกสูตรต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในช่วง 6 สัปดาห์

สูตรที่ [1]	แนวโน้มการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะสามของกรดไขมันไม่อิ่มตัว [2]			
	0 สัปดาห์	2 สัปดาห์	4 สัปดาห์	6 สัปดาห์
1	0 ± 0.00 d	0.23 ± 0.03 c	0.45 ± 0.02 a	0.33 ± 0.02 b
2	0 ± 0.00 d	0.89 ± 0.04 b	1.33 ± 0.01 a	0.77 ± 0.04 c
3	0 ± 0.00 d	0.84 ± 0.06 b	1.10 ± 0.03 a	0.71 ± 0.02 c
4	0 ± 0.00 d	0.21 ± 0.00 c	0.42 ± 0.05 b	0.45 ± 0.02 a
5	0 ± 0.00 c	0.26 ± 0.01 b	0.33 ± 0.01 a	0.28 ± 0.01 b

หมายเหตุ [1] สูตรที่ 1 คือ ข้าวเกรียบข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชย (สูตรควบคุม)
สูตรที่ 2 คือ ข้าวเกรียบข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกผงอบเชยปริมาณเทียบเท่าปริมาณผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร
สูตรที่ 3 คือ ข้าวเกรียบข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกผงอบเชยปริมาณเทียบเท่าปริมาณผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20
สูตรที่ 4 คือ ข้าวเกรียบข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรที่กักเก็บผงอบเชย
สูตรที่ 5 คือ ข้าวเกรียบข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 ที่กักเก็บผงอบเชย
[2] ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ จาก 2 ตัวอย่าง ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq0.05$)

จากตารางที่ 20 เมื่อเปรียบเทียบแนวโน้มการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะสามระหว่างการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกสูตรต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 สัปดาห์ ปรากฏว่า ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชย (สูตรที่ 1) มีแนวโน้มการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะสามของกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่ในช่วง 0 ถึง 0.45 โดยตัวอย่างเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ มีแนวโน้มการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะสามของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (0.45) มากที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือ ตัวอย่างเก็บรักษาเป็นเวลา 6 (0.33) และ 2 สัปดาห์ (0.23) และก่อนเก็บรักษา (0) ทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกผงอบเชยปริมาณเทียบเท่าปริมาณผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร (สูตรที่ 2) มีแนวโน้มการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะสามของกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่ในช่วง 0 ถึง 1.33 เมื่อเก็บรักษาตัวอย่างเป็นเวลา 4 สัปดาห์ มีแนวโน้มการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะสามของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (1.33) มากที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกับข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชย (สูตรที่ 1) รองลงมาคือ ตัวอย่างเก็บรักษาเป็นเวลา 2 (0.89) และ 6 สัปดาห์ (0.77) และก่อนเก็บรักษา (0) ทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกผงอบเชยปริมาณเทียบเท่าปริมาณผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 (สูตรที่ 3) มีแนวโน้มการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะสามของกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่ในช่วง 0 ถึง 1.10 เมื่อเก็บรักษาตัวอย่างเป็นเวลา 4 สัปดาห์ มีแนวโน้มการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะสามของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (1.10) มากที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกับข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชย (สูตรที่ 1) และคลุกผงอบเชยปริมาณเทียบเท่าปริมาณผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร (สูตรที่ 2) รองลงมาคือ ตัวอย่างเก็บรักษาเป็นเวลา 2 (0.84) และ 6 สัปดาห์ (0.71) และก่อนเก็บรักษา (0) ทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยปริมาณร้อยละ 0.15 (สูตรที่ 4) มีแนวโน้มการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะสามของกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่ในช่วง 0 ถึง 0.45 ตัวอย่างเก็บรักษาเป็นเวลา 6 สัปดาห์ มีแนวโน้มการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะสามของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (0.45) มากที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือ ตัวอย่างเก็บรักษาเป็นเวลา 4 (0.42) และ 2 สัปดาห์ (0.21) และก่อนเก็บรักษา (0) ทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยปริมาณร้อยละ 0.15 (สูตรที่ 5) มีแนวโน้มการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะสามของกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่ในช่วง 0 ถึง 0.33 ตัวอย่างเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ มีแนวโน้มการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะสามของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (0.33) มากที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกับข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชย (สูตรที่ 1) คลุกผงอบเชยปริมาณเทียบเท่าปริมาณผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร (สูตรที่ 2) และคลุกผงอบเชยปริมาณเทียบเท่าปริมาณผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 (สูตรที่ 3) รองลงมาคือตัวอย่างเก็บรักษาเป็นเวลา 2 (0.26) และ 6 สัปดาห์ (0.28) ซึ่งมีแนวโน้มการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะสามของกรดไขมันไม่อิ่มตัวไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) และตัวอย่างก่อนเก็บรักษามีแนวโน้มการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะสามของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (0) น้อยที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดลองตารางที่ 19 และ 20 ปรากฏว่า ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกทุกสูตรมีแนวโน้มการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะคู่ระหว่างการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวไปในทิศทางเดียวกันกับแนวโน้มการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะสามระหว่างการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวของผลิตภัณฑ์ ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยปริมาณร้อยละ 0.15 (สูตรที่ 4) มีแนวโน้มการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะคู่ (1.60) และพันธะสาม (0.45) ระหว่างการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากที่สุดเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชย (สูตรที่ 1) (1.64) คลุกผงอบเชยปริมาณเทียบเท่าปริมาณผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร (สูตรที่ 2) (1.67) คลุกผงอบเชยปริมาณเทียบเท่าปริมาณผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 (สูตรที่ 3) (1.66) และคลุกไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยปริมาณร้อยละ 0.15 (สูตรที่ 5) (1.14) เก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ มีแนวโน้มการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากที่สุด และมีแนวโน้มการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะสามของกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากที่สุดเช่นกัน ก่อนมีแนวโน้มการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะคู่ และพันธะสามของกรดไขมันไม่อิ่มตัวลดลงในสัปดาห์ที่ 6 ซึ่งอาจเกิดสารให้กลิ่นรสหืนในปฏิกิริยาออกซิเดชันขั้นทุติยภูมิขึ้นในสัปดาห์ที่ 6 แสดงว่าข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโคร

แคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยปริมาณร้อยละ 0.15 (สูตรที่ 4) สามารถเก็บรักษาได้นานกว่าข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกสูตรอื่น ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับลักษณะรูปร่างของไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยคือ เมื่อเปรียบเทียบลักษณะรูปร่างของไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรเข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยกับไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยพบว่า ไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรเข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยมีลักษณะพื้นผิวภายนอกขรุขระ และมีการหดตัวของบริเวณพื้นผิวรอบไมโครแคปซูล ทำให้เกิดหลุม หรือช่องว่างที่บริเวณพื้นผิวทั้งภายใน และภายนอกของไมโครแคปซูล สามารถกักเก็บผงอบเชยไว้บริเวณพื้นผิวของไมโครแคปซูลได้ จึงปลดปล่อยสารให้ความสามารถต้านออกซิเดชันออกมาจากไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยได้มากกว่าไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าเดกซ์โทรสเทียบเท่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 20 ที่มีลักษณะพื้นผิวภายนอกเรียบ และมีการหดตัวของบริเวณพื้นผิวไมโครแคปซูลบางส่วน

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. คัดเลือกสมุนไพรให้กลิ่นรสที่มีปริมาณสารให้ความสามารถต้านออกซิเดชันสูงที่สุด

เปลือกอบเชยมีปริมาณความชื้นร้อยละ 9.70 ไขมันร้อยละ 0.15 เส้นใยหยาบร้อยละ 16.70 เถ้าร้อยละ 4.27 โดยเปลือกอบเชยมีปริมาณเส้นใยหยาบมากที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คือ ร้อยละ 16.70 แต่มีปริมาณไขมันต่ำที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คือ ร้อยละ 0.15 เมื่อตรวจสอบปริมาณสารให้ความสามารถต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากผงอบเชยปรากฏว่า มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คือ 81.76 มิลลิกรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้งของผงสมุนไพร 1 กรัม และมีปริมาณสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระสูงที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คือ 301.66 มิลลิกรัมเทียบเท่าวิตามินซีต่อน้ำหนักแห้งของผงสมุนไพร 1 กรัม จึงเลือกอบเชยมาใช้ในการผลิตไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต โดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอย

2. เปรียบเทียบชนิดของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต ในการกักเก็บผงสมุนไพรที่มีปริมาณสารให้ความสามารถต้านออกซิเดชัน และสารให้กลิ่นรสสูงที่สุด โดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอย

จากผลการตรวจสอบคุณภาพทางเคมี (ความชื้น และความเป็นกรด-เบส) เคมีเชิงฟิสิกส์ (ความหนืด) และจุลินทรีย์ (ปริมาณจุลินทรีญทั้งหมด, ยีสต์ และรา, โคลิฟอร์ม, และซัลโมเนลลา) ของคาร์โบไฮเดรตปรากฏว่า สตาร์ชดัดแปรมีปริมาณความชื้นสูงที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คือ ร้อยละ 5.64 และมีค่าความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 5.7 โดยสารละลายสตาร์ชดัดแปร ความเข้มข้นร้อยละ 10 มีค่าความหนืด 2.50 มิลลิปาสคาล·วินาที ต่ำที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สตาร์ชดัดแปรมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า $3x10^3$ ยีสต์ และราน้อยกว่า $1x10^2$ ไม่พบโคลิฟอร์ม และซัลโมเนลลา

ผลิตไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย มีปริมาณผงอบเชยคิดเป็นสัดส่วน 1 กรัม ต่อสารละลายคาร์โบไฮเดรต 100 มิลลิลิตร ความเข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 โดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอย ตรวจสอบคุณภาพทางเคมี (ความชื้น) ฟิสิกส์ (ร้อย

ละผลได้, ร้อยละผงอบเชยในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต, และรูปร่าง และขนาดของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย) ปริมาณสารให้ความสามารถต้านออกซิเดชันของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย (ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระ) และปริมาณสารซินนามอลดีไฮด์ของผงอบเชยในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตปรากฏว่า ไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชย มีร้อยละผลได้ร้อยละ 70.35 โดยร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชยไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของคาร์โบไฮเดรต มีปริมาณความชื้นร้อยละ 3.84 การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายคาร์โบไฮเดรตทำให้ไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชยมีปริมาณความชื้นลดลง ไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรเข้มข้นร้อยละ 10 มีร้อยละผงอบเชยมากที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คือ ร้อยละ 5.90 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายคาร์โบไฮเดรตมีแนวโน้มทำให้ร้อยละผงอบเชยในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตลดลง แสดงว่าสารละลายสตาร์ชดัดแปรเข้มข้นร้อยละ 10 มีค่าความหนืดเหมาะสมกับเทคนิคการทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอยในกระบวนการเอนแคปซูเลชัน โดยไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรเข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชย มีการกระจายตัว ไม่เกาะกลุ่มกัน และมีรอยบุบบริเวณพื้นผิวไมโครแคปซูลสม่ำเสมอทั่วทั้งอนุภาค โดยไมโครแคปซูลส่วนใหญ่ร้อยละ 69.66 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 3.1 ถึง 6.0 ไมโครเมตร โดยการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายคาร์โบไฮเดรตทำให้ไมโครแคปซูลมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ขึ้น ซึ่งไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรเข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คือ 1,424.59 มิลลิกรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย และมีปริมาณสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระสูงที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คือ 1,899.63 มิลลิกรัมเทียบเท่าวิตามินซีต่อร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย มีปริมาณสารซินนามอลดีไฮด์สูงที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คือ 1,989.49 ppm สอดคล้องกับร้อยละผงอบเชยในไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรเข้มข้นร้อยละ 10 คือ ร้อยละ 5.90 จึงเลือกไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรเข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชย คลุกข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอก

3. ใช้ไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่ผ่านการคัดเลือกจากวัตถุประสงค์ที่ 2 เพื่อคลุกข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอก โดยเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมี ฟิสิกส์ และประสาทสัมผัสกับข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุก และคลุกผงสมุนไพร

ผลิตข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชยจากแป้งข้าวกล้องเริ่มงอก 2 พันธุ์คือ ข้าวเจ้ากล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และข้าวเหนียวกล้องพันธุ์กข 6 ทอดที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส นาน 7 ถึง 10 วินาที ตรวจสอบคุณภาพทางเคมี (ความชื้น, ไขมัน, และวอเตอร์แอกทิวิตี) ฟิสิกส์ (อัตราส่วนการขยายตัว (2 มิติ) และการพองตัว (3 มิติ), และค่าสี) เคมีเชิงฟิสิกส์ (ลักษณะเนื้อสัมผัส) และจุลินทรีย์ (ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด) พบว่าข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุกผงอบเชยมีปริมาณความชื้นร้อยละ 5.32 ไขมันหลังทอดร้อยละ 9.45 ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี 0.26 อัตราส่วนการขยายตัว (2 มิติ) ในแนวเส้นผ่านศูนย์กลางเป็น 0.21 เท่า และความหนาเป็น 1.18 เท่า อัตราส่วนการพองตัว (3 มิติ) เป็น 3.5 เท่า มีค่าความสว่างของสี (L) 62.02 ค่าความเป็นสีเขียว-แดง (a) 7.89 ค่าความเป็นสีน้ำเงิน-เหลือง (b) 19.55 มีค่าความแข็ง 650.52 กรัม และมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 9x10 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

เมื่อนำไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรที่กักเก็บผงอบเชยมาคลุกข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกพบว่า ผู้บริโภคยอมรับไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรเข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชย ในผลิตภัณฑ์ปริมาณร้อยละ 0.15 และใช้เป็นเกณฑ์กำหนดปริมาณผงอบเชยในการคลุกข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอก ตรวจสอบคุณภาพทางเคมี (วอเตอร์แอกทิวิตี) ฟิสิกส์ (สี และร้อยละการเกาะติด) และเคมีเชิงฟิสิกส์ (เนื้อสัมผัส) ของข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกทั้งหมดพบว่า ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรเข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชย ปริมาณร้อยละ 0.15 มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีมากที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คือ 0.30 ค่าความสว่างของสี (L) มากที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คือ 69.22 ค่าความเป็นสีเขียว-แดง (a) น้อยที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คือ 5.01 มีค่าความเป็นสีน้ำเงิน-เหลือง (b) 11.65 มีร้อยละการเกาะติดร้อยละ 90.00 และมีค่าความแข็งน้อยที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คือ 369.55 กรัม

4. เปรียบเทียบอายุการเก็บรักษาของข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกไม่คลุก คลุกผงสมุนไพร และคลุกไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงสมุนไพรซึ่งได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสจากวัตถุประสงค์ที่ 3

เมื่อเก็บรักษาข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปรเข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชย ปริมาณร้อยละ 0.15 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 สัปดาห์ มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีสูงที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในสัปดาห์ที่ 6 คือ 0.35 มีแนวโน้มการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะคู่ และพันธะสามระหว่างการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงที่สุดทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในสัปดาห์ที่ 6 คือ 1.60 และ 0.45 ตามลำดับ แสดงว่าข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกคลุกไมโครแคปซูลจากสตาร์ชดัดแปร เข้มข้นร้อยละ 10 ที่กักเก็บผงอบเชย ปริมาณร้อยละ 0.15 สามารถเก็บรักษาได้นานกว่าข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกสูตรอื่นเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 6 สัปดาห์

ข้อเสนอแนะ

1. ถ้าใช้สมุนไพรที่มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทางการค้าที่กฎหมายกำหนดตรงตามมาตรฐานสากลอาจได้ผลของประสิทธิภาพการเก็บรักษาของข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอกได้ดีขึ้นจากงานวิจัยนี้

2. ถ้าใช้กล้องจุลทรรศน์คอนโฟคอลแบบกราดลำแสงเลเซอร์ (Confocal laser scanning microscope หรือ CLSM) เพื่อศึกษาตำแหน่งของผงอบเชย หรือสารสำคัญที่อยู่ภายในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ จะสามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกักเก็บสารสำคัญของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิดได้ดีขึ้นเนื่องจากตำแหน่งของสารสำคัญ หรือผงอบเชยที่อยู่ภายในไมโครแคปซูลมีผลต่อความคงตัวของไมโครแคปซูล และสมบัติการปลดปล่อยสารแกน หรือสารสำคัญที่อยู่ภายในไมโครแคปซูล

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

ชยันต์ พิเชียรสุนทร และวิเชียร จีรวงส์. 2545. **คู่มือเภสัชกรรมแผนไทย เล่ม 2 เครื่องยาพฤกษวัตถุ**. ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์อมรินทร์, กรุงเทพฯ.

นิจศิริ เรืองรังษี และพยอม ตันติวัฒน์. 2534. **พืชสมุนไพร**. ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

พิสุทธิพร ฉ่ำใจ. 2550. **สมุนไพร สรรพคุณและประโยชน์เพื่อการนำไปใช้**. ครั้งที่ 2. ต้นธรรม สำนักพิมพ์, กรุงเทพฯ.

เพลินใจ ตังคณะกุล. 2546. การทำข้าวเกรียบเป็นผลิตภัณฑ์คุณภาพ. **อาหาร** 33(2): 90-93.

มลศิริ วีโรทัย. 2545. เทคโนโลยีการผลิตอาหารเพื่อสุขภาพ. สถาบันพัฒนาคุณภาพวิชาการ, กรุงเทพฯ.

ราชบัณฑิตยสถาน. 2546. **พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2542**. ครั้งที่ 1. บริษัทนานมีบุ๊คส์พับลิเคชั่นส์ จำกัด, กรุงเทพฯ.

วิภา สุโรจนะเมธากุล. 2547. รูปแบบของสตาร์ชกับการใช้เป็นสารไมโครแคปซูลเพื่อกักเก็บสารให้กลิ่นรส. **วารสารอาหาร** 34(4): 277-281.

ศูนย์การศึกษาต่อเนื่อง คณะแพทย์ศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี. 2548. **สะระแหน่**. สมุนไพรใกล้ตัว. แหล่งที่มา: http://www.ramaclinic.com/herb/herb0021.asp, 4 สิงหาคม 2551.

สุพจน์ ศิลานเภสัช. 2543. **สมุนไพรเครื่องเทศและพืชปรุงแต่งกลิ่นรส**. ครั้งที่ 1. บริษัทสำนักพิมพ์ประพันธ์สาส์น จำกัด, กรุงเทพฯ.

สมภพ ประธานธุรารักษ์. 2539. **อนุกรมวิธานพืชสมุนไพร**. ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2530. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมข้าวเกรียบ (มอก. 701-2530)**. กฎระเบียบและมาตรฐานอาหารไทย. แหล่งที่มา: http://www.nfi.or.th/bi/foodlaw/Page_foodlaw3.asp?method=&id=&Page=16, 27 มกราคม 2552.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2541. **ขนมกรอบจากธัญชาติ**. มอก. 1534.

สายัณห์ สวัสดิ์ศรี, รุ่งระวี เต็มศิริฤกษ์กุล, อรอนงค์ นัยวิกุล และดวงจันทร์ เฮงสวัสดิ์. 2549. **โครงการบูรณาการวิจัยสมุนไพรไทย เล่มที่ 2/2**. 222.

AACC. 2000. **Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists**. 10th ed. American Association of Cereal Chemists, Minnesota.

Aly, A.M., L. Al-Alousi and H.A. Salem. 2005. Licorice: A possible anti-inflamatory and anti-ulcer drug. **AAPS Pharmacol. Sci. Tech.** 6(1): 74-82.

Ahrné, L., A. Chamayou, K. Dewenttinck, F. Depypere, E. Dumolin, J. Fitzpatrick and G. Meesters. 2008a. Processing of food powders, pp. 341-368. *In* J.M. Aquilera and P.J. Lillford, eds. **Food Materials Science: Principles and Practice**. Springer Science and Business Media, LCC, New York.

_____, _____, _____, _____, _____, _____, and _____. 2008b. Processing of food powders, pp. 341-368. *In* J.M. Aguilera and P.J. Lillford. 2008. **Food Materials Science: Principles and Practice.** Springer Science and Business Media, LCC, New York. *Cited* F. Depyprene, K. Dewettinck, F. Ronsse and J.G. Pieters. 2003. Food powder microencapsulation: principles, problems and opportunities. **Appl. Biotechnol. Food Sci. Policy** 1(2): 75-94.

A.O.A.C. 2000. **Official Method of Analysis**. 17th ed. The Association of Official Analytical Chemists, Virginia.

Augustin, M.A. and L. Sanguansri. 2008. Encapsulation of bioactives, pp. 577-601. *In* J.M. Aquilera and P.J. Lillford, eds. **Food Materials Science: Principles and Practice**. Springer Science and Business Media, LCC, New York.

BAM. 2001. **Bacteriological Analytical Manual**. U.S. Food and Drug Administration. Center for Food Safety and Applied Nutrition, Maryland.

Baratta, M.T., H.J.D. Dorman, S.G. Deans, A.C. Figueiredo, J.G. Barroso and G. Ruberto. 1998. Antimicrobial and antioxidant properties of some commercial essential oils. **Flavour Fragr. J.** 13: 235-244.

Barbosa-Cánovas, G.V., E. Ortega-Rivas, P. Juliano and H. Yan. 2005. **Food Powders: Physical Properties, Processing, and Functionality.** 1st ed. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.

Belinky, P.A., M. Aviram, B. Fuhrman, M. Rosenblat and J. Vaya. 1998a. The antioxidative effects of the isoflavan glabridin on endogenous constituents of LDL during its oxidation. **Atherosclerosis** 137: 49-61.

_____, _____, S. Mahmood and J. Vaya. 1998b. Structural aspects of the inhibitory effect of glabridin on LDL oxidation. **Free Radical Biol. Med.** 24(9): 1419-1429.

BeMiller, J.N. 2007. **Carbohydrate Chemistry for Food Scientists**. 2nd ed. AACC International, Inc., Minnesota.

Bhandari, B. 2004. Spray-drying: an encapsulation technique for food flavors, pp. 513-533. *In* Mujumdar A.S., ed. **Dehydration of Products of Biological Origin**. Science Publishers, Inc., New Hampshire.

Brazel, C.S. 1999. Microencapsulation: Offering solutions for the food industry. **Cereal Foods World** 44(6): 338—393.

Buhler, D.R. and C. Miranda. 2000. **Antioxidant Activities of Flavonoids**. The Linus Pauling Institute. Available Source: http://lpi.oregonstate.edu/f-w00/flavonoid.html, October 10, 2008.

Cai, Y.Z., M. Sun, J. Xing, Q. Luo and H. Corhe. 2006. Structure-radical scavenging activity relationships of phenolic compounds from traditional Chinese medicinal plants. **Life Sci.** 78: 2872-2888.

Capecka, E., A. Mareczek and M. Leja. 2005. Antioxidant activity of fresh and dry herbs of some *Lamiaceae* species. **Food Chem.** 93: 223-226.

Champagne, C.P. and P. Fustier. 2007. Microencapsulation for the improved delivery of bioactive compounds into foods. **Curr. Opin. Biotechnol.** 18(2): 184-190.

Chen, J.C., T.Y. Ho, Y.S. Chang, S.L. Wu, C.C. Li and C.Y. Hsiang. 2009. Identification of *Escherichia coli* enterotoxin inhibitors from traditional medicinal herbs by *in silico*, *in vitro*, and *in vivo* analyses. **J. Ethnopharmacol.** 121(3): 372-378.

Chin, Y.W., H.A. Jung, Y. Liu, B.N. Su, J.A. Castoro, W.J. Keller, M.A. Pereira and A.D. Kinghorn. 2007. Anti-oxidant constituents of the roots and stolons of licorice (*Glycyrrhiza Glabra*). **J. Agric. Food Chem.** 55(12): 4691-4697.

Chipault, J.R., G.R. Mizuno, J.W. Hawkins and W.O. Lundberg. 1952. The antioxidant properties of natural spices. **J. Food Sci.** 17: 46-55.

Cosio, M.S., S. Buratti, S. Mannino and S. Benedetti. 2006. Use of an electrochemical method to evaluate the antioxidant activity of herb extracts from the Labiatae family. **Food Chem.** 97(4): 725-731.

Craig, W.J. 1997. Phytochemicals: Guardians of our health. **J. Am. Diet. Assoc.** 97(10): 199-204.

Dang, M.N., M. Takácsová, D.V. Nguyen and K. Kristiánová. 2001. Antioxidant activity of essential oils from various spices. **Nahrung/Food** 45(1): 64-66.

Desai, K.G.H. and H.J. Park. 2005. Recent developments in microencapsulation of food ingredients. **Drying Technol.** 23: 1361-1394.

Dziezak, J.D. 1988. Microencapsulation and encapsulated ingredients. **Food Technol.** 42: 136-151.

Ersus, S. and U. Yurdagel. 2007. Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucuscarota* L.) by spray drier. **J. Food Eng.** 80: 805-812.

Eskin, N.A.M. and R. Przybylski. 2001. Antioxidants and shelf life of foods, pp. 175-209. *In* N.A.M. Eskin and D.S. Robinson, eds. **Food Shelf Life Stability: Chemical, Biochemical, and Microbiological Changes**. CRC Press LLC, Washington, D.C.

Esse, R. and A. Saari. 2004. Shelf-life and moisture management, p. 24. *In* R. Steele, ed. **Understanding and Measuring the Shelf-Life of Food**. Woodhead Publishing Limited, Cambridge.

Farrell, K.T. 1990. **Spices, Condiments, and Seasonings**. 2nd ed. Van Nostrand Reinhold, New York.

Fiore, C., M. Eisenhut, E. Ragazzi, G. Zanchin and D. Armanini. 2005. A history of the therapeutic use of licorice in Europe. **J. Ethnopharmacol.** 99: 317-324.

Forssell, P. 2004. Starch-based microencapsulation, pp. 461-473. *In* A.C. Eliasson, ed. **Starch in Food: Structure, Function and Applications**. Woodhead Publishing Limited, Cambridge.

Gharsallaoui, A., G. Roudaut, O. Chambin, A. Voilley and R. Saurel. 2007. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. **Food Res. Int.** 40: 1107-1121.

Gibbs, B.F., S. Kermasha, I. Alli and C.N. Mulligan. 1999. Encapsulation in the food industry: a review. **Int. J. Food Sci. Nutr.** 50: 213-224.

Gordon, M.H. 2001. Measuring antioxidant activity, pp. 71—84. *In* J. Pokorny, N. Yanishlieva and M. Gordon, eds. **Antioxidants in Food: Practical Applications**. Woodhead Publishing Ltd, Cambridge.

Hayashi, H., D.R. Heldman and T.I. Hedrick. 1968. Influence of spray-drying conditions on size and size distribution of nonfat dry milk particles. **J. Dairy Sci.** 52(1): 31-37.

Hirasaka, K. and M. Takemasa. 1998. **Spice Science and Technology**. Marcel Dekker, New York.

Hsieh, C.W., W.C. Lu., W.C. Hsieh, Y.P. Huang, C.H. Lai and W.C. Ko. 2009. Improvement of the stability of nattokinase using γ-polyglutamic acid as a coating material for microencapsulation. **Food Sci. Technol.** 42(1): 144-149.

Jadhav, S.J., S.S. Nimbalkar, A.D. Kulkarni and D.L. Madhavi. 1995. Lipid oxidation in biological and food systems, pp. 5-63. *In* D.L. Madhavi, S.S. Deshpande and D.K. Salunkhe, eds. **Food Antioxidants: Technological, Toxicological, and Health Perspectives.** Marcel Dekker, Inc., New York.

Jayaprakasha, G.K., P.S. Negi, B.S. Jena and L.J.M. Rao. 2007. Antioxidant and antimutagenic activities of *Cinnamomum zeylanicum* fruit extracts. **J. Food Compos. Anal.** 20(3-4): 330-336.

Kaushik, V. and Y.H. Roos. 2007. Limonene encapsulation in freeze-drying of gum arabic-sucrose-gelatin system. **Lebensm.-Wiss. u.-Technol.** 40(8): 1381-1391.

Keogh, K., C. Murray, J. Kelly and B. O'Kennedy. 2004. Effect of the particle size of spray-dried milk powder on some properties of chocolate. **Lait** 84: 375-384.

Kivilompolo, M. and T. Hyötyläinen. 2007. Comprehensive two-dimension liquid chromatography in analysis of Lamiaceae herbs: Characterisation and quantification of antioxidant phenolic acids. **J. Chromatogr. A** 1145(1-2): 155-164.

Krishnan, S., A.C. Kshirsagar and R.S. Singhal. 2005. The use of gum arabic and modified-starch in the microencapsulation of a food flavoring agent. **Carbohydr. Pol.** 62: 309-315.

Labuza, T.P. 1982. **Shelf-Life Dating of Foods**. 1st ed. Food and Nutritional Press, Inc., Connecticut.

Labuza, T.P., S.R. Tannenbaum and M. Karel. 1970. Water content and stability of low moisture and intermediate moisture foods. **Food Technol.** 24: 543-550.

Li, H.C. and G.A. Reineccius. 1995. Protection of artificial blueberry flavor in microwave frozen pancakes by spray drying and secondary fat coating processes, pp. 180-186. *In* S.J. Risch and G.A. Reineccius, eds. **Encapsulation and Controlled Release of Food Ingredients.** American Chemical Society, Washington, DC.

Loksuwan, J. 2007. Characteristics of microencapsulated β-carotene formed by spray drying with modified tapioca starch, native tapioca starch and maltodextrin. **Food Hydrocol.** 21: 928-935.

Madene, A., M. Jacquot, J. Scher and S. Desobry. 2006. Flavour encapsulation and controlled release: a review. **Int. J. Food Sci. Technol.** 41: 1-21.

Mahungu, S.M., W.E. Artz and E.G. Perkins. 1999. Oxidation products and metabolic processes, pp. 25-45. *In* D. Boskou and I. Elmadfa, comps. **Frying of Food: Oxidation, Nutrient and Non-Nutrient Antioxidants, Biologically Active Compounds and High Temperatures**. Technomic Publishing Company, Inc., Pennsylvania.

Man, D. 2002. **Food Industry Briefing Series: Shelf Life**. 1st ed. TJ International Ltd., Cornwall.

Mancini-Filho, J., A. Van-Koiij, D.A. Mancini, F.F. Cozzolino and R.P. Torres. 1998. Antioxidant activity of cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*, Breyne) extracts. **Boll. Chem. Farm.** 137(11): 443-447.

Matkowski, A. and M. Piotrowska. 2006. Antioxidant and free radical scavenging activities of some medicinal plants from Lamiaceae. **Fitoterapia** 77: 346-353.

Nassiri, A.M. and H. Hosseinzadeh. 2008. Review of pharmacological effects of glycyrrhiza sp. and its bioactive compounds. **Phytother. Res.** 22(6): 709-724.

Nisha, P., R.S. Singhal and A.B. Pandit. 2009. The degradation kinetics of flavor in black pepper (*Piper nigrum* L.). **J. Food Eng.** 92(1): 44-49.

Nomura, T., T. Fukai and T. Akiyama. 2002. Chemistry of phenolic compounds of licorice (*Glycyrrhiza* species) and their estrogenic and cytotoxic activities. **Pure Appl. Chem.** 74(7): 1199-1206.

Okuda, T. 1997. Phenolic antioxidants, pp. 31—48. *In* M. Hiramatsu, T. Yoshikawa and M. Inoue, eds. **Food and Free Radicals**. Plenum Press, New York.

Park, E.J. and J.M. Pessuto. 2002. Botanicals in cancer chemoprevention. **Cancer Metastasis Rev.** 21: 231-255.

Partanen, R., P. Hakala, O. Sjövall, H. Kallio and P. Forssell. 2005. Effect of relative humidity on the oxidative stability of microencapsulated sea buckthorn seed oil. **J. Food Sci.** 70(1): 37-43.

Qi, Z.H. and A. Xu. 1999. Starch-based ingredients for flavor encapsulation. **Cereal Foods World** 44(7): 460—465.

Raghavan, S. 2007. **Handbook of Spices, Seasonings, and Flavorings**. 2nd ed. CRC Press, Boca Raton.

Risch, S.J. 1995. Encapsulation: Overview of uses and techniques, pp. 2-7. *In* S.J. Risch and G.A. Reineccius, eds. **ACS Symposium Series 590; Encapsulation and Controlled Release of Food Ingredients**. American Chemical Society, Washington, D.C.

Reineccius, G.A. 2004. The spray drying of food flavors. **Drying Technol.** 22(6): 1289-1324.

Roos, Y.H. 2001. Water activity and plasticization, pp. 3-36. *In* N.A.M. Eskin and D.S. Robinson, eds. **Food Shelf Life Stability: Chemical, Biochemical, and Microbiological Changes**. CRC Press LLC, Washington, D.C.

Runnie, I., M.N. Salleh, S. Mohamed, R.J. Head and M.Y. Abeywardena. 2004. Vasorelaxation induced by common edible tropical plant extracts in isolated rat aorta and mesenteric vascular bed. **J. Ethnopharmacol.** 92(2-3): 311-316.

Schoene, N.W., M.A. Kelly, M.A. Polansky and R.A. Anderson. 2005. Water-soluble polymeric polyphenols from cinnamon inhibit proliferation and alter cell cycle distribution patterns of hematologic tumor cell lines. **Cancer Lett.** 230: 134-140.

Schoepke, T. 2008b. **Cinnamon**. Wikipedia, the free encyclopedia. Available Source: http://en.wikipedia.org/wiki/cinnamon, July 29, 2008.

Schoepke, T. 2008a. **Liquorice**. Wikipedia, the free encyclopedia. Available Source: http://en.wikipedia.org/wiki/liquorice, July 23, 2008.

Shahidi, F. and X.Q. Han. 1993. Encapsulation of food ingredients. **Crit. Rev. Food Sci. Nutr.** 33(6): 501-547.

Shan, B., Y.C. Cai, M. Sun and H. Corke. 2005. Antioxidant capacity of 26 spice extracts and characterization of their phenolic constituents. **J. Agric. Food Chem.** 53(20): 7749-7759.

Shimada, Y, Y.H. Roos and M. Karel. 1991. Oxidation of methyl linoleate encapsulated in amorphous lactose-based food model. **J. Agric. Food Chem.** 39(4): 637-641.

Shobana, S. and K.A. Naidu. 2000. Antioxidant activity of selected Indian spices. **Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids** 62(2): 107-110.

Silversmith, E. 2008. **Liquorice**. Wikipedia, the free encyclopedia. Available Source: http://en.wikipedia.org/wiki/liquorice, July 23, 2008.

Singh, G., S. Maurya, M.P. deLampasona and C.A.N. Catalan. 2007. A comparison of chemical, antioxidant and antimicrobial studies of cinnamon leaf and bark volatile oils, oleoresins and their constituents. **Food Chem. Toxicol.** 45(9): 1650-1661.

Singh, R.P. and B.A. Anderson. 2004. The major types of food spoilage: an overview, p. 3. *In* R. Steele, ed. **Understanding and Measuring the Shelf-Life of Food**. Woodhead Publishing Limited, Cambridge.

Soottitantawat, A., F. Bigeard, H. Yoshii, T. Furuta, M. Ohkawara and P. Linko. 2005. Influence of emulsion and powder size on the stability of encapsulated D-limonene by spray drying. **Innov. Food Sci. Emerg.** 6: 107-114.

Suknark, K., R.D. Phillips and Y.W. Huang. 1999. Tapioca-fish and tapioca-peanut snacks by twin-screw extrusion and deep-fat frying. **J. Food Sci.** 64(2): 303-308.

Taggart, P. 2004. Starch as an ingredient: manufacture and applications, pp. 363-392. *In* A.C. Eliasson, ed. **Starch in Food: Structure, Function and Applications**. Woodhead Publishing Limited, Cambridge.

Tainter, D.R. and A.T. Grenis. 2001. **Spices and Seasonings: A Food Technology Handbook**. 2nd ed. John Wiley and Sons, Inc., Toronto.

Trubiano, P.C. 1995. The role of specialty food starches in flavor encapsulation, pp. 244-253. *In* C.T. Ho, C.T. Tan and C.H. Tong, eds. **ACS Symposium Series 610; Flavor Technology: Physical Chemistry, Modification, and Process**. American Chemical Society, Washington, D.C.

Uhl, S.R. 2000. **Handbook of Spices, Seasonings and Flavorings**. 1st ed. Technomic Publishing Company, Inc., Pensylvania.

Vaya, J., P.A. Belinky and M. Aviram. 1997. Antioxidant constituents from licorice roots: isolation, structure elucidation and antioxidative capacity toward LDL oxidation. **Free Radical Biol. Med.** 23(2): 302-313.

Vega, C. and Y.H. Roos. 2006. Spray-dried dairy and dairy-like emulsions compositional considerations. **J. Dairy Sci.** 89(2): 383-401.

Vehring, R. 2008. Pharmaceutical particle engineering *via* spray drying. **Pharm. Res.** 25(5): 999-1022.

Versic, R.J. 1988. Flavor encapsulation: an overview, pp. 1-6. *In* S.J. Risch and G.A. Reineccius, eds. **ACS Symposium Series 370; Flavor Encapsulation**. American Chemical Society, Washington, D.C.

Viatour, L. 2008. **Cinnamon**. Wikipedia, the free encyclopedia. Available Source: http://en.wikipedia.org/wiki/cinnamon, July 29, 2008.

Wright, J. 1999. Essential oils, pp. 1-38. *In* P.R. Ashurst, ed. **Food Flavorings**. Aspen Publishers, Inc., Maryland.

Xu, Y. and M.A. Hanna. 2006. Electrospray encapsulation of water-soluble protein with polylactide: Effects of formulations on morphology, encapsulation efficiency and release profile of particles. **Int. J. Pharm.** 320: 30-36.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของสมุนไพร และสมบัติของคาร์โบไฮเดรต 3 ชนิด

การตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของสมุนไพร และสมบัติของคาร์โบไฮเดรต 3 ชนิด

ก1 การตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของสมุนไพร

1.1 ความชื้น ตามวิธีการของ AOAC (2000)

ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 2.000 กรัม ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนในภาชนะอะลูมิเนียม มีฝาปิดที่ผ่านการอบแห้งที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในเดสิกเคเตอร์ นำไปอบในตู้อบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดสิกเคเตอร์ ประมาณ 45 ถึง 60 นาที ชั่งน้ำหนัก คำนวณหาปริมาณความชื้นจาก

$$\text{ความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักความชื้นที่สูญเสีย (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}} \times 100$$

1.2 ปริมาณไขมัน ตามวิธีการของ AOAC (2000)

วิเคราะห์ปริมาณไขมันโดยใช้ชุดวิเคราะห์บริษัท Tecator รุ่น 1043 Soxtec system HT6

1.2.1 สารเคมี

ปิโตรเลียมอีเทอร์

1.2.2 วิธีวิเคราะห์

เปิดเครื่องทำน้ำเย็น ควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส เปิดสวิทซ์ให้น้ำไหลเข้าเครื่องสกัด ตั้งอุณหภูมิที่เครื่อง thermostatic cut-out เท่ากับ 100 องศาเซลเซียส โดยยังไม่ต้องเปิดสวิทซ์หลัก ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้ง และบดให้เป็นเนื้อเดียวกัน ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ประมาณ 5 กรัม (W_1) ห่อด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 และใส่ในทิมเบิล (thimble) นำทิมเบิลใส่ในอุปกรณ์สำหรับจับทิมเบิล (thimble holder) แล้วนำไปใส่เครื่องสกัด โดย

เลื่อนปุ่มบังคับทิมเบิลไปที่ตำแหน่ง boiling นำทิมเบิลใส่ในช่องสกัด แล้วนำอุปกรณ์สำหรับจับทิมเบิลออก จากนั้นเลื่อนปุ่มบังคับทิมเบิลไปที่ตำแหน่ง rinsing ชั่งน้ำหนักถ้วยสกัดที่ผ่านการอบแห้ง (W_2) (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) เติมปิโตรเลียมอีเทอร์ลงในถ้วยสกัดประมาณ 50 มิลลิลิตร นำถ้วยสกัดใส่ในอุปกรณ์สำหรับจับถ้วยสกัด (extraction cup holder) แล้วนำไปใส่ในช่องสกัด เลื่อนคันโยกทางด้านซ้ายมือของเครื่องสกัดลง เริ่มสกัดโดยเลื่อนปุ่มบังคับทิมเบิลลงมาอยู่ในตำแหน่ง boiling เปิดก๊อกตัวทำละลาย เปิดสวิทซ์หลักที่เครื่อง thermostatic cut-out ตั้งเวลาสกัด 30 นาที เมื่อครบเวลา เลื่อนปุ่มบังคับทิมเบิลไปที่ตำแหน่ง rinsing ทิ้งไว้นาน 30 นาที เมื่อครบเวลา ระเหยตัวทำละลายออกจากถ้วยสกัด โดยปิดก๊อกตัวทำละลาย เลื่อนปุ่มระเหย (evaporation) ลง เปิดทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที แล้วเลื่อนปุ่มสวิทซ์พัดลม และสวิทซ์หลักของเครื่อง จากนั้นเลื่อนคันโยกทางด้านซ้ายมือของเครื่องสกัดขึ้น นำถ้วยสกัดที่อยู่ในอุปกรณ์สำหรับจับถ้วยสกัดออกจากช่องสกัด ปิดสวิทซ์เครื่องทำน้ำเย็น นำภาชนะไปใส่ตัวทำละลาย โดยวางไว้ในช่องสกัด เปิดก๊อกให้ตัวทำละลายไหลออกมาจากเครื่อง สามารถนำตัวทำละลายกลับมาใช้ได้ใหม่ และนำถ้วยสกัดไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และทิ้งให้เย็นในเดสิกเคเตอร์เป็นเวลา 30 นาที นำถ้วยสกัดออกมาชั่งน้ำหนัก (W_3) (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) คำนวณหาปริมาณไขมันได้จากสมการ

$$\text{ไขมัน (ร้อยละ)} = \frac{(W_3 - W_2)}{W_1} \times 100$$

1.3 ปริมาณเส้นใย และเถ้า ตามวิธีการของ AOAC (2000)

1.3.1 สารเคมี

1.3.1.1 กรดซัลฟิวริก 0.255 นอร์แมล

1.3.1.2 ออกทาแนล (n-octanal)

1.3.1.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.313 นอร์แมล

1.3.1.4 เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95

1.3.2 วิธีวิเคราะห์

นำตัวอย่างใส่ในถ้วยครูซิเบิล (crucible) น้ำหนักประมาณ 1 กรัม (W) วางลงในตำแหน่งสำหรับบรรจุถ้วยครูซิเบิลของเครื่องสกัดเส้นใย (Fibertec Hot Extraction Unit) กดคันโยกด้านข้างของเครื่องลงเพื่อยึดถ้วยครูซิเบิลกับเครื่อง แล้วเลื่อนปุ่มบังคับที่แผงด้านข้างของเครื่องมายังตำแหน่งปิด เติมกรดซัลฟิวริก 0.255 นอร์แมล ลงในคอลัมภ์ เทผ่านกรวยจนถึงขีดบอกระดับ (ระดับต่ำสุด 100 มิลลิลิตร ระดับกลาง 150 มิลลิลิตร และระดับสูง 200 มิลลิลิตร) สกัดนาน 30 นาที จากนั้นกดสวิทซ์เครื่องทำความร้อน (heater) ที่ด้านบนทางซ้ายมือของเครื่องปรับความร้อน (Heater-Control) ค่อย ๆ หมุนตามเข็มนาฬิกาจนเต็มสเกล หยดสารออกทาแนล 2 ถึง 3 หยด เพื่อป้องกันการเกิดฟอง เมื่อสารเริ่มเดือดให้ปรับระดับความร้อนที่เครื่องปรับความร้อน จากนั้นเลื่อนปุ่มบังคับที่แผงด้านหน้าของเครื่องสกัดเส้นใยไปที่ตำแหน่งปิด เพื่อดูดสารละลายออกจากเครื่อง เปิดก๊อกน้ำเพื่อไล่กรดซัลฟิวริกออกจากคอลัมภ์ แล้วเลื่อนปุ่มบังคับที่แผงด้านหน้าของเครื่องไปที่ตำแหน่งปิด เติมน้ำกลั่นเดือดลงในคอลัมภ์ เพื่อล้างกรดซัลฟิวริก เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.313 นอร์แมล สกัดนาน 30 นาที เลื่อนปุ่มบังคับที่แผงด้านหน้าของเครื่องไปที่ตำแหน่งปิด เพื่อดูดสารละลายออกจากเครื่อง เปิดก๊อกน้ำเพื่อไล่โซเดียมไฮดรอกไซด์ออกจากคอลัมภ์ แล้วเลื่อนปุ่มบังคับที่แผงด้านหน้าของเครื่องสกัดเส้นใยไปที่ตำแหน่งปิด แล้วเติมเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 เพื่อล้างโซเดียมไฮดรอกไซด์ และเลื่อนปุ่มบังคับที่แผงด้านหน้าของเครื่องมาที่ตำแหน่งพัก (rest) นำตัวอย่างที่ผ่านการสกัดด้วยกรด และเบสในถ้วยครูซิเบิลไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดสิกเคเตอร์นาน 30 นาที นำไปชั่งน้ำหนัก (W_1) เป็นน้ำหนักถ้วยครูซิเบิล และกาก จากนั้นนำตัวอย่างไปเผาที่อุณหภูมิ 600 $\pm$ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งให้เย็นในเดสิกเคเตอร์นาน 30 นาที ชั่งน้ำหนักครั้งที่หนึ่ง แล้วนำตัวอย่างไปเผาซ้ำ จนน้ำหนักตัวอย่างต่างกันไม่เกิน 1 มิลลิกรัม (W_2) น้ำหนักที่ได้คือ น้ำหนักถ้วยครูซิเบิล และเถ้า แล้วคำนวณหาปริมาณเส้นใยได้จากสมการ

$$\text{ปริมาณเส้นใย (ร้อยละ)} = \frac{(W_1 - W_2)}{W} \times 100$$

ก2 การตรวจสอบสมบัติของคาร์โบไฮเดรตทั้ง 3 ชนิด

2.1 ความชื้น ตามวิธีการของ AACC (2000) หมายเลข 44-15A

ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 2.000 กรัม ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนในภาชนะอะลูมิเนียมมีฝาปิดที่ผ่านการอบแห้งที่ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดสิกเคเตอร์ นำไปอบในตู้อบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดสิกเคเตอร์ประมาณ 45 ถึง 60 นาที ชั่งน้ำหนัก คำนวณหาปริมาณความชื้นจาก

$$\text{ความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักความชื้นที่สูญเสีย (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}} \times 100$$

2.2 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total Plate Count) วิเคราะห์ตาม BAM (2001)

ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 25 กรัม ผสมกับสารละลาย Butterfield's phosphate-buffered dilution water 225 มิลลิลิตร ได้สารละลายตัวอย่างอาหารเข้มข้น 10^{-1} แล้วเจือจางให้ได้ความเข้มข้น 10^{-2}, 10^{-3}, และ 10^{-4} ปิเปตสารละลายตัวอย่างจากแต่ละความเข้มข้นปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในจานเพาะเชื้อความเข้มข้นละ 2 จาน เทอาหารเลี้ยงเชื้อ Plate Count Agar (PCA) ที่หลอมเหลวแล้วอุณหภูมิประมาณ 45±1 องศาเซลเซียส ลงในจานเพาะเชื้อจานละ 12 ถึง 15 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ให้แข็ง กลับจานเพาะเชื้อ นำไปบ่มในตู้อบเพาะเชื้ออุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนีในจานเพาะเชื้อ ซึ่งมี 25 ถึง 250 โคโลนี หาค่าเฉลี่ยแล้วคำนวณเป็นซีเอฟยูต่อกรัม (colony forming unit/g, CFU/g)

2.3 ยีสต์ และรา วิเคราะห์ตาม BAM (2001)

ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 25 กรัม เจือจางตัวอย่างด้วยสารละลายเพปโทนเข้มข้นร้อยละ 0.1 ให้ได้ความเข้มข้น 10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5}, และ 10^{-6} ปิเปตสารละลายตัวอย่างจากแต่ละความเข้มข้นปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในจานเพาะเชื้อความเข้มข้นละ 3 จาน เทอาหารเลี้ยงเชื้อ Dichloran 18% glycerol agar ลงในจานเพาะเชื้อจานละ 20 ถึง 25 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ให้แข็ง นำไปบ่มในตู้อบเพาะเชื้ออุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน นับจำนวนโคโลนีในจานเพาะ

เชื้อ ซึ่งมี 10 ถึง 150 โคโลนี ในกรณีที่ไม่พบการเจริญของยีสต์ และราในช่วงเวลาการบ่ม 5 วัน ให้บ่มในตู้อบเพาะเชื้อต่อเป็นเวลา 48 ชั่วโมง หาค่าเฉลี่ยแล้วคำนวณเป็นซีเอฟยูต่อกรัม (colony forming unit/g, CFU/g)

2.4 โคลิฟอร์ม วิเคราะห์ตาม BAM (2001)

ตัวอย่าง 25 กรัม ผสมกับ Phosphate-buffered saline (PBS) 225 มิลลิลิตร
เจือจางในระดับ 1:10, 1:100, 1:1,000

↓

ปิเปตสารละลายตัวอย่างแต่ละความเข้มข้นใส่ลงในหลอดทดลองที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ
Lauryl tryptose broth (LST) 3 หลอด หลอดละ 1 มิลลิลิตร

↓ บ่ม 35 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง

ผลบวก: หลอดที่มีก๊าซเกิดขึ้น

↓

ถ่ายลงในหลอดทดลองที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ Brilliant green lactose bile broth (BGLB)

↓ บ่ม 35 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง

ผลบวก: หลอดที่มีก๊าซเกิดขึ้น

↓

โคลิฟอร์ม (เอ็มพีเอ็น)

2.5 ซัลโมเนลลา วิเคราะห์ตาม BAM (2001)

ตัวอย่าง 25 กรัม ผสมกับ lactose broth 225 มิลลิลิตร

↓

วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 60 นาที

↓

ปรับค่าความเป็นกรดเบสด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล
หรือกรดไฮโดรคลอริก 1 นอร์มัล เป็น 6.8

↓ บ่ม 35 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง

สารละลายตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ผสมกับ selenite cystine broth (SC) 10 มิลลิลิตร
สารละลายตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ผสมกับ tetrathionate broth (TT) 10 มิลลิลิตร

↓ บ่ม 35 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง

เขี่ยเพาะเชื้อบน bismuth sulfite agar (BS), xylose lysine desoxycholate agar (XLD),
Hektoen enteric agar (HE)

↓ บ่ม 35 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง

ผลบวก: BS โคโลนีสีน้ำตาล, เทา, ดำ
ผลบวก: XLD โคโลนีสีชมพู
ผลบวก: HE โคโลนีสีเขียวอมน้ำเงินเข้ม

↓

Triple sugar iron agar (TSI) slant และ Lysine iron agar (LIA) slant

↓ บ่ม 35 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง

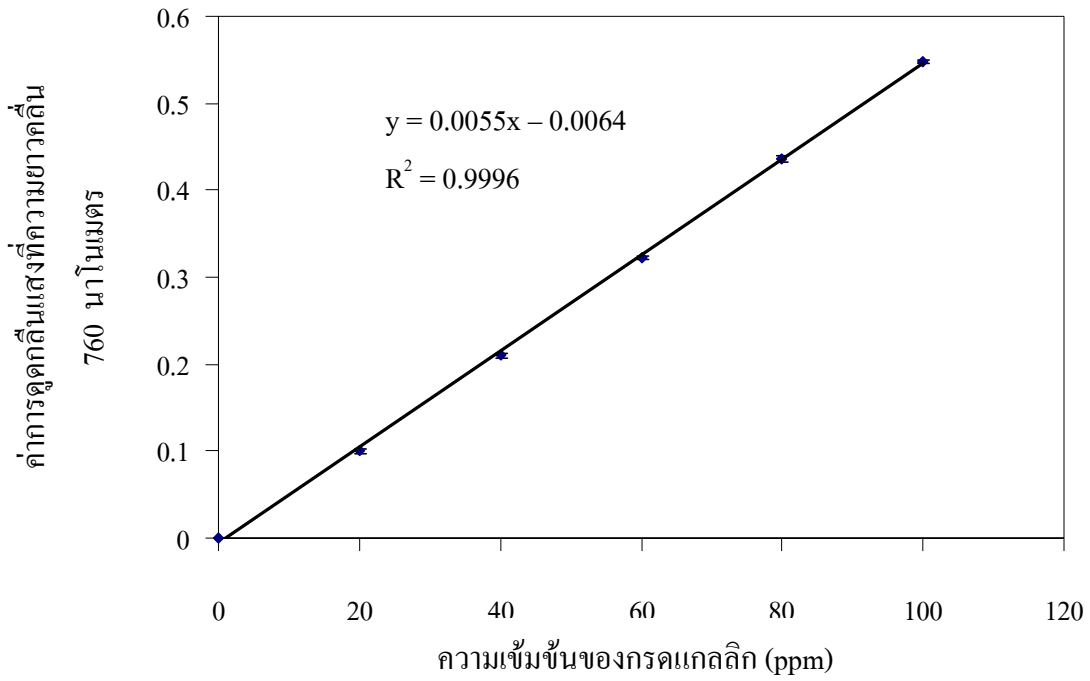
ซัลโมเนลลา
TSI slant สีแดง แสดงว่าเกิดกรด และสีเหลือง แสดงว่าเกิดเบส, มีหรือไม่มี H_2S
LIA slant สีเหลือง แสดงว่าเกิดกรด และสีม่วง แสดงว่าเกิดเบส, มีหรือไม่มี H_2S

ภาคผนวก ข

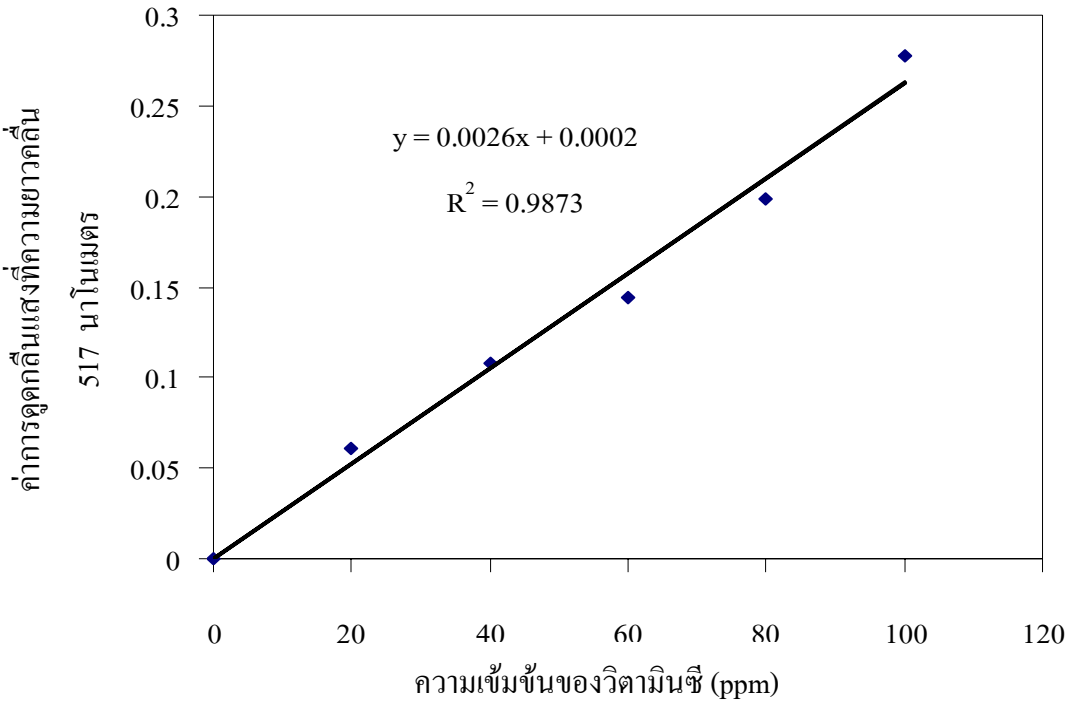
กราฟมาตรฐาน และการหาระดับความยาวคลื่นที่เหมาะสมในการตรวจสอบสารมาตรฐาน
ซินนามอลดีไฮด์

กราฟมาตรฐาน และการหาระดับความยาวคลื่นที่เหมาะสมในการตรวจสอบสารมาตรฐานซินนามอลดีไฮด์

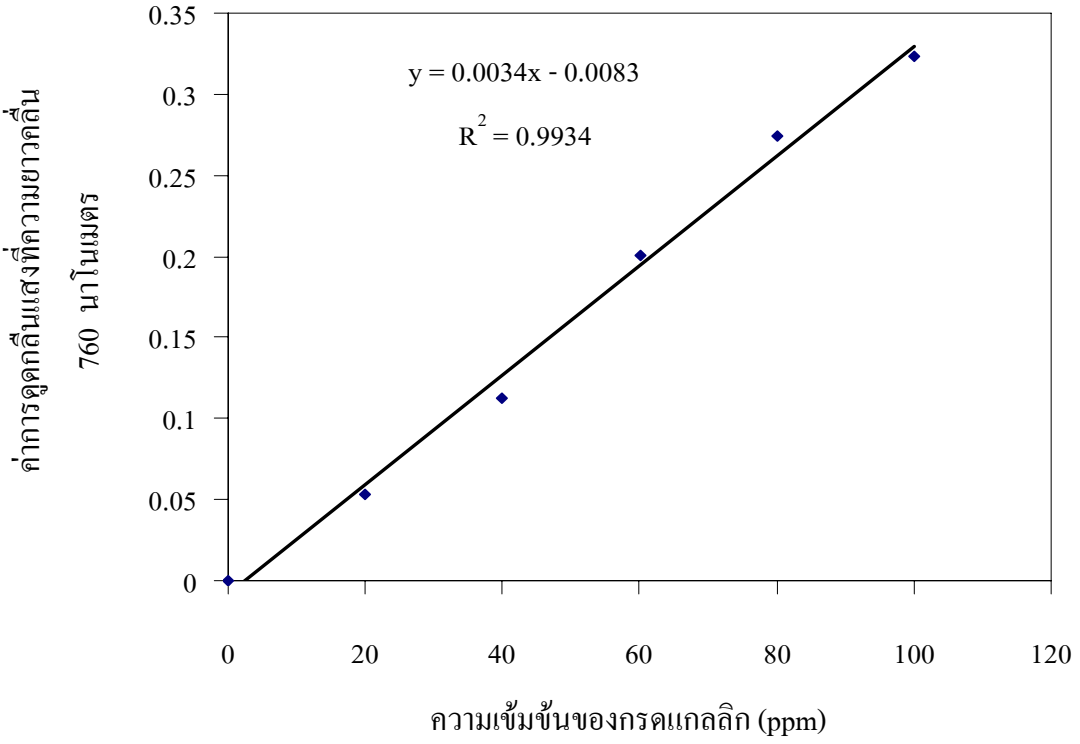
ข1 กราฟมาตรฐาน



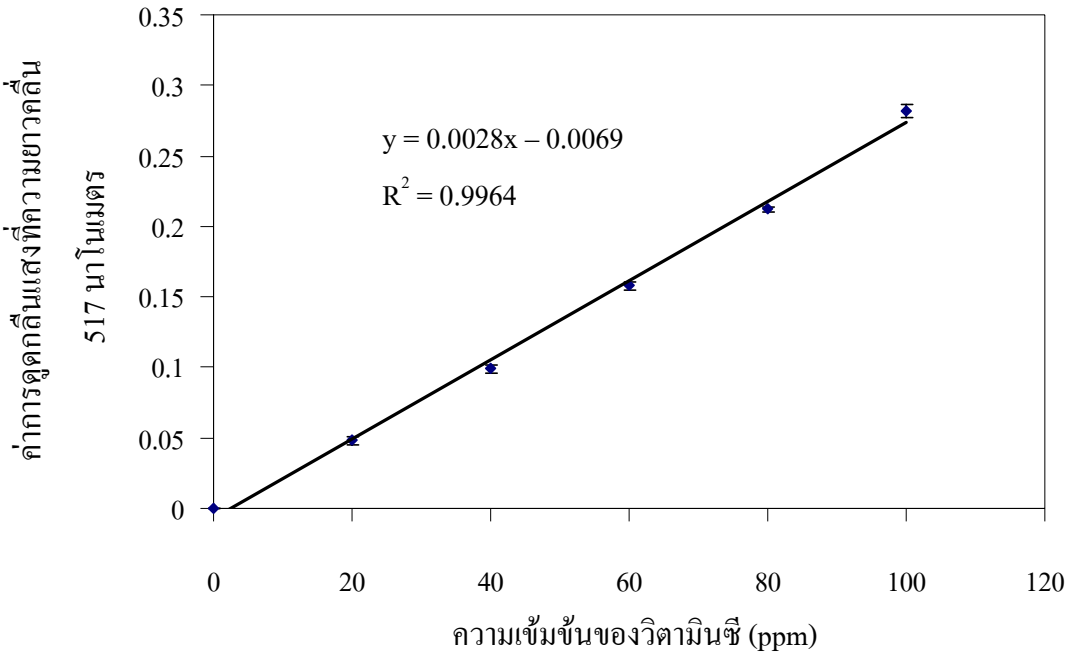
ภาพผนวกที่ ข1 กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกสำหรับการวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดจากผงสมุนไพร โดยใช้วิธี Total phenols assay



ภาพผนวกที่ ข2 กราฟมาตรฐานของวิตามินซีสำหรับการวัดปริมาณสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระของสารสกัดจากผงสมุนไพร โดยใช้วิธี DPPH assay



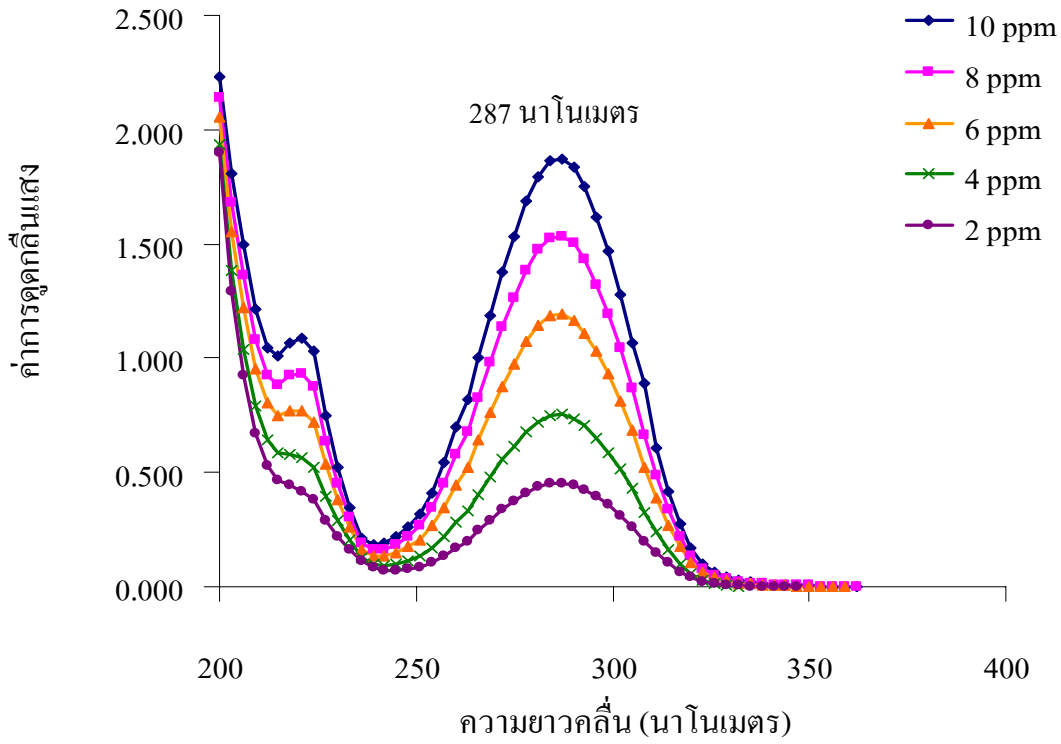
ภาพผนวกที่ ข3 กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกสำหรับการวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย โดยใช้วิธี Total phenols assay



ภาพผนวกที่ ข4 กราฟมาตรฐานของวิตามินซีสำหรับการวัดปริมาณสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย โดยใช้วิธี DPPH assay

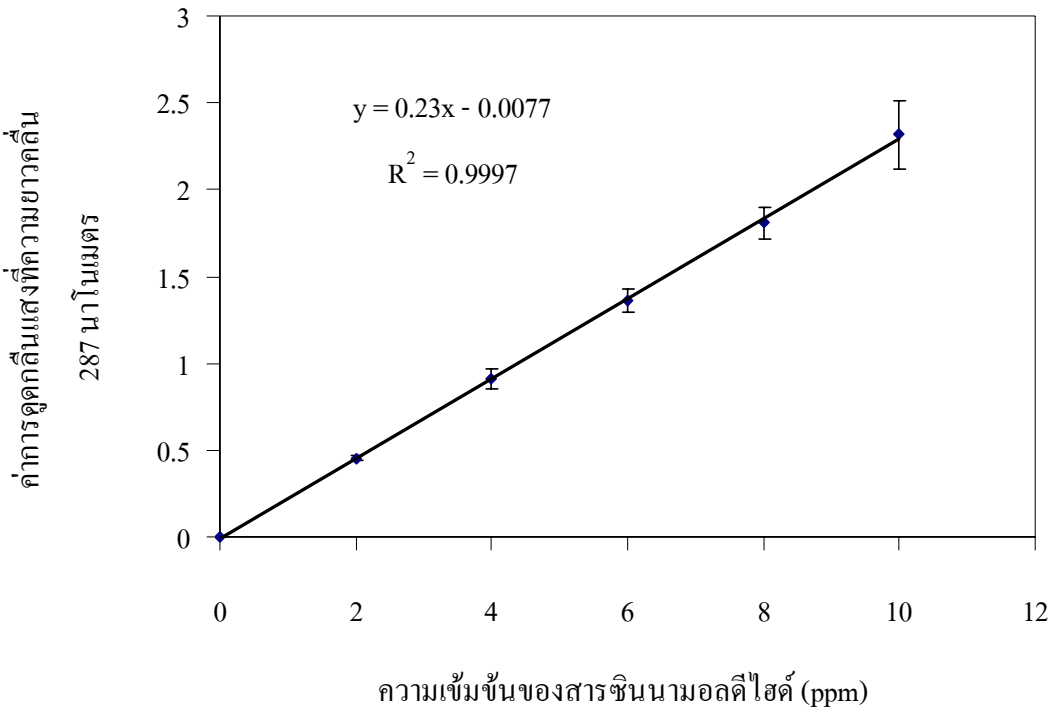
ข2 การหาระดับความยาวคลื่นที่เหมาะสมในการตรวจสอบสารมาตรฐานซินนามอลดีไฮด์

เตรียมสารมาตรฐานซินนามอลดีไฮด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ คือ 2, 4, 6, 8, และ 10 ppm เจือจางโดยใช้เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 60 นำมาสแกนหาระดับความยาวคลื่นที่เหมาะสมโดยใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ซึ่งสารซินนามอลดีไฮด์เป็นสารให้กลิ่นรสหลักในอบเชย จึงสามารถนำมาใช้เป็นเกณฑ์ตรวจสอบประสิทธิภาพในการกักเก็บกลิ่นรสของผงอบเชยในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตได้ แสดงในภาพผนวกที่ ข5



ภาพผนวกที่ ข5 กราฟแสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานซินนามอลดีไฮด์เข้มข้น 2, 4, 6, 8, และ 10 ppm ในช่วงความยาวคลื่น 200 ถึง 400 นาโนเมตร

เมื่อใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ตรวจสอบสารมาตรฐานซินนามอลดีไฮด์อย่างละเอียดในช่วงความยาวคลื่น 200 ถึง 400 นาโนเมตรปรากฏว่า ที่ความยาวคลื่น 287 นาโนเมตร สารมาตรฐานซินนามอลดีไฮด์เข้มข้น 2 ถึง 10 ppm มีค่าการดูดกลืนแสงเป็นสัดส่วนตามลำดับความเข้มข้น โดยที่ความยาวคลื่น 287 นาโนเมตร สามารถเห็นค่าการดูดกลืนแสงได้ชัดเจนมากกว่าที่ความยาวคลื่นอื่นในช่วง 200 ถึง 400 นาโนเมตร จึงเลือกใช้ความยาวคลื่น 287 นาโนเมตร เป็นระดับความยาวคลื่นที่เหมาะสมในการตรวจสอบปริมาณสารซินนามอลดีไฮด์ของผงอบเชยในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ได้โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารซินนามอลดีไฮด์ได้ดังภาพผนวกที่ ข6



ภาพผนวกที่ ข6 กราฟมาตรฐานของสารซินนามอลดีไฮด์

ภาคผนวก ค

การตรวจสอบคุณภาพไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย

การตรวจสอบคุณภาพไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บผงอบเชย

ค1 ตรวจสอบขนาดไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่กักเก็บสารสำคัญอบเชย

1.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์

1.1.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดลำแสง (JEOL, JSM-5600LV, England)
1.1.2 แท่ง aluminium stub
1.1.3 เทปกาวสองหน้าชนิดบาง
1.1.4 ลูกยาง
1.1.5 เครื่องเคลือบทอง

1.2 วิธีการวิเคราะห์

ก่อนนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ให้เก็บตัวอย่างไว้ในเดสิกเคเตอร์ ตักตัวอย่างปริมาณน้อยมาวางบนเทปกาวสองหน้าชนิดบางที่ติดอยู่บนแท่ง aluminium stub ใช้ลูกยางเป่าลมให้ตัวอย่างกระจายทั่วบนเทปกาวสองหน้า นำแท่ง aluminium stub ที่ติดตัวอย่างเข้าเครื่องเคลือบทอง เพื่อช่วยนำประจุอิเล็กตรอน หลังจากนั้นนำแท่ง aluminium stub ที่ผ่านการเคลือบทองใส่ในช่องสำหรับวางแท่ง aluminium stub ภายในตัวกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ตรวจดูขนาด และการกระจายของอนุภาคไมโครแคปซูลด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน โดยควบคุมสภาวะการทดลองให้ค่าอัตราเร่งของความต่างศักย์ไฟฟ้าเป็น 15 กิโลโวลท์ เลือกบริเวณที่ต้องการถ่ายภาพ ปรับโฟกัสของภาพให้ชัด บันทึกภาพลงแผ่นซีดี และวัดขนาดไมโครแคปซูลเทียบกับสเกลในภาพ

1.3 สถานที่วิเคราะห์

หน่วยงานกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ชั้น 1 ฝ่ายเครื่องมือวิทยาศาสตร์กลาง สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ง

การตรวจสอบคุณภาพข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอก

การตรวจสอบคุณภาพข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอก

ง1 เนื้อสัมผัส

1.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์

1.1.1 เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyser) รุ่น TA-XT Plus 2

1.1.2 หัววัด ¼ Ball Probe, P/0.25S พร้อมแท่นวางตัวอย่าง

1.2 วิธีการวิเคราะห์

วางตัวอย่างลงบนแท่นวางตัวอย่าง โดยให้หัววัดกดลงบนจุดกึ่งกลางของตัวอย่างด้วยแรงคงที่ 5 กรัม เป็นระยะทาง 5 มิลลิเมตร ของความหนาของตัวอย่าง ใช้สภาวะในการวิเคราะห์ดังนี้

Mode	:	Measure Force in Compression
Option	:	Return to Start
Pre – Test Speed	:	1.0 mm/sec
Test Speed	:	1.0 mm/sec
Post – Test Speed	:	10.0 mm/sec
Target Mode	:	Distance
Distance	:	5.0 mm
Trigger Type	:	Auto (5 g)
Data Acquisition Rate	:	200 pps

รายงานค่าความแข็ง (hardness) ของตัวอย่างจากค่าแรงต้านการกดสูงสุด มีหน่วยเป็น กรัม

ภาคผนวก จ

การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางผนวกที่ จ1 องค์ประกอบทางเคมีของสมุนไพร 3 ชนิด

Source	Degree of freedom (df)	Type III Sum of Squares (SS)	Mean Squares (MS)	F-value	p-value
ความชื้น					
Treatment	2	13,678.517	6,839.259	244,842.200	0.000*
Error	6	0.168	0.028		
Total	8	13,678.685			
ไขมัน					
Treatment	2	8.170	4.085	2,188.500	0.000*
Error	6	0.011	0.002		
Total	8	8.182			
เส้นใยหยาบ					
Treatment	2	558.902	279.451	208.478	0.000*
Error	6	8.043	1.340		
Total	8	566.945			
เถ้า					
Treatment	2	43.198	21.599	129,593.400	0.000*
Error	6	0.001	0.000		
Total	8	43.199			

หมายเหตุ * แตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางผนวกที่ จ2 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดจากสมุนไพร 3 ชนิด

Source	Degree of freedom (df)	Type III Sum of Squares (SS)	Mean Squares (MS)	F-value	p-value
Herb Treatment	2	6,349.793	3,174.896	88.846	0.000*
Error	6	214.410	35.735		
Total	8	6,564.203			

หมายเหตุ * แตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางผนวกที่ จ3 ปริมาณสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระของสารสกัดจากสมุนไพร 3 ชนิด

Source	Degree of freedom (df)	Type III Sum of Squares (SS)	Mean Squares (MS)	F-value	p-value
Herb Treatment	2	303.151	151.575	80.203	0.000*
Error	6	11.339	1.890		
Total	8	314.490			

หมายเหตุ * แตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางผนวกที่ จ4 ปริมาณความชื้นของคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด

Source	Degree of freedom (df)	Type III Sum of Squares (SS)	Mean Squares (MS)	F-value	p-value
Carrier Treatment	2	0.614	0.307	62.839	0.000*
Error	6	0.029	0.005		
Total	8	0.644			

หมายเหตุ * แตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางผนวกที่ จ5 ค่าความหนืดของสารละลายคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30

Source	Degree of freedom (df)	Type III Sum of Squares (SS)	Mean Squares (MS)	F-value	p-value
ร้อยละ 10					
Treatment	2	0.036	0.018	5.334	0.022*
Error	15	0.041	0.003		
Total	17	0.077			
ร้อยละ 20					
Treatment	2	4.466	2.233	2,850.494	0.000*
Error	15	0.009	0.001		
Total	17	4.475			
ร้อยละ 30					
Treatment	2	86.691	43.345	1,109.710	0.000*
Error	15	0.469	0.039		
Total	17	87.159			

หมายเหตุ * แตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางผนวกที่ จ6 ร้อยละผลได้ของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่กักเก็บผงอบเชย

Source	Degree of freedom (df)	Type III Sum of Squares (SS)	Mean Squares (MS)	F-value	p-value
ร้อยละ 10					
Treatment	2	8.203	4.102	0.115	0.893^{ns}
Error	6	213.242	35.540		
Total	8	221.445			

ตารางผนวกที่ จ6 (ต่อ)

Source	Degree of freedom (df)	Type III Sum of Squares (SS)	Mean Squares (MS)	F-value	p-value
ร้อยละ 20					
Treatment	2	168.295	84.148	5.323	0.047*
Error	6	94.847	15.808		
Total	8	263.142			
ร้อยละ 30					
Treatment	2	41.263	20.631	10.172	0.012*
Error	6	12.170	2.028		
Total	8	53.433			

หมายเหตุ * แตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางผนวกที่ จ7 ปริมาณความชื้นของไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิด เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30 ที่กักเก็บผงอบเชย

Source	Degree of freedom (df)	Type III Sum of Squares (SS)	Mean Squares (MS)	F-value	p-value
ร้อยละ 10					
Treatment	2	0.478	0.239	860.320	0.000*
Error	6	0.002	0.000		
Total	8	0.480			
ร้อยละ 20					
Treatment	2	1.188	0.594	17,823.000	0.000*
Error	6	0.000	3.33×10^{-5}		
Total	8	1.188			

ตารางผนวกที่ จ7 (ต่อ)

Source	Degree of freedom (df)	Type III Sum of Squares (SS)	Mean Squares (MS)	F-value	p-value
ร้อยละ 30					
Treatment	2	3.235	1.618	116.292	0.000*
Error	6	0.083	0.014		
Total	8	3.319			

หมายเหตุ * แตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางผนวกที่ จ8 ร้อยละผงอบเชยในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิดเข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30

Source	Degree of freedom (df)	Type III Sum of Squares (SS)	Mean Squares (MS)	F-value	p-value
ร้อยละ 10					
Treatment	2	0.001	0.000	77.202	0.000*
Error	6	2.92×10^{-5}	4.87×10^{-6}		
Total	8	0.001			
ร้อยละ 20					
Treatment	2	8.00×10^{-5}	4.00×10^{-5}	0.815	0.486^{ns}
Error	6	0.000	4.91×10^{-5}		
Total	8	0.000			

ตารางผนวกที่ จ8 (ต่อ)

Source	Degree of freedom (df)	Type III Sum of Squares (SS)	Mean Squares (MS)	F-value	p-value
ร้อยละ 30					
Treatment	2	0.000	$5.45x10^{-5}$	2.575	0.156^{ns}
Error	6	0.000	$2.12x10^{-5}$		
Total	8	0.000			

หมายเหตุ * แตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางผนวกที่ จ9 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากผงอบเชยในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30

Source	Degree of freedom (df)	Type III Sum of Squares (SS)	Mean Squares (MS)	F-value	p-value
ร้อยละ 10					
Treatment	2	46,553.152	23,276.576	49.448	0.000*
Error	12	5,648.764	470.730		
Total	14	52,201.916			
ร้อยละ 20					
Treatment	2	84,378.435	42,189.217	63.624	0.000*
Error	12	7,957.204	663.100		
Total	14	92,335.639			

ตารางผนวกที่ จ9 (ต่อ)

Source	Degree of freedom (df)	Type III Sum of Squares (SS)	Mean Squares (MS)	F-value	p-value
ร้อยละ 30					
Treatment	2	9,577.665	4,788.832	16.241	0.000*
Error	12	3,538.299	294.858		
Total	14	13,115.964			

หมายเหตุ * แตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางผนวกที่ จ10 ปริมาณสารที่มีความสามารถจับอนุมูลอิสระจากผงอบเชยในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรต เข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30

Source	Degree of freedom (df)	Type III Sum of Squares (SS)	Mean Squares (MS)	F-value	p-value
ร้อยละ 10					
Treatment	2	87,035.993	43,517.997	20.686	0.000*
Error	12	25,244.319	2,103.693		
Total	14	112,280.312			
ร้อยละ 20					
Treatment	2	154,680.832	77,340.416	33.092	0.000*
Error	12	28,045.297	2,337.108		
Total	14	182,726.129			
ร้อยละ 30					
Treatment	2	46,080.404	23,040.202	11.406	0.002*
Error	12	24,240.828	2,020.069		
Total	14	70,321.233			

หมายเหตุ * แตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางผนวกที่ จ11 ปริมาณสารซินนามอลดีไฮด์จากผงอบเชยในไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตเข้มข้นร้อยละ 10, 20, และ 30

Source	Degree of freedom (df)	Type III Sum of Squares (SS)	Mean Squares (MS)	F-value	p-value
ร้อยละ 10					
Treatment	2	168,491.643	84,245.822	2,225.600	0.000*
Error	22	794.915	37.853		
Total	24	169,286.558			
ร้อยละ 20					
Treatment	2	215,548.752	107,774.376	4,029.019	0.000*
Error	22	561.740	26.750		
Total	24	216,110.493			
ร้อยละ 30					
Treatment	2	98,225.162	49,112.581	2,116.060	0.000*
Error	22	487.398	23.209		
Total	24	98,712.561			

หมายเหตุ * แตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวนฤชยา โพธิ์เทศ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 21 ตุลาคม 2525
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีการอาหาร) มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	—
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	—
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	—
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	—