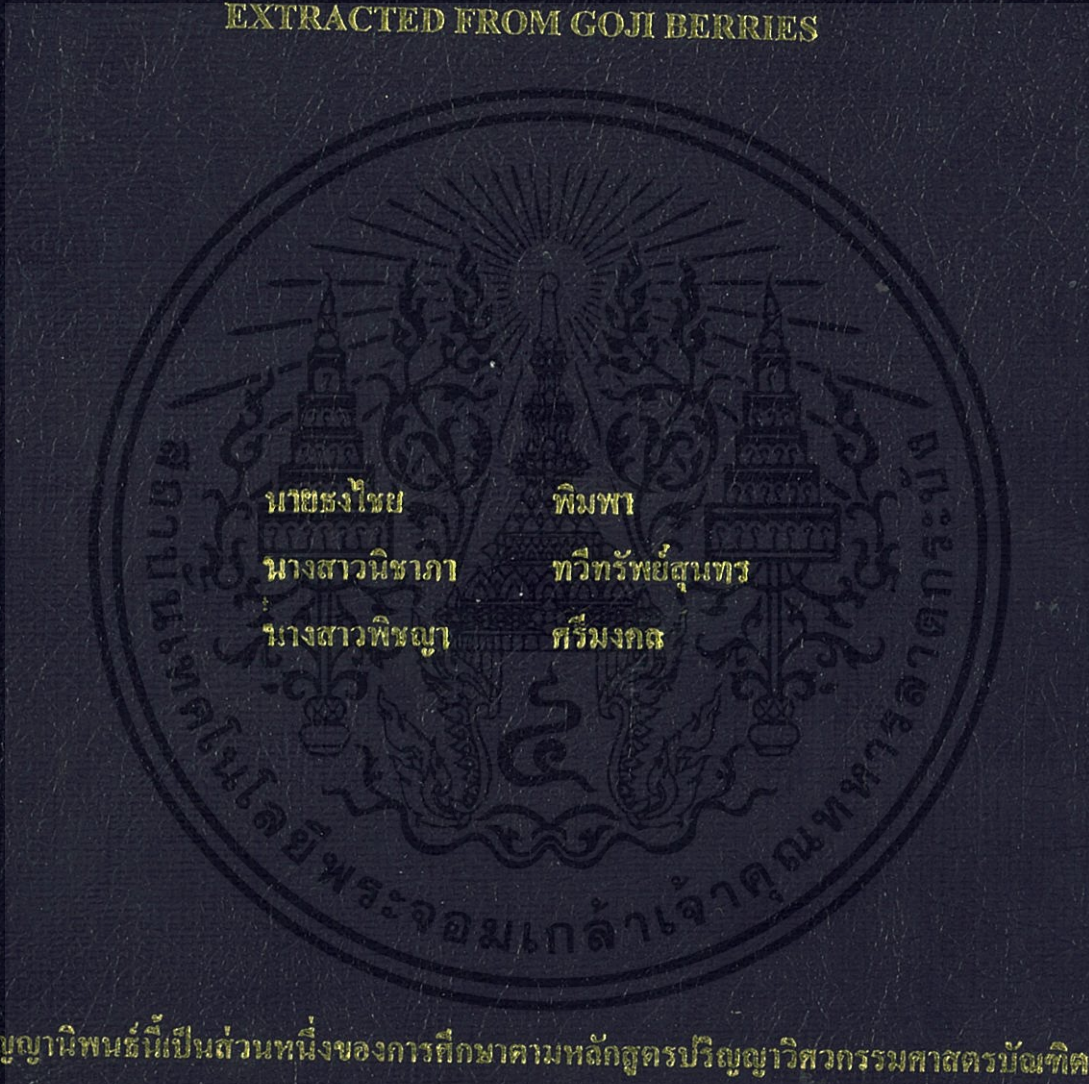


การศึกษาเทคนิคการห่อหุ้มสารต้านอนุมูลอิสระจากเก๋ากี้

STUDY ON THE ENCAPSULATION OF NATURAL ANTIOXIDANTS

EXTRACTED FROM GOJI BERRIES



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556.

การศึกษาเทคนิคการห่อหุ้มสารต้านอนุมูลอิสระจากเก๋ากี้

STUDY ON THE ENCAPSULATION OF NATURAL ANTIOXIDANTS
EXTRACTED FROM GOJI BERRIES



นายธงไชย

พิมพ์ภา

นางสาวนิชาภา

ทวีทรัพย์สุนทร

นางสาวพิชญา

ศรีมงคล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่รับผิดชอบต่อการใช้งานเอกสารฉบับนี้หากมีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2556

STUDY ON THE ENCAPSULATION OF NATURAL ANTIOXIDANTS

EXTRACTED FROM GOJI BERRIES



MR. THONGCHAI

PIMPA

MISS NICHAPA

THAVEESUPSOONTHORN

MISS PITCHAYA

SRIMONGKOL

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

FACULTY OF ENGINEERING

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2013

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาเทคนิคการห่อหุ้มสารต้านอนุมูลอิสระจากเก๋ากี้

Study on the encapsulation of natural antioxidants extracted from Goji berries

ผู้จัดทำ

นายธงไชย พิมพา รหัสนักศึกษา 53010607

นางสาวนิชาภา ทวีทรัพย์สุนทร รหัสนักศึกษา 53010846

นางสาวพิชญา ศรีมงคล รหัสนักศึกษา 53011119



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.กนต์กนิษฐ์ ขวัญพฤษ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการ	การศึกษาเทคนิคการห่อหุ้มสารต้านอนุมูลอิสระจากเก๋ากี้
นักศึกษา	นายธงไชย พิมพา
	นางสาวนิชาภา ทวีทรัพย์สุนทร
	นางสาวพิชญา ศรีมงคล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.กัณฑ์นิษฐ์ ขวัญฤกษ์
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอาหาร
ปีการศึกษา	2556

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเทคนิคการห่อหุ้มสารต้านอนุมูลอิสระจากเก๋ากี้ โดยการใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย และศึกษาผลของความเข้มข้นของสารป้อนเข้า (feed) และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า ออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลที่ 3 ระดับ (3^2) โดยศึกษาความเข้มข้นของสารป้อน 20 24 และ 29 องศาบริกซ์ และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ 160 170 และ 180 องศาเซลเซียส ทำการทดลอง 3 ซ้ำ จากการทดลองนำผลิตภัณฑ์ผงวิเคราะห์หาค่าปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ การเปลี่ยนแปลงสีโดยรวม ความเป็นกรด-เบส ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของผลิตภัณฑ์เก๋ากี้ผง พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 1.30-2.09, 0.16-0.20, 0.59-1.61, 4.06-4.08, 7.22-12.08 มิลลิกรัมต่อกรัมเมล็ดเก๋ากี้ และ 4.36-6.35 มิลลิกรัมสมมูลย์โทร็อกซ์ต่อกรัมเมล็ดเก๋ากี้ ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าความเข้มข้นของสารป้อนเข้าและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ แต่ความเข้มข้นของสารป้อนมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด หากพิจารณาคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยรวม โดยใช้ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เป็นเกณฑ์ สภาวะทำแห้งที่เหมาะสมคือ ความเข้มข้นสารละลายเก๋ากี้ที่ 29 องศาบริกซ์ และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ 170 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Title	Study on the encapsulation of natural antioxidants extracted from Goji berries
Students	Mr. Thongchai Pimpa Miss Nichapa Thaveesupsoonthorn Miss Pitchaya Srimongkol
Project Advisor	Dr. Kankanit Khwanpruk
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Food Engineering
Academic Year	2013

Abstract

The objectives of this research are to study on the encapsulation of natural antioxidants extracted from Goji berries using a spray dryer and to study the effects of feed concentration and inlet air temperature. A factorial experiment with three feed concentrations (20, 24 and 29°Brix) and three inlet air temperatures (160, 170 and 180°C) were carried out. All experiments were done in triplicate. From the experiment, the moisture content, water activity, color difference, pH, total polyphenol contents and Free-radical-scavenging activity DPPH of the powder were 1.30-2.09% (w.b.), 0.16-0.20, 0.59-1.61, 4.06-4.08, 7.22-12.08 mg/g Goji berry and 4.36-6.35 mgTrolox/g Goji berry, respectively. Statistical analysis results that feed concentration and inlet air temperature are not significantly different ($P > 0.05$) on moisture content, water activity, color difference, pH and Free-radical-scavenging activity DPPH but feed concentration are significantly different on total polyphenol contents. On the basis of total polyphenol contents and Free-radical-scavenging activity DPPH, the suitable drying condition was the feed concentration at 29°B and drying air temperature at 170°C.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประสบความสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยความกรุณาและความอนุเคราะห์จาก ดร.กัณฑ์นิษฐ์ ขวัญพุกษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ได้ให้คำแนะนำ ชี้แนะ และให้ความช่วยเหลือในการแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดี คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้ง และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ให้ความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาวิชาตั้งแต่เริ่มเข้าศึกษา เพื่อนำความรู้ที่ได้จากคณาจารย์ทุกท่านมาประกอบในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิริโรตม คณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร ที่ได้ให้คำแนะนำ ชี้แนะ และเอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ขอขอบคุณ คุณนิพัทธาชาติสุวรรณ นักศึกษาปริญญาเอก สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร ที่เสียสละเวลาและให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ คุณอำนาจ คุณตะคุ คุณวราภรณ์ มาไพศาลทรัพย์ คุณบุญนำ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร ที่ให้ความช่วยเหลือ แนะนำ และให้คำปรึกษา ตลอดจนช่วยเหลือและอำนวยความสะดวก ในด้านการปฏิบัติ เทคนิคและวิธีการต่างๆ ในการใช้เครื่องมือ

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ ทุกคนในภาควิชาวิศวกรรมอาหารและนอกภาควิชาที่ทำให้กำลังใจในการทำงานจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณบิดามารดา และผู้มีพระคุณของคณะผู้จัดทำทุกท่าน ผู้ที่มอบชีวิต การศึกษา และอนาคตที่ดี ตลอดจนให้คำปรึกษา ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ และกำลังใจในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ คุณค่าและประโยชน์อันมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้จัดทำขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นักศึกษาผู้จัดทำโครงการ

นายธงไชย พิมพา

นางสาวนิชาภา ทวีทรัพย์สุนทร

นางสาวพิชญา ศรีมงคล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูปภาพ	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 หลักการ เหตุผล และที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 เก๋ากี้ (Goji berry)	3
2.1.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเก๋ากี้	3
2.1.2 เก๋ากี้แหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติ	4
2.2 อนุมูลอิสระ (Free radicals)	5
2.3 สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Antioxidants)	6
2.4 สารประกอบฟีนอลิก	7
2.4.1 สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compounds)	7
2.4.2 หน้าที่และความสำคัญของสารประกอบฟีนอลิก	7
2.4.3 การจำแนกกลุ่มของสารประกอบโพลีฟีนอล	8
2.4.4 คุณรัทางชีวภาพของสารประกอบฟีนอลิก	9
2.5 การทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying)	10
2.5.1 กระบวนการการทำแห้งแบบพ่นฝอย	10

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.2 การปรับเปลี่ยนตัวแปรเพื่อทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามต้องการ	15
2.6 กระบวนการห่อหุ้ม (Encapsulation)	15
2.6.1 ชนิดของไมโครแคปซูลที่ผลิตโดยใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชัน	16
2.6.2 แอนแคปซูเลชันในอุตสาหกรรมอาหาร	18
2.6.3 ปัจจัยที่มีผลต่อความเสถียรของสารที่ผ่านการเอนแคปซูเลชัน	18
2.6.4 ชนิดของสารห่อหุ้มที่นิยมใช้ในการเอนแคปซูเลชัน	18
2.6.5 เทคนิคที่ใช้ในการเอนแคปซูเลชัน (Encapsulation techniques)	22
2.6.6 การควบคุมการปลดปล่อยของสารสำคัญในแคปซูล	25
2.7 เครื่องมือต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง	26
2.7.1 เครื่อง UV-VIS Spectrophotometer	26
2.7.2 Refractometer	28
2.7.3 เครื่องวัดสี (Colorimeter)	29
2.7.4 เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH Meter)	30
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	32
บทที่ 3 อุปกรณ์และการทดลอง	34
3.1 วัตถุประสงค์ที่ใช้ศึกษา	34
3.2 อุปกรณ์การทดลอง	34
3.3 สารเคมี	35
3.4 วิธีการทดลอง	35
3.4.1 ขั้นตอนการเตรียมสารสกัด	35
3.4.2 ขั้นตอนการทำแห้งแบบพ่นฝอย	37
3.5 การวิเคราะห์คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์น้ำเก๋ากี้ผง	40
3.5.1 ปริมาณความชื้น	40
3.5.2 ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (% yield)	40
3.5.3 ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังขอสงวนไว้สำหรับงานวิจัยของทางวิทยาลัยเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5.4 ค่าสี	41
3.5.5 ความเป็นกรด-เบส (pH)	41
3.5.6 ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด	42
3.5.7 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH	42
3.6 การวางแผนการทดลอง	43
บทที่ 4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	44
4.1 ผลการทดลองเบื้องต้น	44
4.2 การทำแห้งแบบพ่นฝอย	44
4.3 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์เก๋ากี้ผง	45
4.3.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น	47
4.3.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตที่ได้	48
4.3.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ	49
4.3.4 ผลการวิเคราะห์ค่าสี	50
4.3.5 ผลการวิเคราะห์ความเป็นกรด-เบส	53
4.3.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด	54
4.3.7 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH	56
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	58
5.1 สรุปผลการทดลอง	58
5.2 ปัญหาที่พบ	58
5.3 ข้อเสนอแนะ	59
เอกสารอ้างอิง	60
ภาคผนวก	63
ภาคผนวก ก. ผลผลิตของผลิตภัณฑ์เก๋ากี้ผง	64
ภาคผนวก ข. ภาพอุปกรณ์ วัสดุดิบ และผลิตภัณฑ์ในการทดลอง	78
ภาคผนวก ค. การวิเคราะห์หาปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด	83

(Total polyphenol contents)

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ง. การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (DPPH scavenging activity)	86
ภาคผนวก จ. ตารางการวิเคราะห์ทางสถิติ	89



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 ปริมาณสารอาหารในเมล็ดกาแฟ (1,000 g)	3
ตารางที่ 2.2 อุณหภูมิกลาสทรานซิชั่นของมอลโตเดกซ์ตรินที่มี DE ต่างกัน	20
ตารางที่ 2.3 คุณลักษณะเฉพาะของสารเคลือบแต่ละชนิดที่ใช้ในการเอนแคปซูเลชัน	21
สารอุกกักเก็บ	
ตารางที่ 2.4 เทคนิคที่ใช้ในการเอนแคปซูเลชัน	24
ตารางที่ 2.5 ช่วงความยาวคลื่นแสงที่มีความสัมพันธ์ต่อสีของตัวกรอง และสารละลาย	26
ตารางที่ 3.1 การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล	43
ตารางที่ 4.1 สภาวะก่อนการทำแห้งของสารละลายกาแฟ	44
ตารางที่ 4.2 สภาวะเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้ในการทดลอง	44
ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์กาแฟผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	46
ที่สภาวะต่างๆ	
ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น	47
ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตที่ได้	48
ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ	49
ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ค่าสี	50
ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าสีโดยรวม	52
ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ความเป็นกรด-เบส	53
ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด	54
ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 เก้าอี้	4
รูปที่ 2.2 Rotary Atomizer	11
รูปที่ 2.3 Pressure Nozzles	12
รูปที่ 2.4 Two-fluid Nozzle	12
รูปที่ 2.5 ตัวอย่าง Spray Drying system	13
รูปที่ 2.6 การไหลผ่านทางเดียวกัน	13
รูปที่ 2.7 การไหลผ่านสวนทางกัน	14
รูปที่ 2.8 การไหลผ่านแบบผสม	14
รูปที่ 2.9 โครงสร้างของไมโครแคปซูล	16
รูปที่ 2.10 ไมโครแคปซูลแบบ Single core	17
รูปที่ 2.11 ไมโครแคปซูลแบบ Multi-core หรือ matrix encapsulation	17
รูปที่ 2.12 ไมโครแคปซูลแบบ Matrix encapsulation ที่มีการเคลือบผิว 2 ชั้น	17
รูปที่ 2.13 เทคนิคที่ใช้ในการเอนแคปซูเลชัน	23
รูปที่ 2.14 เครื่อง UV-VIS Spectrophotometer	27
รูปที่ 2.15 ดิจิตอลรีแฟลคโตมิเตอร์	28
รูปที่ 2.16 เครื่องวัดสี	30
รูปที่ 2.17 เครื่องวัดความเป็นกรด - ด่าง (pH meter)	31
รูปที่ 3.1 (ก) เมล็ดกาแฟ	35
(ข) หม้ออัดความดันดิจิตอล	35
รูปที่ 3.2 (ก) น้ำกาแฟปั่น	36
(ข) น้ำกาแฟกรองด้วยผ้าขาวบาง	36
รูปที่ 3.3 สารละลายกาแฟเริ่มต้น 17 องศาบริกซ์	36
รูปที่ 3.4 สารละลายกาแฟผสมกับมอลโตเด็กซ์ทริน	37
รูปที่ 3.5 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการผลิตเก๋ากี้ผงด้วยกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย	39
รูปที่ 4.1 ผลของอุณหภูมิลมร้อนขาเขาต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์ผง	47
รูปที่ 4.2 ผลของอุณหภูมิลมร้อนขาเขาต่อปริมาณผลผลิตที่ได้	48
รูปที่ 4.3 ผลของอุณหภูมิลมร้อนขาเขาต่อปริมาณน้ำอิสระ	49
รูปที่ 4.4 ผลของอุณหภูมิลมร้อนขาเขาต่อความเป็นกรด - เบส	53
รูปที่ 4.5 ผลของอุณหภูมิลมร้อนขาเขาต่อปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด ของผลิตภัณฑ์เก๋ากี้ผง	54
รูปที่ 4.6 ผลของอุณหภูมิลมร้อนขาเขาต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ของผลิตภัณฑ์เก๋ากี้ผง	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการ เหตุผล และที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันการดำเนินชีวิตของคนเราต้องเผชิญกับสารเคมีและสารปนเปื้อนในรูปแบบต่างๆ มากมาย เช่นมลภาวะจากท่อไอเสียรถยนต์ โรงงานอุตสาหกรรมหรือกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ ซึ่งอาจก่อให้เกิดความผิดปกติของร่างกาย มลพิษเหล่านี้คือส่วนที่เป็นตัวกระตุ้นให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้นในร่างกายและก่อให้เกิดการเจ็บป่วยและโรคต่างๆตามมา เช่น โรคมะเร็ง โรคผิวหนังหลอดเลือดแดงแข็งตัวโรคความจำเสื่อม และโรคชรา จากสาเหตุดังกล่าวก่อให้เกิดกระแสความสนใจดูแลสุขภาพและการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพมากขึ้นตามไปด้วย

การบริโภคอาหารมีส่วนสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงสุขภาพและปรับปรุงคุณภาพชีวิต ดังนั้นอาหารเพื่อสุขภาพจึงมีการศึกษาและพัฒนาอย่างกว้างขวางในปัจจุบันซึ่งอาหารเพื่อสุขภาพก็คือการบริโภคอาหารให้ครบทั้ง 5 หมู่ โดยมีปริมาณไขมันและคอเลสเตอรอลต่ำ นอกจากนี้ควรมีปริมาณเส้นใยอาหารสูง เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่าผักและผลไม้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพ เพราะเป็นแหล่งของวิตามิน เกลือแร่ เส้นใยอาหารและเป็นแหล่งของสารพฤกษเคมี (phytochemical) ที่สำคัญหลายชนิดโดยเฉพาะสารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) ซึ่งมีฤทธิ์เป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (antioxidant) โดยสามารถยับยั้งหรือทำลายอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในเซลล์ ทำให้ลดปัญหาสุขภาพและช่วยป้องกันโรคต่างๆได้เช่น ฟลาโวนอยด์(Flavonoids) และแคโรทีนอยด์ (Carotenoids) ที่มีความสามารถในการหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระ จึงมีส่วนช่วยลดอัตราเสี่ยงของการเกิดโรคเรื้อรังต่างๆ เช่นโรคมะเร็ง โรคหัวใจ ความผิดปกติของสายตาและผิวพรรณ และชะลอความชรา เป็นต้น (โอภา วัชรคุปต์, 2550)

เก๋ากี้ (Goji berry) เป็นผลไม้ชนิดหนึ่งตระกูลเบอร์รี่ มีสีแดงลักษณะเป็นเม็ดเล็ก ๆ ที่นิยมรับประทานในหมู่ชาวจีน ผลที่สุกแล้วจะมีสีแดงเหมือนเลือด ปัจจุบันได้รับความนิยมในการบริโภคเนื่องจากมีสรรพคุณทางยาหลากหลาย โดยนิยมนำผลแห้งมาปรุงอาหารรับประทาน เมล็ดเก๋ากี้มีคุณค่าทางโภชนาการสูงโดยเฉพาะอย่างยิ่งมีค่า ORAC (Oxygen Radical Absorbance ซึ่งระบุค่าสมรรถภาพการดูดซับอนุมูลอิสระของออกซิเจน) ในปริมาณที่มากถึง 25,300 ในขณะที่ลูกพรุนซึ่งมี

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ค่า ORAC เป็นอันดับสอง มีค่า ORAC เพียง 5,770 เท่านั้น(ฉัตรตระกูลเจียจันทร์พงษ์, 2550)

องค์ประกอบที่มีประโยชน์ของเมล็ดเก๋ากี้คืออุดมไปด้วยใยอาหาร วิตามินและแร่ธาตุที่จำเป็นต่อ

ร่างกายหลายชนิด เช่น วิตามินเอ บี2 และซี สังกะสี เหล็ก ทองแดง แคลเซียม เจอมาเนียม เซเรเนียม ฟอสฟอรัสและกรดอมิโน 19 ชนิด รวมทั้งยังมีสารพฤกษเคมีอีกหลายชนิด เช่น แคโรทีนอยด์ (Carotenoids) แอนโธไซยานิน (Anthocyanins) และสารโพลีฟีนอล (Polyphenols) ต่างๆ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการห่อหุ้มสารและการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย
2. เพื่อวัดคุณสมบัติทางกายภาพของเก๋ากี้ผง

1.3 ขอบเขตของโครงการ

โครงการนี้เป็นการศึกษาเทคนิคการห่อหุ้มสารด้านอนุโมลติสระจากเก๋ากี้ด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying) ซึ่งมีขอบเขตของการศึกษา ดังนี้

1. วัตถุดิบที่ใช้ คือ เมล็ดเก๋ากี้
2. ปัจจัยที่ศึกษา ประกอบด้วย
 - อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 3 ระดับ คือ 160 170 และ 180 องศาเซลเซียส
 - ความเข้มข้นสารป้อน 3 ระดับ คือ ปริมาณมอลโตเด็คซ์ตรินร้อยละ 11 14 และ 17 โดยน้ำหนัก เพื่อให้ได้อัตราส่วนปริมาณของแข็งในสารละลายเก๋ากี้ต่อปริมาณมอลโตเด็คซ์ตรินเท่ากับ 1:1
3. คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์เมล็ดเก๋ากี้ผงที่ศึกษาประกอบด้วย
 - ปริมาณความชื้น
 - ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)
 - ความเป็นกรด-เบส (pH)
 - ค่าสี
 - ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (% yield)
 - ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด
 - ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้อนุภาคผงเก๋ากี้สำเร็จรูปที่มีคุณสมบัติของสารต้านอนุมูลอิสระ
 2. ทราบสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย
- ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เก๋ากี้ (Goji berry)

2.1.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเก๋ากี้

เก๋ากี้ (Goji berry หรือ *Lycium chinense* หรือ *Lycium barbarum*) เป็นผลไม้ชนิดหนึ่งตระกูลเบอร์รี่ มีการเพาะปลูกอย่างกว้างขวางในภูมิภาคเอเชียตะวันออก โดยเฉพาะในภาคตะวันตกของจีน, ทิเบต และมองโกเลีย โภจโภจจัดอยู่ในวงศ์ Solanaceae มักจะพบในรูปแบบแห้ง (Amagase and Farnsworth, 2011) เมล็ดเก๋ากี้มีคุณค่าทางโภชนาการสูงโดยเฉพาะอย่างยิ่งมีค่า ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity ซึ่งระบุค่าสมรรถภาพการดูดซับอนุมูลอิสระของออกซิเจน) ในปริมาณที่มากถึง 25,300 ในขณะที่ลูกพรุนซึ่งมีค่า ORAC เป็นอันดับสองมีค่า ORAC เพียง 5,770 เท่านั้น (ฉัตรตระกูล เจียจันทร์พงษ์, 2550) ปัจจุบันได้รับความนิยมในการบริโภคเนื่องจากมีสรรพคุณทางยาหลากหลาย มีการบริโภคในรูปแบบของยีสต์, นม, น้ำผลไม้ และชาขิง (Ginger tea) ในขณะที่ผลสดมีคุณค่าทางโภชนาการมากที่สุด

ตารางที่ 2.1 ปริมาณสารอาหารในเมล็ดเก๋ากี้ (1000 g)

สารอาหาร	ปริมาณ
Protein (g)	55.4
Fat (g)	10.4
Carbohydrates (g)	267.3
Crude fiber (g)	37.4
Minerals (g)	13.8
Calcium (mg)	761
Phosphorous (mg)	1191
Iron (mg)	19
Carotene (mg)	119
Thiamine (mg)	7
Riboflavin (mg)	11
Nicotinic acid (mg)	26
Ascorbic acid (mg)	470

ที่มา: Qian และคณะ (2004)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิชาการเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบที่มีประโยชน์ของเมล็ดเก๋ากี้ คืออุดมไปด้วยใยอาหาร วิตามินและแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกายหลายชนิด เช่น วิตามินเอ วิตามินบี 2 วิตามินซี สังกะสี เหล็ก ทองแดง แคลเซียม เจอมาเนียม เซเรเนียม ฟอสฟอรัส และกรดอะมิโน 19 ชนิด รวมทั้งยังมีสารพฤกษเคมีอีกหลายชนิด เช่น แคโรทีนอยด์ (Carotenoids) แอนโทไซยานิน (Anthocyanins) และสารโพลีฟีนอล (Polyphenols) ต่างๆ ซึ่งเป็นผลไม้ชนิดหนึ่งที่อุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ

เก๋ากี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย ใช้ในการแพทย์แผนจีนแบบดั้งเดิม ทำเครื่องสำอาง หรือแอลกอฮอล์ ใส่ส่วนผสมในซूप หรือจี้ก โดยจะมีการเก็บเกี่ยวผลเก๋ากี้ตั้งแต่เดือนสิงหาคม ถึงเดือนตุลาคม แล้วนำมาทำแห้ง หรืออาจจะบริโภคในรูปแบบของผลสด เก๋ากี้มีบทบาทที่สำคัญในยาจีนโบราณ (Traditional Chinese medicine) ซึ่งเชื่อว่าจะช่วยเสริมสร้างการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย, ช่วยในเรื่องความสามารถในการมองเห็น, ปกป้องตับ, เพิ่มการผลิตสเปิร์ม, ช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด, ป้องกันโรคสมองเสื่อมอัลไซเมอร์ และเพิ่มการไหลเวียนของระบบเลือด (Qian et al., 2004; Zhang, 2013)



รูปที่ 2.1 เก๋ากี้ (Amagase and Farnsworth, 2011)

2.1.2 เก๋ากี้แหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติ

พอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharides), เบต้า แคโรทีน (β carotene), วิตามินอี, ซีแซนทีน (Zeaxanthin), ฟีนอล และฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) คือสารประกอบหลักของสารต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดเก๋ากี้

พอลิแซ็กคาไรด์ ในการศึกษาพอลิแซ็กคาไรด์พบว่าส่วนของเปลือกเก๋ากี้มีคุณสมบัติในการช่วยเพิ่มการทำงานของไซโทโครก และเป็นตัวชี้วัดระบบภูมิคุ้มกันของเซลล์ เพิ่มปริมาณเอนไซม์

ซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเทส (Superoxide dismutase หรือ SOD) ในเม็ดเลือด, ตับ, กล้ามเนื้อ และเนื้อเยื่อของร่างกาย ซึ่งมีส่วนช่วยในการกำจัดอนุมูลอิสระ

พลาไวโนอยด์ ในการศึกษาพลาไวโนอยด์พบว่าจะช่วยปกป้องเซลล์เม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาว และไมโทคอนเดรียจากการทำลายของปฏิกิริยาออกซิเดชัน

สารประกอบฟีนอล เป็นสารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติที่มีความสามารถในการยับยั้งการทำงานของกระบวนการออกซิเดชัน ซึ่งจะช่วยในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน

ซีแซนทีน จะช่วยบำรุงสายตา และเป็นสารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติที่ถูกดูดซึมได้ดีในมนุษย์

2.2 อนุมูลอิสระ (Free radicals)

อนุมูลอิสระ คือ อะตอมหรือโมเลกุล ที่มีอิเล็กตรอนไม่เป็นคู่ (Unpaired electron) ซึ่งจะไม่เสถียร และไวต่อการเกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว จึงทำปฏิกิริยากับโมเลกุลที่อยู่รอบๆ โดยดึงหรือให้อิเล็กตรอนโมเลกุลข้างเคียงเพื่อให้ตัวมันเสถียร โมเลกุลข้างเคียงที่สูญเสียหรือรับอิเล็กตรอนจะกลายเป็นอนุมูลอิสระตัวใหม่ที่ไม่เสถียร และเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นต่อไปเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ (Chain reaction) (Zhang, 2013) จะส่งผลทำให้เซลล์ภายในร่างกายเสียหาย และนำไปสู่การเกิดโรคต่างๆ เช่น โรค มะเร็ง โรคหัวใจและหลอดเลือด ต้อกระจกหรือการเสื่อมของดวงตาค่อนวัย โรคไม่ติดต่อเรื้อรังอื่นๆ รวมทั้งอาจเกิดการแก่ก่อนวัยได้

อนุมูลอิสระอาจไปทำลายผนังหลอดเลือดแดง และเมื่อมีไขมันไปสะสมอยู่บริเวณหลอดเลือดแดงที่ถูกทำลาย จะทำให้หลอดเลือดอุดตัน นำไปสู่การเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด นอกจากนี้ อนุมูลอิสระอาจไปทำลายเซลล์เนื้อเยื่อที่สำคัญ โดยการทำให้เซลล์เหล่านั้นเสียหาย ผลที่ตามมาคือเซลล์เหล่านั้นอาจพัฒนาต่อกลายเป็นเซลล์มะเร็งได้ (รัชณี คงคาอุยฉาย และ ริญญ เจริญศิริ, 2552)

อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในร่างกายส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของร่างกาย ซึ่งโดยปกติ อนุมูลอิสระไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย และชีวิตของมนุษย์ เนื่องจากร่างกายจะมีระบบต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidants) ทำหน้าที่ทำลายอนุมูลอิสระ แต่มีหลายๆ ปัจจัยที่ส่งผลทำให้เกิดอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้น เช่น การสูบบุหรี่ มลพิษทางอากาศ น้ำ อันตรายจากรังสี (รังสีเอกซ์ รังสีอัลตราไวโอเล็ต) สารกำจัดศัตรูพืช ซึ่งจะเกิดการสะสมของอนุมูลอิสระ มีปริมาณอนุมูลอิสระมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ ใช้นิตยสาร การค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

2.3 สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Antioxidants)

สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน หมายถึง สารประกอบใดๆ ที่สามารถชะลอหรือป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของอนุมูลอิสระ

สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสังเคราะห์ (Synthetic antioxidants)

สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสังเคราะห์ ได้แก่ บิวทิลไฮดรอกซีแอนิโซล (Butylated hydroxyanisole, BHA), บิวทิลไฮดรอกซีโทลูอีน (Butylated hydroxytoluene, BHT) และ โพรพิลแกลเลต (Propyl gallate, PG) สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์เหล่านี้มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในอาหาร เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน อย่างไรก็ตามการใช้สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์มักมีข้อจำกัดในเรื่องความเป็นพิษต่อผู้บริโภค

2. สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติ (Natural antioxidants)

สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่พบในธรรมชาติมี 4 ประเภท ได้แก่

1) สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในกลุ่มของเอนไซม์ที่สร้างได้ในเซลล์ร่างกาย ได้แก่ คาตาเลส (Catalase) ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตส (Superoxide dismutase) และกลูตาไธโอนเปอร์ออกซิเดส (Glutathione peroxidase) เป็นต้น

2) สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในกลุ่มของวิตามิน ได้แก่ วิตามินอี ซี และเอ

3) สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในกลุ่มของแร่ธาตุ เช่น ซีลีเนียม และสังกะสี ซึ่งเป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์ที่ต้านออกซิเดชัน

4) สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในกลุ่มของฟิโตนเคมี (Phytochemical) เช่น แคโรทีน ไลโคปีน และสารประกอบฟีนอล เป็นต้น

นอกจากนี้สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันยังสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มตามกลไกการยับยั้ง ซึ่งได้แก่

1. สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันปฐมภูมิ (Primary antioxidants)

ได้แก่ สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสังเคราะห์ เช่น BHA BHT TBHQ หรือสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติในกลุ่มสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งสามารถขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

โดยการกำจัดอนุมูลอิสระด้วยการให้อิโตรเจนอะตอม หรืออิเล็กตรอนเพื่อเปลี่ยนอนุมูลอิสระไปเป็นเอกสารเป็นเอกสารที่เสถียรไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ผลิตภัณฑ์ที่คงตัว ไม่ว่าจะดื่มได้ทั้งส้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันทุติยภูมิ (Secondary antioxidants)

ได้แก่ สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติในกลุ่มวิตามิน เช่น วิตามินซี หรือวิตามินเอ ซึ่งจะทำหน้าที่โดยใช้กลไกหลายอย่าง ได้แก่ จับกับไอออนของโลหะ กำจัดออกซิเจน (Oxygen scavenger) และสารรีดิวส์ (Reducing agents) เป็นต้น (จุฬารักษ์ เลิศบรรจง, 2554)

2.4 สารประกอบฟีนอลิก

2.4.1 สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compounds)

สารประกอบฟีนอลิก หรือสารโพลีฟีนอลจัดเป็นสารประกอบทุติยภูมิ ที่พบในผัก ผลไม้และธัญพืชเป็นส่วนใหญ่ โดยทั่วไปโครงสร้างจะประกอบด้วยวงแหวนอะโรมาติก อาจมีหมู่ไฮดรอกซิล 1 หมู่หรือมากกว่า โครงสร้างพื้นฐานของสารประกอบฟีนอลิกจะอยู่ในรูปของไกลโคไซด์ คือ สารประกอบฟีนอลิกจะจับอยู่กับโมเลกุลของน้ำตาล ซึ่งอาจเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (Monosaccharide) น้ำตาลโมเลกุลคู่ (Disaccharide) หรือโอลิโกแซคคาไรด์ (Oligosaccharide) นอกจากนี้ยังมีการรวมตัวกันระหว่างสารประกอบฟีนอลิกกับสารประกอบฟีนอลิกด้วยกันเอง หรือสารประกอบฟีนอลิกกับสารประกอบอื่นๆ เช่น กรดคาร์บอกซิลิก (Carboxylic acids) กรดอินทรีย์ (Organic acid) เอมีน (Amines) และไขมัน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่พบในพืชแต่ละชนิดจะแตกต่างกันออกไป นอกจากนี้ในส่วนของเนื้อเยื่อที่ต่างกันของผักและผลไม้ชนิดเดียวกัน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกก็ยังแตกต่างกันอีกด้วย เนื่องจากปัจจัยทางด้านพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อมเข้ามาเกี่ยวข้องกับการสร้างสารประกอบฟีนอลิกของพืช นอกจากนี้ยังพบว่าวิธีการเพาะปลูก ระดับความสุก กระบวนการแปรรูป หรือแม้แต่วิธีการเก็บรักษาก็ล้วนมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งสิ้น (ณัฐกรณ์ ไม่อ่อนมือ, 2552)

2.4.2 หน้าที่และความสำคัญของสารประกอบฟีนอลิก

1. การต้านทานโรค สารประกอบฟีนอลิกหลายชนิดสามารถป้องกัน หรือยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราบางชนิดได้ เช่น กรดโปรโทคาเทอซิก (Protocatechuic acid) ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลิกที่มีมากในหัวหอมใหญ่สีม่วง จะต้านทานต่อโรค Smudge ที่เกิดจากเชื้อ *Colletotrichum circian* ได้ดี แต่ในหอมพันธุ์สีขาวจะไม่มีสารชนิดนี้จึงอ่อนแอต่อโรคดังกล่าว นอกจากนี้ยังพบว่า สารที่สกัดได้จากหัวหอมนี้สามารถป้องกันการงอก และยับยั้งการเจริญของเชื้อราชนิดนี้ด้วย

2. รสฝาด รสฝาดของผลไม้หลายๆ ชนิด ขึ้นอยู่กับปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกในผล ช่วงน้ำหนักโมเลกุลของสารประกอบฟีนอลิกที่ให้ความฝาดนั้นอยู่ในช่วง 500-3,000 ซึ่งสามารถที่จะรวมตัวกับโมเลกุลของโปรตีนในปากทำให้รู้สึกฝาดได้ เมื่อผลไม้แก่จัด (Mature) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมักจะลดลง นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลิกยังเกิดการรวมตัวเป็นโมเลกุลใหญ่ (Polymerization) และการรวมตัวจะเกิดขึ้นเรื่อยๆ จากโมเลกุลที่ละลายน้ำกลายเป็นโมเลกุลที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งทำให้ความฝาดลดลง

3. สี นอกจากแอนโทไซยานินซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลิกชนิดหนึ่งที่ทำให้สีกับผักและผลไม้แล้ว สารประกอบฟีนอลิกอื่นๆ ที่โดยปกติไม่มีสี อาจทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้นได้เนื่องจากการทำงานของ เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase, PPO) ซึ่งเปลี่ยนโมเลกุลของฟีนอลไปเป็นควิโนน (Quinone) แล้วเกิดโพลีเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) ขึ้น และมีสีน้ำตาล ปริมาณของ PPO จะมีมากในผลไม้เมื่อผลยังเล็ก และลดลงเมื่อผลเจริญเติบโตจนบริบูรณ์และสุก คาดว่าควิโนนที่ได้จากการทำงานของ PPO มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา

2.4.3 การจำแนกกลุ่มของสารประกอบโพลีฟีนอล

สารประกอบโพลีฟีนอลแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) และ นอนฟลาโวนอยด์ (Non-Flavonoids)

ฟลาโวนอยด์เป็นกลุ่มของสารประกอบโพลีฟีนอลกลุ่มใหญ่ที่พบมากในพืชชั้นสูง ในทุกส่วนของพืช ไม่ว่าจะเป็นใบ ราก เนื้อไม้ เปลือกต้น ดอก ผล หรือเมล็ด มีหน้าที่ทางชีวภาพหลายชนิด โดยเฉพาะการทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ มีโครงสร้างเป็นวงแหวนอะโรมาติก (Aromatic ring) 3 วง เป็นวงแหวนฟีนิล (Phenyl ring) 2 วง และวงแหวนแลคโตน (Lactone ring) 1 วง ประกอบด้วยคาร์บอน 15 อะตอม โครงสร้างพื้นฐานเป็นแบบไดฟีนิลโพรเพน (Diphenylpropanes) ($C_6-C_3-C_6$) องค์ประกอบสำคัญที่ทำให้ฟลาโวนอยด์แต่ละชนิดมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระแตกต่างกันคือ ฟลาโวนอยด์สามารถแบ่งตามโครงสร้างพื้นฐานออกเป็นกลุ่มต่างๆ ได้ 12 กลุ่มย่อย คือ ฟลาโวน (Flavone) ไอโซฟลาโวน (Isoflavone) ฟลาโวนอล (Flavonol) ฟลาโวนอน (Flavonone) ฟลาวาโนนอล (Flavanonol) ฟลาวานอล (Flavanol) ลูโคแอนโทไซยานิน (Lucoanthocyanin) แอนโทไซยานิน (Anthocyanin) ชาลโคน (Chalcone) ไดไฮโดรชาลโคน (Dihydrochalcone) ออโรน (Aurone) และแซนธอน (Xanthone)

นอกจากนี้ยังมีอีกกลุ่มหนึ่งคือ กรดฟีนอลิก (Phenolic acid) ตัวอย่างที่พบมากในผลไม้ทั่วไปคือ กรดแกลลิก (Gallic acid) กรดโปรโตแคเทคิควิก (Protocatechuic acid) กรดวานิลลิก

(Vanillic acid) กรดพาราคูมาริก (Paracoumaric acid) กรดเฟอร์ูลิก (Ferulic acid) เป็นต้น นอกจากนี้บนฟลาโวนอยด์ ชนิดอื่นๆ ได้แก่ ไฮดรอกซีซินนามेट (Hydroxycinnamate) สติลบินเนส (Stibinase) เป็นต้น

2.4.4 ฤทธิ์ทางชีวภาพของสารประกอบฟีนอลิก

1. การต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน

สมบัติที่ได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบันของสารประกอบฟีนอลิกคือ สมบัติเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติ ทั้งในอาหารและระบบของสิ่งมีชีวิต โดยสารประกอบฟีนอลิกจะทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระ และไอออนของโลหะที่สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและโมเลกุลอื่นๆ ด้วยการให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระอย่างรวดเร็ว เมื่อสารประกอบฟีนอลิกให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระไปแล้ว อนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกจะค่อนข้างมีเสถียรภาพ ดังนั้นจึงไม่ทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นต่อไป ยิ่งไปกว่านั้น อนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกบางชนิดยังสามารถรวมตัวกับอนุมูลอิสระอื่นได้อีกด้วย จึงทำให้สามารถลดจำนวนอนุมูลอิสระลงได้ 2 เท่า

2. การต้านโรคต่างๆ

1) บทบาทต่อโรคมะเร็ง โรคมะเร็งสามารถเกิดขึ้นได้จากการที่ร่างกายได้รับสารเคมี รังสี หรือไวรัส จากสิ่งแวดล้อม สิ่งแปลกปลอมเหล่านี้จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในระดับของดีเอ็นเอ ส่งผลให้เกิดความผิดปกติของเซลล์และเนื้อเยื่อขึ้นตามลำดับ สารประกอบฟีนอลิกบางชนิดมีบทบาททั้งในด้านส่งเสริมและป้องกันมะเร็งได้ โดยกลุ่มที่มีบทบาททั้ง 2 ด้านดังกล่าวนี้ คือสารประกอบฟีนอลิกและแคตาคอล (Catechol) เนื่องจากสภาพปฏิกิริยาดังกล่าวจะเข้าทำปฏิกิริยากับไนโตรส ทำให้ไนโตรสหมดสภาพในการเป็นสารก่อมะเร็ง และส่วนที่เหลือจะถูกเปลี่ยนเป็น ควินโนน (Quinines) ซึ่งสามารถถูกกำจัดออกจากร่างกายได้ด้วยเอนไซม์กลูตาไทโอน ทรานเฟอร์เรส (Glutathione transferase) ในกระบวนการกำจัดสารเคมีแปลกปลอมที่เข้ามาในร่างกาย (Xenobiotic metabolism) สำหรับกลไกการลดอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งของสารประกอบฟีนอลิกสามารถแบ่งได้หลายลักษณะ เช่น ยับยั้งการเกิดสารก่อมะเร็ง ป้องกันปัจจัยต่างๆ ที่ส่งเสริมให้เกิดโรคมะเร็ง หยุดการเจริญและแพร่กระจายของเซลล์มะเร็ง ลดอัตราการกลายพันธุ์ของเซลล์ และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย

2) บทบาทต่อโรคหัวใจและหลอดเลือด สารต้านอนุมูลอิสระสามารถลดการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดได้ โดยการยับยั้งการรวมตัวของไขมันชนิด LDL (Low density lipoprotein) กับ

ออกซิเจน ทำให้ไม่เกิดอนุมูลอิสระ นอกจากนี้ยังมีผลในการเพิ่มปริมาณ HDL (High density lipoprotein) ให้สูงขึ้น ซึ่งไขมันชนิดนี้เป็นไขมันที่ดีที่ช่วยลดโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดหลอดเลือดแดงแข็งตัว

3) บทบาทต่อโรคต่อกระดูก โรคต่อกระดูกมีสาเหตุมาจากการเกิดอนุมูลอิสระขึ้นในเลนส์ตา โดยในเลนส์ตามีกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งเข้าทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้ง่าย และมีรังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นตัวกระตุ้น ดังนั้นสารต้านอนุมูลอิสระจะเข้าทำหน้าที่โดยไปจับกับอนุมูลอิสระ ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อไปอีกได้

4) บทบาทต่อการเสื่อมของเซลล์ รังสีอัลตราไวโอเล็ตในแสงแดดเป็นตัวการสำคัญที่กระตุ้นให้เกิดอนุมูลอิสระที่ผิวหนัง และยังทำปฏิกิริยาต่อเซลล์ข้างเคียง ทำให้เซลล์เสื่อมสภาพหรือตายเร็วกว่าปกติ ส่งผลให้ผิวหนังเกิดการเหี่ยวย่น หรือแก่ชราก่อนวัย สารต้านอนุมูลอิสระสามารถป้องกันการเสื่อมของเซลล์ได้โดยการป้องกันผนังเซลล์ไม่ให้ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนจนเกิดเป็นอนุมูลอิสระเข้าทำลายเซลล์ได้ (ณัชฐกรณ์ ไม่อ่อนมือ, 2552)

2.5 การทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying)

กระบวนการทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้นเริ่มจากการที่อากาศจะถูกดูดผ่านตัวกรองอากาศ (Filter) และผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของอากาศให้สูงขึ้น จากนั้นจะถูกส่งเข้าสู่ห้องอบแห้ง (Drying chamber) ส่วนวัตถุดิบที่ใช้ในการสเปรย์ (Feed) โดยทั่วไปจะมีลักษณะอยู่สภาวะของของเหลวหรือของเหลวหนืดข้น ซึ่งจะถูกลดอุณหภูมิลงโดยผ่านปั๊มไปยังอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดเป็นละอองฝอยภายในห้องอบแห้ง จากนั้นจะเกิดการสัมผัสกันระหว่างอากาศร้อนกับวัตถุดิบที่เป็นละอองฝอย ทำให้เกิดการระเหยของน้ำในวัตถุดิบอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกเล็กน้อย วัตถุดิบจะถูกทำให้แห้งและกลายเป็นผงผลิตภัณฑ์ตกลงสู่ด้านล่างของห้องอบแห้ง และผงบางส่วนที่หลุดมากับอากาศจะถูกแยกโดยใช้เครื่องแยก (Cyclone separator) ซึ่งวัตถุดิบบางส่วนที่ยังไม่แห้งจะถูกส่งกลับไปยังห้องอบแห้งอีกครั้งหนึ่ง ส่วนที่เป็นผงผลิตภัณฑ์จะถูกแยกออกมาต่างหาก (วศิน บุญสนองสุภา, 2555; Brennan, 2003)

2.5.1 กระบวนการการทำแห้งแบบพ่นฝอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

การ Spray drying ประกอบด้วย 4 กระบวนการ คือ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

1. การทำให้วัตถุดิบกระจายตัวเป็นละอองฝอย (Atomization feed)

ส่วนที่ทำหน้าที่จัดเตรียมและปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในรูปของเหลวที่เหมาะสมต่อการทำ

แห่งซึ่งแต่ละผลิตภัณฑ์จะมีขั้นตอนที่แตกต่างกัน ในที่นี้ขอยกตัวอย่างดังนี้

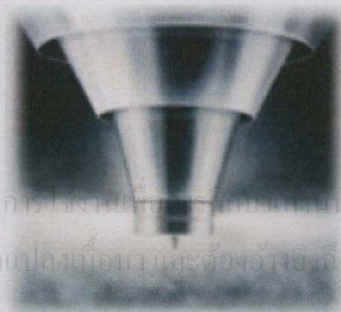
- เวท มิกซ์ (Wet Mix) เป็นส่วนที่ใช้เตรียมส่วนผสมต่างๆ อาจใช้วิธีการต้ม กวน ละลาย หรือผสม เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการในรูปของเหลว เช่น การทำครีมเทียม (Non-dairy creamer) ต้องละลายโปรตีนนมและส่วนผสมที่เป็นผงอื่นๆ กับน้ำแล้วผสมกับกลูโคสและไขมัน พร้อมกับให้ความร้อนและกวนให้ขึ้นก่อนที่จะนำไปสเปรย์

- การระเหย (Evaporation) เป็นขั้นตอนที่อาจจำเป็นในบางผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเป็นที่ทราบดีว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้นใช้หลักการระเหยน้ำในผลิตภัณฑ์ออก แต่ถ้าในผลิตภัณฑ์มีน้ำเป็นส่วนประกอบมากเกินไปก็จะทำให้เป็นภาระหนักกับเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย จึงจำเป็นต้องทำให้ผลิตภัณฑ์มีน้ำน้อยที่สุดเท่าที่จะสามารถป้อนผ่านท่อไปยังเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยได้ผลิตภัณฑ์ที่ได้นี้เรียกว่า คอนเซนเทรต (Concentrate)

- โฮโมจีไนเซอร์และปั๊มความดันสูง (Homogenizer and High-Pressure Pump) ในบางผลิตภัณฑ์ที่มีไขมัน (Fat) เป็นส่วนประกอบที่อาจจำเป็นต้องทำให้ไขมันแตกตัวโดยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ (Homogenizer) ส่วนปั๊มความดันสูง (High-pressure pump) จะทำหน้าที่บีบคอนเซนเทรตให้มีความดันสูงจะรวมอยู่ในเครื่องจักรตัวเดียวกัน (วดีน บุญสนองสุภา, 2555)

การจะทำให้วัตถุเป็นละอองฝอยได้นั้นจำเป็นต้องพึ่งอุปกรณ์ในการทำให้เกิดการกระจายตัวหรือหัวฉีด (Atomizer) โดยลักษณะของหัวฉีดนั้นมีทั้งหมด 3 ชนิด คือ

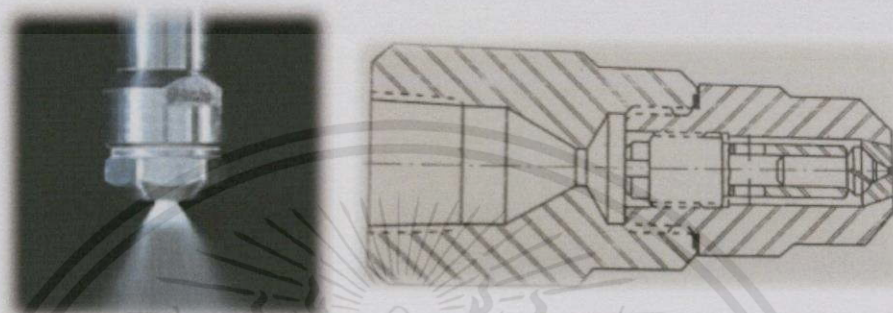
1) Rotary Atomizer มีลักษณะคล้ายจานหมุน วัตถุจะไหลลงบนจานหมุนซึ่งใกล้กับจุดศูนย์กลาง โดยขนาดของจานหมุนจะมีขนาด 50-300 มิลลิเมตร สามารถหมุนด้วยความเร็วรอบ 50,000-10,000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และขนาดของละอองฝอยที่สเปรย์ออกมานั้นอยู่ที่ 1-600 ไมโครเมตร ขนาดของอนุภาคแปรผันโดยตรงกับอัตราการไหล และความหนืดของอาหารเหลว และแปรผกผันกับอัตราการหมุนและเส้นผ่านศูนย์กลางของจานหมุน ใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดสูง ไม่เป็นเนื้อเดียว ซึ่งอาจมีปัญหาการอุดตันหัวฉีด (Brennan, 2003)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเบื้องต้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

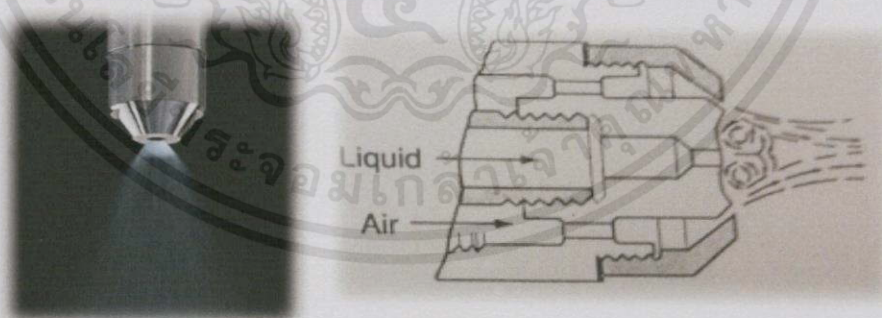
รูปที่ 2.2 Rotary Atomizer (Brennan, 2003; GEA, 2012)

2) Pressure Nozzles มีลักษณะเป็นหัวฉีดที่สเปรย์วัตถุผ่านออร์ฟิสภายใต้ความดันสูง ทำให้ของเหลวที่ออกจากหัวฉีดเป็นละอองฝอยโดยไม่ใช้อากาศ ซึ่งจำเป็นต้องมีปั๊มแรงดันสูง (High-Pressure Pump) ในการส่งผ่านอาหารเหลวมายังหัวฉีด ขนาดของอนุภาคที่สเปรย์ออกมามีขนาด 10-800 ไมโครเมตร ขนาดของอนุภาคจะแปรผันโดยตรงกับอัตราการไหล และความหนืดของของเหลว และเมื่อเพิ่มแรงดัน ขนาดของอนุภาคจะเล็กลง (Brennan, 2003)



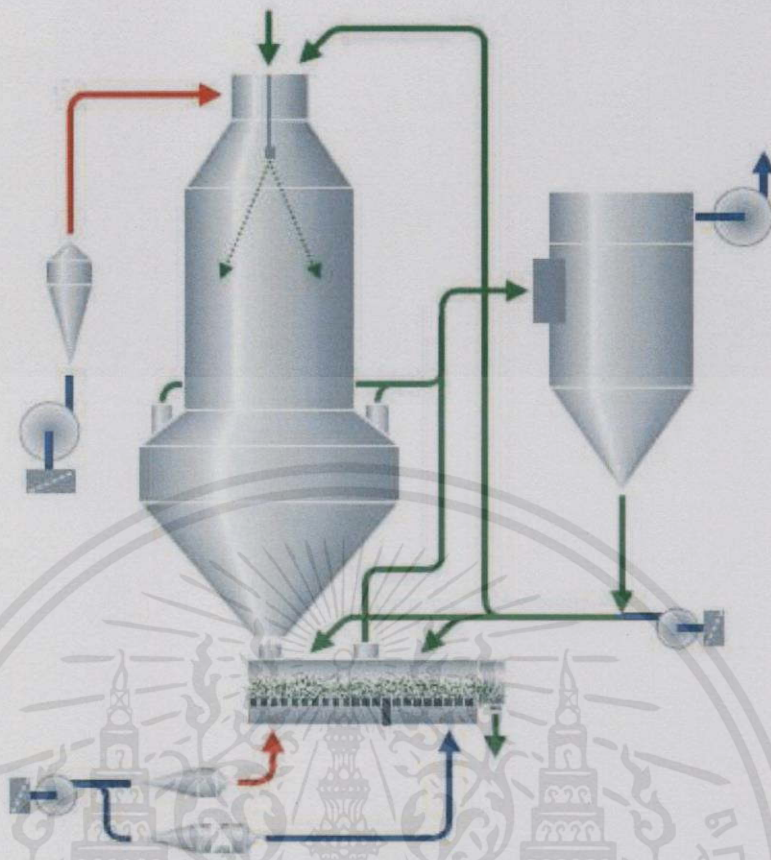
รูปที่ 2.3 Pressure Nozzles (Brennan, 2003; GEA, 2012)

3) Two-fluid Nozzle (Pneumatic Nozzle) มีลักษณะการสเปรย์วัตถุพร้อมกับอากาศให้ผ่านหัวฉีด ทำให้วัตถุเกิดการแตกตัวเป็นละอองฝอยเนื่องจากการไหลผ่านของอากาศด้วยความเร็วสูงภายในหัวฉีด การปรับอัตราการไหลของอากาศจะช่วยในการกระจายเป็นละอองของวัตถุ วิธีนี้นิยมใช้กับวัตถุดิบที่มีความหนืดสูงอย่างไรก็ตามวิธีนี้มีค่าดำเนินการที่สูงและให้ผลผลิตที่ต่ำ (Brennan, 2003)



รูปที่ 2.4 Two-fluid Nozzle (Brennan, 2003; GEA, 2012)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ตัวอย่าง Spray Drying system (GEA, 2012)

2. การสัมผัสของละอองฝอยกับอากาศ โดยพิจารณาตำแหน่งของ Atomizer กับอากาศ ร้อนเข้าโดยแบ่งได้ดังนี้

- การไหลผ่านทางเดียวกัน (Co-Current Flow)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้นำเอกสารนี้ไปเผยแพร่และตีพิมพ์ในสื่อใดๆทั้งสิ้น หากพบเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.6 การไหลผ่านทางเดียวกัน (GEA, 2012)

- การไหลผ่านสวนทางกัน (Counter-Current Flow)



รูปที่ 2.7 การไหลผ่านสวนทางกัน (GEA, 2012)

- การไหลผ่านแบบผสม (Mixed Flow)



รูปที่ 2.8 การไหลผ่านแบบผสม (GEA, 2012)

3. การระเหยของละอองฝอย

เมื่อละอองสัมผัสกับอากาศแห้งร้อน จะเกิดการระเหยชั้นไออิมตัวบริเวณผิวของละอองอย่างรวดเร็ว โดยจะมีอุณหภูมิที่ผิวละอองที่อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอุณหภูมิอากาศแห้งจะแพร่สู่ผิวหนังซึ่งอยู่ในสภาวะอิมตัว ช่วงนี้จึงเป็นช่วงที่อัตราการระเหยคงที่ จนกระทั่งความชื้นต่ำไม่มีการแพร่สู่

ผิวหน้าทำให้เกิดชั้นแห้งหนาขึ้นตามเวลา ช่วงนี้อัตราการระเหยจะลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ขั้นตอนการแยกผลิตภัณฑ์แห้งจากอากาศ

การแยกผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอากาศนั้น โดยทั่วไปนิยมใช้ Cyclone เป็นตัวเก็บผลิตภัณฑ์ที่ตกลงสู่ด้านล่างของ Cyclone ผ่านไปยังตัวเก็บขั้นตอนสุดท้ายทั้งนี้อาจเป็น Wet scrubber หรือ Bag filter ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณผงที่มีและประสิทธิภาพการนำกลับมา (Frederick, 2000; Masters, 1976)

นอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบอื่นๆ ที่สำคัญ เช่น ระบบกรองอากาศ (Air filter system) ระบบการทำลมร้อน (Hot air system) ระบบการแยกฝุ่น (Powder separation system) ระบบทำความสะอาด (CIP system) รวมถึงระบบที่ใช้โรการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (Powder) ที่ได้อื่นๆ อีก เช่น การทำให้เกาะกันเป็นก้อน (Agglomeration) ของผลิตภัณฑ์ (Brennan, 2003)

2.5.2 การปรับเปลี่ยนตัวแปรเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามต้องการ

- 1) ลักษณะของวัตถุดิบ
- 2) อัตราการไหลของวัตถุดิบ ซึ่งถ้าอัตราการไหลสูงขึ้นทำให้ได้ละอองที่หยาบขึ้น
- 3) อัตราการไหลของอากาศที่ลดลง ทำให้เวลาที่ละอองอยู่ห้องอบแห้งนานขึ้นส่งผลให้สัมผัสกับอากาศร้อนนานขึ้น จึงสามารถเอาความชื้นออกได้มากขึ้น

4) อุณหภูมิอากาศขาเข้า การเพิ่มอุณหภูมิขาเข้าทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการระเหย และทำให้ Bulk density ลดลง เนื่องจากการความพรุนและมีการแตกหักของผลิตภัณฑ์ หรืออุณหภูมิขาออก การปรับอัตราการไหลของวัตถุดิบมีผลต่ออุณหภูมิขาออก ถ้าอัตราการไหลของวัตถุดิบสูงขึ้นทำให้อุณหภูมิขาออกลดลง และส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นสูง อาจทำให้เกาะติดอยู่บริเวณผนังห้องอบแห้งได้ (Frederick, 2000; Masters, 1976)

2.6 กระบวนการห่อหุ้ม (Encapsulation)

ผลิตภัณฑ์สารให้กลิ่นรสที่ผลิตในระดับอุตสาหกรรมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. Liquid และ Dry blend flavor

Liquid blend flavor ประกอบไปด้วยสารให้กลิ่นรส (Aroma chemicals) ละลายอยู่ใน

ตัวกลางที่ทำหน้าที่เป็นตัวทำละลาย (Carrier solvent) เช่น น้ำมันพืช (Vegetable oil) Propylene glycol triacetin และ Ethanol ส่วนใหญ่จะใช้กับผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม อายุการเก็บของ Liquid blend flavor จะสั้นกว่าผลิตภัณฑ์สารให้กลิ่นรสในรูปแบบอื่น

Dry blend flavor ประกอบไปด้วยส่วนผสมของ Dry flavor ที่ได้จากเครื่องเทศ และ สมุนไพร ชุบก้อน (Bouillons)

2. Encapsulated flavor

เป็นสารให้กลิ่นรสที่ถูกเคลือบด้วยสารเคลือบโดยใช้เทคโนโลยีการเอนแคปซูลผลิตภัณฑ์ สารถูกกักเก็บที่ได้จะอยู่ในรูปไมโครแคปซูล (เบญจา ชูตินทราศรี, 2550)

เอนแคปซูลชัน (Encapsulation)

เทคนิคเอนแคปซูลชันเป็นกระบวนการในการกักเก็บสารประกอบต่างๆ ที่สลายตัวได้ง่าย ภายใบบนระบบ โดยสารประกอบที่ถูกกักเก็บส่วนใหญ่จะเป็นของเหลว แต่บางครั้งอาจเป็นอนุภาค ของแข็งหรือก๊าซ โดยจะเรียกชื่อแตกต่างกันไป เช่น Core material, Internal phase หรือ Active ซึ่งก็คือสารให้ความหวานในรูปผง วิตามิน แร่ธาตุ สารแอนติออกซิแดนท์ สี สารอาหารต่างๆ เป็นต้น ส่วนสารที่นำมาห่อหุ้มจะเรียกว่า Wall materials, Carrier, Membrane, Shell หรือ Coating ซึ่ง สารห่อหุ้มที่ดีควรห่อหุ้มสารถูกกักเก็บได้ง่าย ทำให้สารถูกกักเก็บกระจายตัวได้ดีและได้อิมัลชันที่มี ความคงตัว ไม่ทำปฏิกิริยากับสารถูกกักเก็บ สามารถห่อหุ้มและกักเก็บสารสำคัญไว้ได้ในระหว่าง กระบวนการผลิตและการเก็บรักษา สามารถละลายได้ในตัวทำละลายที่เป็นที่ยอมรับในอุตสาหกรรม อาหาร มีราคาไม่แพง และสามารถปลดปล่อยสารถูกกักเก็บได้อย่างสมบูรณ์ (เบญจา ชูตินทราศรี, 2550; โยชิตา โดเสาวลักษณ์, 2552)

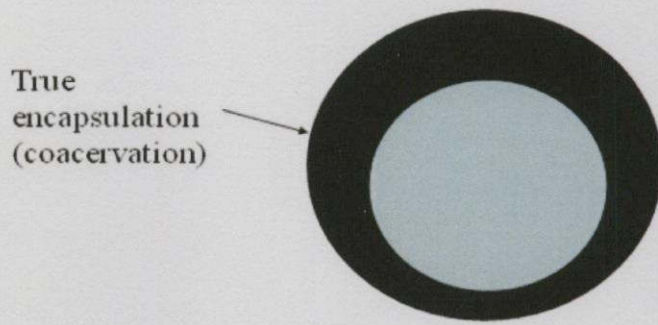


รูปที่ 2.9 โครงสร้างของไมโครแคปซูล (เบญจา ชูตินทราศรี, 2550)

2.6.1 ชนิดของไมโครแคปซูลที่ผลิตโดยใช้เทคนิคเอนแคปซูลชัน

1. Single core (True encapsulation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
เป็นรูปแบบของไมโครแคปซูลที่ได้จากการเอนแคปซูลชันโดยใช้เทคนิค Coacervation
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 ไมโครแคปซูลแบบ Single core (เบญจา ชูตินทราศรี, 2550)

2. Multi-core หรือ Matrix encapsulation

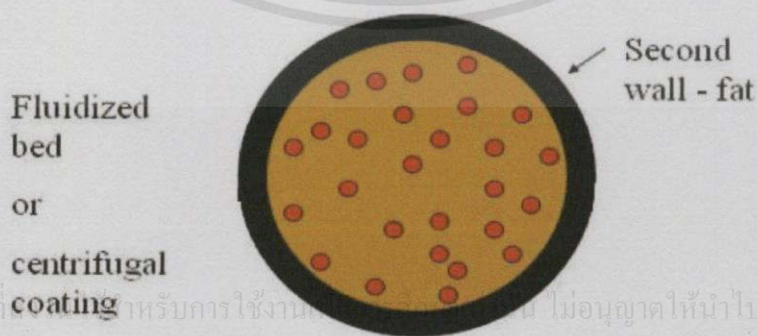
เป็นรูปแบบของไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นรสส่วนใหญ่ที่ผลิตในระดับอุตสาหกรรม โดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย สเปรย์ซิลลิง สเปรย์คูลลิง เอ็กซ์ทรูชันในการเอน แคปซูล



รูปที่ 2.11 ไมโครแคปซูลแบบ Multi-core หรือ matrix encapsulation (เบญจา ชูตินทราศรี, 2550)

3. Multi-wall หรือ Control release

เป็นรูปแบบของไมโครแคปซูลของสารที่ถูกกักเก็บที่มีการเคลือบผิวครั้งที่สองโดยใช้ เทคนิค Fluidized bed หรือ Centrifugal coating ทำให้สามารถควบคุมการปลดปล่อยสารที่ถูกกักเก็บในสภาวะที่ต้องการได้



รูปที่ 2.12 ไมโครแคปซูลแบบ Matrix encapsulation ที่มีการเคลือบผิว 2 ชั้น

(เบญจา ชูตินทราศรี, 2550)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานโดยไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังไม่มีให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 แอนแคปซูล์ในอุตสาหกรรมอาหาร

ในอุตสาหกรรมอาหารมักใช้เทคนิคแอนแคปซูล์เพื่อ

- 1) ป้องกันการสลายตัวของสารที่ถูกกักเก็บโดยลดการทำปฏิกิริยากับสิ่งแวดล้อมภายนอก เช่น ความร้อน แสง ความชื้นและอากาศ
- 2) ช่วยรักษากลิ่น
- 3) ป้องกันการเกิดออกซิเดชัน
- 4) ลดการระเหยหรืออัตราการถ่ายเทมวลของสารที่ถูกกักเก็บไปสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก
- 5) ช่วยเพิ่มอายุการเก็บรักษา
- 6) ควบคุมการปลดปล่อยของสารที่ถูกกักเก็บ

ส่วนผสมในอาหารที่ใช้เทคนิคแอนแคปซูล์ได้แก่ กรด ไขมัน เอนไซม์ จุลินทรีย์ สารทดแทนน้ำตาล วิตามิน เกลือแร่ สี และเกลือ (เบญจา ชูตินทราศรี, 2550; โยชิตา โทเสาวลักษณ์, 2552)

2.6.3 ปัจจัยที่มีผลต่อความเสถียรของสารที่ผ่านการแอนแคปซูล์

ปัจจัยที่มีผลต่อความเสถียรของสารที่ถูกกักเก็บที่ผ่านการแอนแคปซูล์

- 1) คุณสมบัติทางเคมีของสารที่ถูกกักเก็บได้แก่ โครงสร้างทางเคมี (Chemical structure), ความมีขั้ว (Polarity) และความสามารถในการระเหย (Volatility)
- 2) คุณสมบัติของสารเคลือบ
- 3) สภาพที่ใช้ในขั้นตอนการแอนแคปซูล์ สารเคลือบที่ใช้ในการแอนแคปซูล์สารที่ถูกกักเก็บจะต้องไม่ทำปฏิกิริยากับสารที่ถูกกักเก็บ มีความหนืดต่ำที่ระดับความเข้มข้นสูง, ปกป้องสารที่ถูกกักเก็บจากสภาวะแวดล้อม มีคุณสมบัติในการทำให้เกิดอิมัลชันที่มีความเสถียร และสามารถควบคุมการปลดปล่อยสารที่ถูกกักเก็บภายใต้สภาวะและช่วงเวลาที่ต้องการ

2.6.4 ชนิดของสารห่อหุ้มที่นิยมใช้ในการแอนแคปซูล์

สารห่อหุ้มที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมีหลายชนิดแต่จะเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในวิธีการแอนแคปซูล์ที่แตกต่างกัน

1. คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

คาร์โบไฮเดรต เป็นสารที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในเทคนิคการแอนแคปซูล์แบบพ่นฝอยเพื่อใช้เป็นสารห่อหุ้ม เช่นสตาร์ช (Starch), มอลโตเดกซ์ตริน (Maltodextrin), คอนไซร็อบ (Corn syrup solids) และกัมอคาเซีย (Acacia gum) สามารถจับกับสารให้กลิ่นรสได้อย่างสมบูรณ์ อีกทั้งยัง

มีความหลากหลาย ราคาต่ำ มีการกระจายตัวที่ดี สามารถใช้กับอาหารได้และเป็นตัวเลือกที่ดีสำหรับการเอนแคปซูลชัน นอกจากนี้คาร์โบไฮเดรตที่มีสมบัติเป็นสารที่มีความหนืดต่ำ มีปริมาณของแข็งสูง และสามารถละลายได้ดี ซึ่งเป็นสมบัติที่ต้องมีในสารเอนแคปซูลเลติงเอเจนต์ (Encapsulating agent) สตาร์ช และผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากสตาร์ช เช่น มอลโตเดกซ์ตริน และเบต้า-ไซโคลเดกซ์ตริน มักใช้ในการเอนแคปซูลชันสารประกอบที่ให้กลิ่นหอม ตัวอย่างของสารคาร์โบไฮเดรตที่ใช้ในเทคนิคเอนแคปซูลชันมีดังต่อไปนี้ (โยชิตา โดเสาวลักษณ์, 2552)

- สตาร์ช (Starch)

เป็นพอลิเมอร์จากธรรมชาติที่สามารถใช้ทดแทนสารเคลือบต่างๆทั้งจากธรรมชาติและสังเคราะห์ การที่แป้งสามารถเคลือบสารให้กลิ่นรสต่างๆได้ เนื่องจากส่วนที่เป็น Amylose helix เกิด Hydrophobic bond กับสารให้กลิ่นรสหรือเกิดพันธะ Hydrogen bond ระหว่าง Hydroxyl group ของแป้งกับสารประกอบให้กลิ่นรสต่างๆ การทำให้อนุภาคของสตาร์ชเกิดเป็นโครงสร้างที่มีรูพรุนมากขึ้นอาจทำได้โดยใช้เอมไซม์อะไมเลส ซึ่งรูพรุนที่เกิดขึ้นสามารถใช้ในการกักเก็บสารให้กลิ่นรสได้ (โยชิตา โดเสาวลักษณ์, 2552; อมรรัตน์ ตั้งสกุล, 2550)

- มอลโตเดกซ์ตริน (Maltodextrin)

มอลโตเดกซ์ตรินจัดเป็นสารห่อหุ้มชนิดหนึ่งที่ยิยมใช้ในเทคนิคเอนแคปซูลชัน โดยมอลโตเดกซ์ตรินเกิดจากการไฮโดรไลซิสแป้งข้าวโพดบางส่วนด้วยกรดหรือเอนไซม์ โดยดูได้จากค่า Dextrose equivalents (DEs) ค่า DE วัดได้จากระดับการไฮโดรไลซิสพอลิเมอร์ของแป้ง (Degree of starch polymer hydrolysis) มอลโตเดกซ์ตรินที่มีค่า DE แตกต่างกันจะมีสมบัติทางเคมีกายภาพแตกต่างกัน เช่นความสามารถในการละลาย อุณหภูมิเยือกแข็ง ความหนืด เป็นต้น อย่างไรก็ตามมอลโตเดกซ์ตรินที่มีค่า DE เหมือนกัน อาจจะมีสมบัติต่างกันได้ขึ้นอยู่กับวิธีการไฮโดรไลซิสแหล่งของสตาร์ช (แป้งข้าวโพด มันฝรั่ง ข้าว) และอัตราส่วนของอะไมเลสต่ออะไมโลเพกติน มอลโตเดกซ์ตรินที่มีค่า DE สูงจะมีค่า Tg ต่ำกว่าและมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 อุณหภูมิกลาสทรานซิชันของมอลโตเดกซ์ตรินที่มี DE ต่างกัน

a_w	DE5		DE10		DE15		DE20		DE25		DE36	
	X_{wo}	T_{go} (°C)	X_{wo}	T_{go} (°C)	X_{wo}	T_{go} (°C)	X_{wo}	T_{go} (°C)	X_{wo}	T_{go} (°C)	X_{wo}	T_{go} (°C)
0.00	0.000	188	0.000	160	0.000	-	0.000	141	0.000	121	0.000	100
0.11	0.019	135	0.020	103	0.022	99	0.024	86	0.021	83	0.017	67
0.23	0.038	102	0.047	84	0.046	83	0.052	73	0.044	60	0.038	45
0.33	0.043	90	0.051	66	0.057	65	0.054	42	0.049	36	0.049	31
0.43	0.059	87	0.065	60	0.066	57	0.058	40	0.059	34	0.054	27
0.52	0.082	58	0.076	38	0.074	40	0.084	37	0.081	29	0.098	6
0.75	0.096	44	0.095	30	0.102	8	0.139	-9	0.148	-18	0.170	-35
0.85	0.150	23	0.158	-6	0.166	-15	0.208	-32	0.215	-39	0.238	-52

ที่มา: โยชิตา โตเสาวลักษณ์ (2552)

มอลโตเดกซ์ตรินเป็นสารที่ได้รับการยอมรับที่ดีทั้งทางด้านราคา และประสิทธิภาพเนื่องจากไม่มีรสชาติ มีความหนืดต่ำ มักใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวและเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ สามารถละลายในน้ำเย็นได้ดี อีกทั้งยังทำหน้าที่เป็นสารป้องกันการเกาะติดและสามารถปลดปล่อยสารให้รสชาติได้เร็ว โดยมีรายงานการวิจัยแสดงให้เห็นว่ามอลโตเดกซ์ตรินที่มีค่า DE10 จะมีความสามารถในการเก็บรักษาที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับค่า DE อื่นๆ (โยชิตา โตเสาวลักษณ์, 2552)

- กัม (Gum)

Gum arabic เป็นกัมที่ถูกนำมาใช้ในรูปของสารเคลือบเนื่องจากสามารถละลายได้ดี มีความหนืดต่ำ มีคุณสมบัติในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์และสามารถกักเก็บสารให้กลิ่นรสได้ดี ไมโครแคปซูลที่ได้จากการเอนแคปซูลสารถูกกักเก็บโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray-dried particles) โดยใช้ส่วนผสมของมอลโตเดกซ์ตรินและ Gum arabic เป็นสารเคลือบจะมีขนาดตั้งแต่ 10-200 ไมครอนและสามารถกักเก็บสารได้ > 80% ขึ้นอยู่กับตัวแปรที่ใช้ระหว่างกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย ได้แก่อุณหภูมิอากาศร้อน ความเข้มข้นของอิมัลชัน ความหนืดและสัดส่วน ของ Gum arabic และมอลโตเดกซ์ตริน (เบญจา ชุตินทราศรี, 2550)

2. โปรตีน (Protein)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

โปรตีนมีคุณสมบัติที่ดีเช่น การละลาย ความหนืด ความเป็นอิมัลชัน (Emulsion) และใช้คุณสมบัติในการก่อฟิล์ม สามารถนำมาใช้ในเทคนิคเอนแคปซูลชันได้ แต่โดยส่วนใหญ่แล้วยังไม่นิยม

ใช้โปรตีนในเทคนิคเอนแคปซูลชันมากขึ้นนักเพราะความแตกต่างของกลุ่มเคมี (Chemical group) และ ความมีขั้วของโมเลกุล (Amphiphilic properties) ความสามารถในการเชื่อมโยงและการ เกิดปฏิกิริยากับสารอื่นๆ

- เวย์โปรตีน (Whey protein)

เวย์โปรตีนสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นสารห่อหุ้มได้ เป็นตัวขัดขวางการเกิดออกซิเดชันของ ไมโครแคปซูลน้ำมันจากส้มโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย เวย์โปรตีนกับคาร์โบไฮเดรต สามารถใช้เป็นสารเคลือบในการเอนแคปซูลชันสารถูกกักเก็บ ซึ่งเวย์โปรตีนจะทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์และทำให้เกิดฟิล์มในขณะที่คาร์โบไฮเดรต (มอลโตเดกซ์ตริน หรือ Corn syrup solids) จะทำหน้าที่เป็นสารที่ทำให้เกิดเมทริกซ์ (โยชิตา โทเสาวลักษณ์, 2552)

- โปรตีนชนิดอื่นๆ

โปรตีนอื่นๆ เช่น เจลาตินซึ่งได้จากการไฮโดรไลซิสคอลลาเจน โดยเจลาตินเป็นวัสดุที่สามารถละลายน้ำได้ ไม่เป็นพิษ ราคาไม่แพงและสามารถหาได้ง่าย สามารถก่อฟิล์มได้ดี เจลาตินมีคุณลักษณะทางเคมีและเคมีกายภาพที่เหมาะสมในการเอนแคปซูลชันและมีความสามารถในการก่อฟิล์ม มักนิยมใช้เจลาตินในการเอนแคปซูลชันแบบ Coacervation และเทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย เนื่องจากสามารถละลายน้ำได้ดีและมีคุณสมบัติในการเคลือบผิว ไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นรสที่ได้โดยใช้เจลาตินเป็นสารเคลือบสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรส (เบญจา ชูตินทราศรี, 2550; โยชิตา โทเสาวลักษณ์, 2552)

ตารางที่ 2.3 คุณลักษณะเฉพาะของสารเคลือบแต่ละชนิดที่ใช้ในการเอนแคปซูลชันสารถูกกักเก็บ

ชนิดของสารเคลือบ	คุณลักษณะเฉพาะ
Maltodextrin (DE<20)	Film forming
Corn syrup solid (DE>20)	Film forming
Modified starch	Very good emulsifier
Gum Arabic	Emulsifier, film forming
Modified cellulose	Film forming
Gelatin	Emulsifier, film forming
Cyclodextrin	Encapsulant, emulsifier
Hydrogenated fat	Barrier to oxygen and water

ที่มา: เบญจา ชูตินทราศรี (2550)

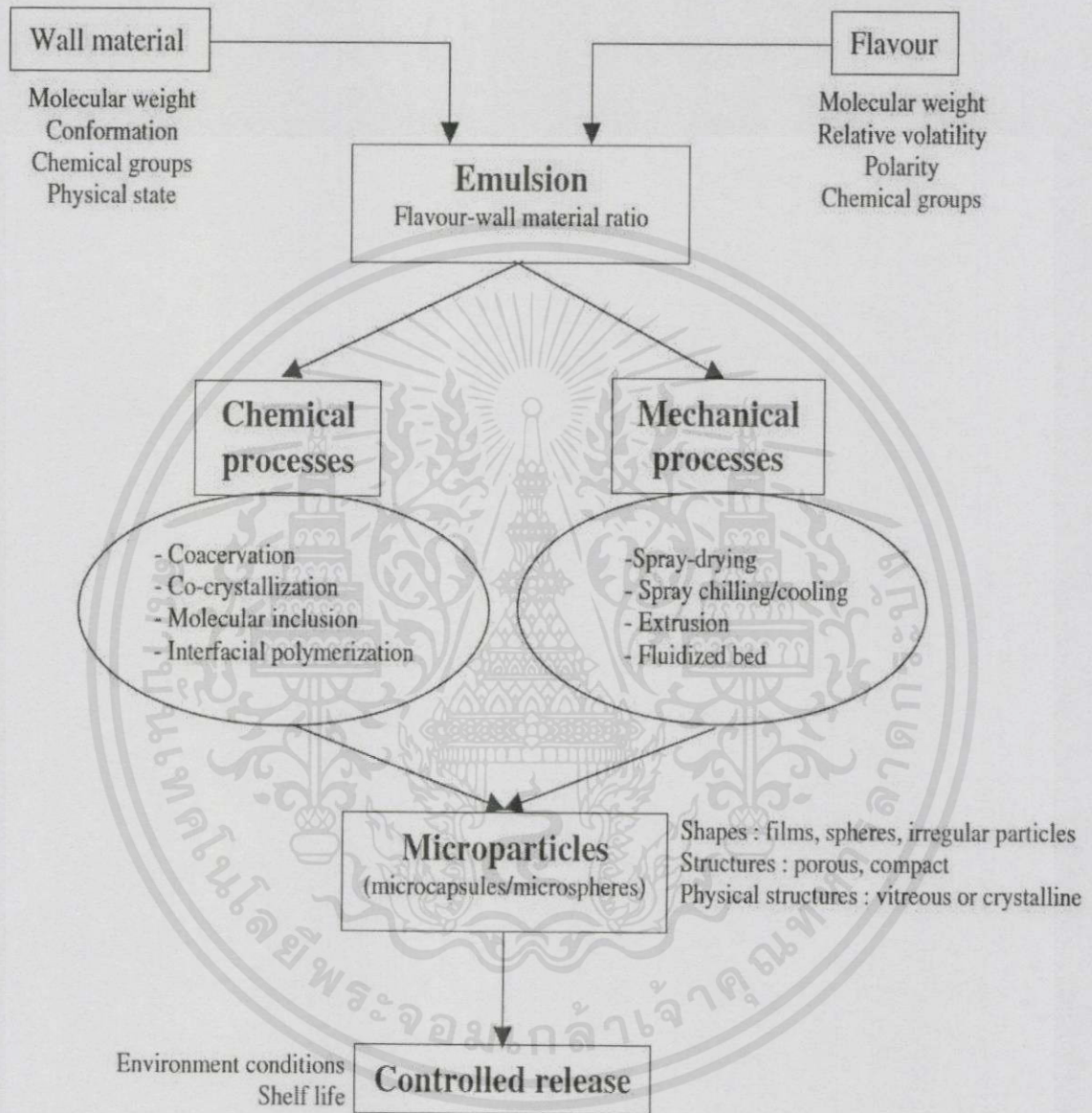
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน **Lecithin** การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น **Emulsifier** นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้ง **Whey protein** ลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึง **Good emulsifier** ครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.5 เทคนิคที่ใช้ในการเอนแคปซูเลชัน (Encapsulation techniques)

เทคนิคเอนแคปซูเลชันเพื่อเคลือบกลั่น สารเติมแต่งกลิ่นรส และสารอาหารต่างๆ ที่นิยมใช้ในกระบวนการผลิตอาหารหรือยาเพื่อให้ติดทนนาน (อมรรัตน์ ตั้งสกุล, 2550) สามารถทำได้หลายวิธี วิธีการที่ใช้อย่างแพร่หลายในระดับอุตสาหกรรม ได้แก่ การทำแห้งแบบพ่นฝอย (เบญจา ชูตินทราศรี, 2550) นอกจากนี้ยังสามารถใช้เทคนิคอื่นๆ เช่น Coacervation Molecular inclusion Spray-drying Extrusion Absorption Adsorption และ Freeze drying เทคนิคเอนแคปซูเลชันเหล่านี้ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นการผสมให้เกิดอิมัลชันของสารที่ถูกกักเก็บ เช่นการกักเก็บน้ำมันหอมระเหยด้วยสารละลายของสารห่อหุ้มจำพวกคาร์โบไฮเดรตหรือโปรตีนในการเอนแคปซูเลชัน ขั้นตอนที่ 2 เป็นการทำให้อิมัลชันแห้งหรือเย็น (โยชิตา โตเสาวลักษณ์, 2552) เทคนิคการเอนแคปซูเลชันที่เลือกใช้จะมีอิทธิพลต่อการแพร่กระจายของสารที่ถูกกักเก็บและความเสถียรของสารที่ถูกกักเก็บในผลิตภัณฑ์อาหารระหว่างการเก็บรักษา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 เทคนิคที่ใช้ในการเอนแคปซูเลชัน (Madene et al., 2005)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 เทคนิคที่ใช้ในการเอนแคปซูลชัน

	Encapsulation Methods	Particle size(μm)	Max load (%)	Reference
	Simple coacervation	20-200	<60	Richard & Benoit, 2000
Chemical techniques	Complex coacervation	5-200	70-90	Richard & Benoit, 2000
	Molecular inclusion	5-50	5-10	Uhlemann et al., 2002
	Spray-drying	1-50	<40	Richard & Benoit, 2000
Mechanical techniques	Spray chilling	20-200	5-20	Uhlemann et al., 2002
	Extrusion	200-2000	6-20	Uhlemann et al., 2002
	Fluidised bed	>100	60-90	Richard & Benoit, 2000

ที่มา: เบญจา ชุตินทราศรี (2550)

เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying technique)

เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นวิธีการที่ใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากเครื่องมือหาได้ง่าย และต้นทุนการผลิตโดยวิธีการนี้จะต่ำกว่าวิธีอื่นๆ ในการกักเก็บสารให้กลิ่นรสและสารที่ระเหยได้ ขั้นตอนการเอนแคปซูลชันโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอยประกอบไปด้วย การนำตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบ (Carrier หรือ Wall material) เช่น มอลโตเดกซ์ตริน (Maltodextrin) สตาร์ชดัดแปร (Modified starch) กัม หรือส่วนผสมของสารเหล่านี้มาละลายน้ำ จากนั้นนำสารให้กลิ่นรสที่ต้องการนำมาเอนแคปซูลชันมาผสมกับสารละลายของตัวกลางที่ใช้ในการ

เคลือบ (Carrier solution) โดยทั่วไปอัตราส่วนของสารเคลือบและสารแกนกลางจะอยู่ในช่วง 4:1 นำส่วนผสมที่ได้ไปผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ (Homogenize) เพื่อให้เกิดหยดของสารให้กลิ่นรส ไม่ว่าจะวิธีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเม็ดแข็งปนเข้ามา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ (เบญจา ชุตินทราศรี, 2550)

ข้อดีของกระบวนการคือสามารถติดตามและควบคุมกระบวนการผลิตได้ อีกทั้งยังเป็นกระบวนการการผลิตที่มีราคาถูก สามารถเลือกใช้สารหล่อหุ้มได้หลายชนิด สามารถกักเก็บสารให้กลิ่นรส (สารแกนกลาง) ได้ดี ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีความคงตัวที่ดีและสามารถผลิตได้อย่างต่อเนื่องในระดับการผลิตขนาดใหญ่

ข้อด้อยของกระบวนการคือ การใช้ความร้อนทำให้สารให้กลิ่นที่มีจุดเดือดต่ำที่ต้องการกักเก็บเกิดการสูญเสียในระหว่างการทำแห้งและบางครั้งสารให้กลิ่นรสที่ต้องการกักเก็บอาจจะไปอยู่บนพื้นผิวของแคปซูล ซึ่งอาจทำให้เกิดการออกซิเดชันส่งผลทำให้สารให้กลิ่นรสเกิดการเปลี่ยนแปลง (โยชิตา โทเสาวลักษณ์, 2552) และการเอนแคปซูลেশันโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอยจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นผงที่ละเอียดมาก มีขนาดไม่สม่ำเสมอ ไม่สามารถควบคุมได้ โดยทั่วไปขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคอยู่ในช่วง 10-100 ไมครอน ซึ่งอาจจะต้องนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปผ่านกระบวนการ Agglomeration โดยใช้ Fluidized bed process เพื่อให้อนุภาคที่ผ่านการเอนแคปซูลেশันสามารถละลายได้ทันทีหรือละลายได้ง่ายขึ้นเมื่อนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารที่อยู่ในรูปของเหลว นอกจากนี้แล้ววิธีนี้ไม่สามารถสร้างชั้น (Layer) ของสารที่ถูกเคลือบได้หลายชั้น (เบญจาชูตินทราศรี, 2550; อมรรัตน์ ตั้งสกุล, 2550)

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อโครงสร้างของไมโครแคปซูลที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอย ได้แก่

- องค์ประกอบและคุณสมบัติของสารเคลือบ เช่น คุณสมบัติในการทำให้เกิดอิมัลชันที่เสถียร ความสามารถในการทำให้เกิดฟิล์มเคลือบที่ผิวของสารแกนกลาง และมีความหนืดต่ำที่ความเข้มข้นสูง
- อัตราส่วนของสารให้กลิ่นรส และสารเคลือบ
- วิธีการพ่นฝอย และ ตัวแปรในกระบวนการอบแห้ง
- การหุดตัวอย่างไม่สม่ำเสมอในระหว่างขั้นตอนเริ่มต้นของการอบแห้ง
- สภาวะในการเก็บรักษา

2.6.6 การควบคุมการปลดปล่อยของสารสำคัญในแคปซูล

การควบคุมการปลดปล่อยโดยตัวทำละลาย (Solvent-activated release)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.) กระทรวงสาธารณสุข
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.) กระทรวงสาธารณสุข
 ไม่ว่ากล่าวถึงลิขสิทธิ์ของเอกสารนี้
 อาหาร โดยสารที่ถูกกักเก็บจะต้องเป็นสารที่สามารถละลายได้ในน้ำ ซึ่งจะใช้กับผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มในรูปผง การปลดปล่อยโดยวิธีนี้จะเกิดโดยสมบูรณ์เมื่อนำไมโครแคปซูลมาละลายในน้ำอย่างรวดเร็ว น้ำ

ในอาหารจะละลายไมโครแคปซูลและปลดปล่อยสารที่กักเก็บไว้สู่อาหาร หรือน้ำจะทำให้ไมโครแคปซูลเกิดการพองตัวและเริ่มปลดปล่อยสารที่กักเก็บไว้ภายใน อย่างไรก็ตามสารห่อหุ้มที่ไม่สามารถละลายน้ำได้สามารถทำให้เกิดการละลายได้โดยการเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสม (เบญจา ชูตินทราศรี, 2550; โยชิตา โตเสาวลักษณ์, 2552)

2.7 เครื่องมือต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 เครื่อง UV-VIS Spectrophotometer

หลักสำคัญคือสารที่ต้องการหาปริมาณด้วยเครื่อง UV-VIS Spectrometer จะต้องมีสีหรือสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นแล้วทำให้เกิดสารที่มีสี เทคนิคทางยูวี-วิซิเบิลสเปกโทรสโกปีเป็นเทคนิคการตรวจวัดความเข้มแสงที่ผ่าน หรือสะท้อนจากตัวอย่างเปรียบเทียบกับความเข้มแสงจากแหล่งกำเนิด

แสง UV-Visible จัดอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 200-800 นาโนเมตร โดยที่แสง หรือ Radiation เมื่อส่องผ่านสารที่สามารถดูดกลืนแสงได้ แสงจะถูกดูดกลืน เรียกว่า ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) นอกจากนี้การพิจารณาสีของสารละลายที่จะทำการวัด จะทำให้ทราบคร่าวๆ ว่าควรใช้แสงความยาวคลื่นใดในการวัด ตามเกณฑ์ดังนี้

ตารางที่ 2.5 ช่วงความยาวคลื่นแสงที่มีความสัมพันธ์ต่อสีของตัวกรอง และสารละลาย

ความยาวคลื่นแสงที่ดูดกลืน (นาโนเมตร)	สีของตัวกรองแสง	สีของสารละลาย
380-435	ม่วง	เขียวเหลือง
435-480	น้ำเงิน	เหลือง
480-490	น้ำเงินเขียว	ส้ม
490-500	เขียวน้ำเงิน	แดง
500-560	เขียว	ม่วง
560-580	เขียวเหลือง	ม่วง
580-595	เหลือง	น้ำเงิน
595-650	ส้ม	เขียวน้ำเงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 650-780 สำหรับการใช้งานเพื่อการสีแดงเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ นำเงินเขียว โยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ชูชาติ อารีจิตรานุสรณ์ (2544) เนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่อง UV-VIS Spectrophotometer ทุกชนิดประกอบด้วยองค์ประกอบด้วยองค์ประกอบหลักดังนี้

1) แหล่งกำเนิดแสง แหล่งกำเนิดแสงจะต้องใช้แสงที่คงที่อย่างต่อเนื่อง ตัวที่นิยมใช้ คือ หลอดทังสเตน-ฮาโลเจน ซึ่งให้แสงที่มีความยาวคลื่นในช่วง 320-2500 นาโนเมตร สำหรับแหล่งกำเนิดแสงในช่วงรังสียูวีนั้นจะใช้หลอดไฮโดรเจนหรือหลอดดิวทีเรียม ซึ่งให้แสงในช่วงความยาวคลื่น 160-375 นาโนเมตร

2) ตัวแยกแสง (Monochromator) เป็นอุปกรณ์ที่มีหน้าที่แยกแสงหลายสี หรือหลายความยาวคลื่น ให้กลายเป็นแสงสีเดียวที่มีความยาวคลื่นแสงช่วงแคบๆ ซึ่งมีความสำคัญมาก เนื่องจากช่วยเพิ่มความไวในการวัด เพราะสามารถใช้แสงสีเดียวที่มีความยาวคลื่นตรงกับ ความยาวคลื่นที่สารนั้นๆ มีการดูดกลืนแสงสูงสุด (Maximum absorption)

3) คิวเวทท์ (Cuvette หรือ Cell) เป็นภาชนะสำหรับใส่ของเหลวที่จะนำไปวัดความเข้มของแสง มีหลายแบบ หลายขนาด เพื่อให้เหมาะสมกับงานแต่ละประเภทแต่โดยส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า คิวเวทท์ที่มีคุณภาพสูงที่สุดนั้นทำมาจากควอตซ์ (Quartz) สำหรับคิวเวทท์ที่ทำจากแก้วหรือพลาสติกจะสามารถใช้ได้เฉพาะในช่วงแสงขาวเท่านั้น เพราะแก้วและพลาสติกดูดกลืนแสงในช่วงรังสียูวี ดังนั้นแสงที่ไม่ถูกดูดกลืนจะเดินทางผ่านตัวอย่างมาจนถึงเครื่องตรวจวัด

4) ช่องใส่คิวเวทท์ ช่องใส่คิวเวทท์ที่ดีควรสามารถจับยึดให้คิวเวทท์อยู่ในตำแหน่งเดิมได้ตลอดเวลาที่ทำการวัด มีการสะท้อนแสงน้อย มักเป็นสีดำ มีฝาครอบ หรือเลื่อนปิดได้อย่างมิดชิด เพื่อไม่ให้แสงจากภายนอกตกเข้าไปยัง Detector

5) ตัวไวแสง (Detector) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนความเข้มของแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า แล้วจึงส่งต่อไปยังภาคขยายสัญญาณ และวงจรอิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ เพื่อให้สามารถแสดงค่าออกมาในรูปค่าการดูดกลืนแสงหรือแสงส่องผ่าน (พรรณทิพย์ ตั้งปริยารักษ์, 2549)



รูปที่ 2.14 เครื่อง UV-VIS Spectrophotometer

2.7.2 Refractometer

รีแฟลคโตมิเตอร์ หมายถึง อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดการหักเหของแสง เมื่อแสงเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางหนึ่งสู่อีกตัวกลางหนึ่ง โดยการเคลื่อนที่ดังกล่าวทำให้เกิดความต่างของตัวแปรที่มีผล เช่น มุมความเร็ว หรือดัชนีหักเหของแสงของตัวกลาง เป็นต้น

เมื่อนำหลอดฯหนึ่งจุ่มลงในแก้วน้ำที่มีน้ำอยู่ จะสังเกตเห็นการโค้งงอของหลอด และถ้าน้ำที่มีอยู่ในแก้วมีน้ำตาลละลายอยู่ หลอดก็จะโค้งมากขึ้น ปรากฏการณ์นี้เรียกว่าการหักเหของแสง (Refraction) รีแฟลคโตมิเตอร์ คืออุปกรณ์ที่ใช้วัดปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากการหักเหของแสงนี้ โดยหลักการทำงานของรีแฟลคโตมิเตอร์จะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของสาร (เช่น สารละลายของน้ำตาลในน้ำ) และจะเพิ่มขึ้นอย่างเป็นสัดส่วนกับความหนาแน่น

หลักการของรีแฟลคโตมิเตอร์

การตรวจสอบค่าดัชนีของแสง (Refractive index) สามารถทำได้ 2 ระบบคือ ระบบการส่องผ่านของแสง (Transparent refractometer) และระบบการสะท้อนของแสง (Refraction refractometer) โดยรีแฟลคโตมิเตอร์ที่ใช้ระบบการส่องผ่านคือ แอนด์เฮลด์รีแฟลคโตมิเตอร์ และอะเบรีแฟลคโตมิเตอร์ ส่วนรีแฟลคโตมิเตอร์ที่ใช้ระบบของการสะท้อนของแสงคือ ดิจิตอลรีแฟลคโตมิเตอร์ (ชนรัตน์ หมี่น้ำเงิน และ ชاکริต อนุสนธิ์ดิษฐ์, 2548)



รูปที่ 2.15 ดิจิตอลรีแฟลคโตมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3 เครื่องวัดสี (Colorimeter)

เครื่องวัดสี (Colorimeter) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าสี ที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ออกมาเป็นตัวแปรต่างๆ ของระบบการวัดค่าสี โดยวัดปริมาณแสงที่สะท้อนกลับมาจากการกระทบบนพื้นผิวตัวอย่างจากแหล่งกำเนิดแสงของเครื่องวัดค่าสี ซึ่งค่าที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องวัดสี จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงลักษณะของแต่ละหน่วย โดยหน่วยที่ใช้ นั้นจะขึ้นอยู่กับความต้องการของการนำไปใช้ประโยชน์ของผู้ใช้งาน

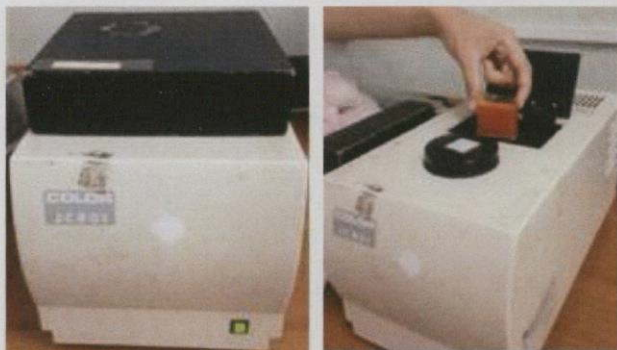
ระบบการวัดค่าสีที่ใช้ในปัจจุบันได้รับการพัฒนามาจากระบบเริ่มแรก คือ RGB เป็นระบบที่ประกอบด้วยสีพื้นฐาน 3 สี คือสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน เป็นแม่แบบ เมื่อนำสีทั้ง 3 สีนี้มาผสมกันจะได้สีดำ ซึ่งหลักการนี้จะใช้กับจอคอมพิวเตอร์หรือโทรทัศน์ ระบบต่อมาที่ได้รับการพัฒนาขึ้น คือ CMYK ประกอบด้วยสีพื้นฐาน 3 สีนี้มาผสมกันจะได้สีขาว จากทั้ง 2 ระบบที่ผ่านมายังขาดความสมบูรณ์ของการอ่านค่าสีในส่วน of สีขาว และสีดำ จึงมีการพัฒนาอีกระบบขึ้นมา คือ HVS model ซึ่งเป็นระบบที่นำตัวแปรค่าสีในด้านของค่าสีดำและค่าสีขาวเข้ามาเป็นตัวแปรหลักนอกจากค่าสีปกติ และสุดท้ายระบบ CIE L*a*b ซึ่งเป็นระบบที่มีความสมบูรณ์ที่สุด ที่สามารถนำมาใช้อธิบายลักษณะของสีอันหลากหลายที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตามนุษย์ได้ดีที่สุด ซึ่งเป็นระบบที่นำไปใช้กับอุปกรณ์ทั่วไป เช่น คอมพิวเตอร์ และ ปริ้นเตอร์

หลักการของเครื่องวัดสี

จากระบบการอ่านค่าสีดังกล่าวข้างต้น จึงมีการพัฒนาเครื่องวัดค่าสี (Colorimeter) ขึ้น เพื่อใช้ในการวัดค่าสีที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าออกมเป็นตัวแปรต่างๆ ของระบบการวัดค่าสีโดยมีหลักการคือ การวัดปริมาณแสงจากแหล่งกำเนิดแสงของเครื่องวัดค่าสีที่ตกกระทบและสะท้อนกลับมาจากพื้นผิวตัวอย่าง ดังนั้นระนาบของตัวอย่างที่แสงตกกระทบควรมีความสม่ำเสมอมากที่สุด ไม่มีการลาดเอียงเพื่อให้มุมการสะท้อนของแสงไม่เบี่ยงเบน หากตัวอย่างเป็นของแข็งควรทำการบดละเอียดก่อน เพื่อให้มีความสม่ำเสมอของผิวหน้า แต่ทั้งนี้ไม่ควรให้สีของตัวอย่างเกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ส่วนตัวอย่างที่มีโทนสีแตกต่างกันอย่างมาก ในการวัดค่าสีควรจะทำการแยกตัวอย่างออกเป็นแต่ละสี

สิ่งสำคัญที่สุดเมื่อทำการวัด คือ ควรป้องกันแสงรบกวนจากภายนอก โดยใช้อุปกรณ์เฉพาะสำหรับตัวอย่างแต่ละชนิด เช่น ในกรณีที่ตัวอย่างเป็นของแข็งควรใช้ถ้วยตัวอย่าง หรือกรณีที่เป็นของเหลวควรใช้คิวเวทท์ (Cuvett) กับแท่นสีดำที่เป็นอุปกรณ์เสริมของเครื่องวัดค่าสี (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า 2542; ณรงค์พันธุ์ รัตนปณิตดา, 2550)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 เครื่องวัดสี

2.7.4 เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH Meter)

การวัด pH คือ การวัดสภาพความเป็นกรด หรือเป็นด่างของสารละลาย โดยใช้หลักการ Electrochemistry โดยวัดความต่างศักย์ (Electrical potential) ที่เกิดขึ้นระหว่างอิเล็กโทรดอ้างอิง (Reference Electrode) กับอิเล็กโทรดตรวจวัด (Measuring Electrode) ความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นจากจำนวนของไฮโดรเจนไอออน (H^+) แล้วความต่างศักย์ที่เกิดจากไอออน (Ionic Potential) จะถูกเปลี่ยนให้เป็นความต่างศักย์ทางไฟฟ้า (Electronic Potential) แล้วขยายความต่างศักย์ปรากฏเป็นค่าพีเอชของสารละลายด้วยเครื่อง pH Meter (Potentiometer)

ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน ที่ทำให้เครื่องสามารถทำงานได้ครบวงจร คือ อิเล็กโทรด และตัวเครื่อง

1. อิเล็กโทรด ทำหน้าที่ตรวจรับ ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในสารละลายที่ pH 7 (Standard pH Buffer) ความต่างศักย์ระหว่างอิเล็กโทรดอ้างอิงกับอิเล็กโทรดตรวจวัดจะมีค่าความต่างศักย์เท่ากับศูนย์มิลลิโวลต์ (0 mV) ถ้าความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนเพิ่มขึ้นหรือลดลงความต่างศักย์ก็จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในสารละลายนั้นโดยมีอิเล็กโทรดเป็นตัวทำหน้าที่รับสัญญาณ

อิเล็กโทรดตรวจวัดทำด้วยแก้วชนิดพิเศษที่ยอมให้เฉพาะไฮโดรเจนไอออน (H^+) ผ่านส่วนใหญ่ออกแบบเป็นรูปกระเปาะภายในบรรจุ Buffer

อิเล็กโทรดอ้างอิงทำหน้าที่ให้ศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ขั้วตรวจวัดเดินครบวงจร โดย โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) ชนิดอิ่มตัวที่อยู่ในอิเล็กโทรดอ้างอิงซึมผ่านออกมาเป็นสะพานไอออน (Salt Bridge)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 เชื่อมอิเล็กโทรดตรวจวัด
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

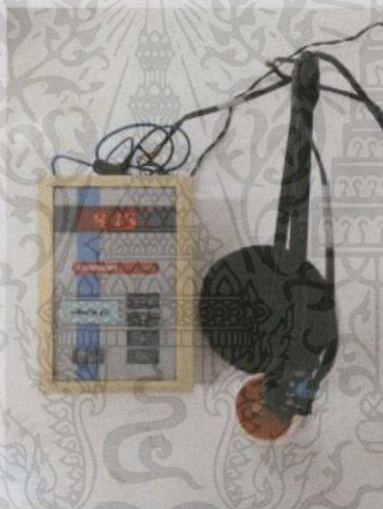
ปัจจุบันอิเล็กโทรดส่วนใหญ่เป็น อิเล็กโทรดรวม (Combination pH Electrode) ซึ่ง ออกแบบไว้ให้สะดวกในการใช้งาน โดยรวมส่วนของอิเล็กโทรดอ้างอิงและอิเล็กโทรดตรวจวัดมาอยู่ด้วยกัน

2. ตัวเครื่อง pH Meter คือ Potentiometer หรือ Volt Meter ทำหน้าที่สำคัญ 3 ประการ คือ

2.1 ปรับความต่างศักย์ให้กับอิเล็กโทรดอ้างอิง ให้มีค่าความต่างศักย์เป็นศูนย์และคงที่

2.2 แปลงสัญญาณจากความต่างศักย์ของไอออนของอิเล็กโทรดให้เป็นความต่างศักย์ทางไฟฟ้า

2.3 ขยายสัญญาณค่าความต่างศักย์ทางไฟฟ้า ให้เพิ่มมากขึ้นอย่างเพียงพอให้แสดงผลที่มิเตอร์แบบเข็ม หรือตัวเลข (ชูชาติ อารีจิตรานุสรณ์, 2544)



รูปที่ 2.17 เครื่องวัดความเป็นกรด - ด่าง (pH meter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สโรบล และ ชัยรัตน์ (2554) ศึกษาการทำแห้งน้ำสับปรดด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยศึกษาผลของอุณหภูมิลมร้อนและปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน (DE10) ซึ่งใช้เป็นสารช่วยทำแห้ง ต่อคุณภาพของสับปรดผงและน้ำสับปรดคั้นรูป พบว่าเมื่ออุณหภูมิลมร้อนเพิ่มขึ้น แม้จะช่วยทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลง แต่กลับส่งผลให้ร้อยละของปริมาณผลผลิตที่ได้มีค่าลดลง ในขณะที่การเพิ่มปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน ช่วยเพิ่มร้อยละของปริมาณผลผลิตที่ได้ และลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ แต่อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิลมร้อนที่สูง (170 องศาเซลเซียส) และปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินที่มากเกินไป จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นต่ำ แต่ก็ทำให้ได้ปริมาณผลผลิตต่ำ น้ำสับปรดคั้นรูปมีการเปลี่ยนแปลงของสีมาก และปริมาณสารฟีนอลิกถูกทำลายถึงร้อยละ 54 หากพิจารณาคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยรวม โดยใช้ร้อยละของปริมาณผลผลิตที่ได้ และปริมาณของสารฟีนอลิกเป็นเกณฑ์ อุณหภูมิลมร้อนที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 130-150 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินร้อยละ 37-40 มาตรฐานแห้ง ซึ่งจะให้ปริมาณผลิตภัณฑ์มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 34-46 ปริมาณของสารฟีนอลิกทั้งหมด 205-225 มิลลิกรัม./กรัม gallic acid และปริมาณความชื้นร้อยละ 2.87-3.64

Fang and Bhandari (2011) ศึกษาการทำแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับกระบวนการห่อหุ้ม (Encapsulation) สารต้านอนุมูลอิสระโพลีฟีนอล และแอนโทไซยานิน ในผลเบย์เบอร์รี่ (Bayberry) โดยทำการศึกษาปริมาณและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการทำแห้ง ซึ่งมีสภาวะในการทำแห้งคือ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิขาออก 80 องศาเซลเซียส ทำการเตรียมวัตถุดิบโดยผสมน้ำสกัดเบย์เบอร์รี่ กับมอลโตเด็กซ์ตริน (DE10) ในอัตราส่วนปริมาณของแข็งในสารสกัดเบย์เบอร์รี่ต่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินเท่ากับ 1:1 ทำให้ได้สารละลายที่มีความเข้มข้น 11 องศาบริกซ์ พบว่าผลิตภัณฑ์สามารถเก็บรักษาปริมาณโพลีฟีนอลได้ร้อยละ 96 และปริมาณแอนโทไซยานินร้อยละ 94 จากนั้นทำการศึกษารักษาผลิตภัณฑ์ พบว่าแอนโทไซยานินมีแนวโน้มในการสลายตัวรวดเร็วกว่าเมื่อเทียบกับอัตราการสลายตัวของโพลีฟีนอล ทำให้ทราบว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอย เป็นวิธีที่เหมาะสมในการทำแห้งเพื่อรักษาคุณภาพผลิตภัณฑ์ และควรเก็บผลิตภัณฑ์ผงเบย์เบอร์รี่ไว้ภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส

Senka และคณะ (2014) ศึกษากระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยของสารสกัดพืชสมุนไพร (*Satureja montana* L.) โดยใช้มอลโตเด็กซ์ตรินเป็นสารช่วยทำแห้ง ที่ระดับความเข้มข้น 10%, 30% และ 50% และที่สภาวะการทำแห้งอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 135-140 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิขาออก 60-70 องศาเซลเซียส แล้วทำการวิเคราะห์หาร้อยละของปริมาณผลผลิตที่ได้

คุณสมบัติต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ผง ความสามารถในการดูดความชื้นกลับ (Hygroscopicity), ความหนาแน่น (Bulk density), ดัชนีการละลายน้ำ (WSI) และดัชนีการดูดซับน้ำ (WAI) คุณสมบัติทางประสาทสัมผัส และปริมาณสารสำคัญต่างๆ คือ ปริมาณฟีนอลทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ พบว่าผลิตภัณฑ์ผงทั้ง 3 ความเข้มข้นมีความชื้นต่ำกว่า 5% ผลิตภัณฑ์ผงที่ความเข้มข้น 50% มีความหนาแน่นสูงสุด (138.0 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) ดัชนีการละลายน้ำสูงสุด (90.55%) และมีความสามารถในการดูดความชื้นกลับต่ำสุด ผลิตภัณฑ์ผงความเข้มข้น 10% มีปริมาณฟีนอลทั้งหมด (153.61 มิลลิกรัม/กรัม), ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (118.69 มิลลิกรัม/กรัม) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด

Chegini and Ghobadian (2007) การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการทำแห้ง ด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยทำการศึกษาระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยน้ำส้มความเข้มข้น 65% ปัจจัยที่ทำการศึกษาประกอบด้วย การดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ (Drying agent material), อัตราการป้อน, อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า, อุณหภูมิขาออก และอุณหภูมิเมื่อผลิตภัณฑ์เริ่มมีการเกาะติด (Sticky point temperature) จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า และอัตราการป้อน มีผลต่อปริมาณร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้และการเกาะติดของผลิตภัณฑ์ที่ผนังเครื่องอบแห้ง ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมคือ อัตราการป้อนที่ 15 มิลลิลิตร/นาที, อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 130 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิขาออก 85 องศาเซลเซียส สำหรับการทำแห้งแบบพ่นฝอยน้ำส้มเข้มข้น โดยที่จะได้ผลิตภัณฑ์ผงมีความชื้น 2% และผลิตภัณฑ์เริ่มมีการเกาะติดที่อุณหภูมิ 44 องศาเซลเซียส

ณัฐภรณ์ ไม่อ่อนมือ (2552) การศึกษาเชิงเปรียบเทียบปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด และกรดฟีนอลิกในเปลือก เนื้อ และเมล็ดในมะม่วงดิบและสุกสายพันธุ์ต่างๆ โดยใช้วิธีการการวิเคราะห์หาปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด โดยใช้วิธีที่รายงานโดย Singleton และ Lamuela Raventos (1999) โดยสารโพลีฟีนอลจะทำปฏิกิริยากับ Folin-Ciocalteu ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงินที่มีการดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร และใช้กรดแกลลิกเป็นสารประกอบฟีนอลมาตรฐาน และการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH วิเคราะห์โดยใช้วิธีที่รายงานโดย Murakami และคณะ (2004) ซึ่งมีหลักการคือ สารละลายของอนุมูลอิสระ DPPH จะมีสีม่วงแดง ซึ่งดูดกลืนแสงได้ดีที่ 517 นาโนเมตร ในกรณีตัวอย่างสารสกัดที่มีฤทธิ์ในการทำลายอนุมูลอิสระได้ดี จะทำ

ให้สีม่วงแดงของสารละลาย DPPH จางลงได้มากกว่าตัวอย่างสารสกัดที่มีฤทธิ์ในการทำลายอนุมูลอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ได้น้อย ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และการทดลอง

ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแก๊สที่ผลิตด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย ทำการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล โดยมีปัจจัยในการทำแห้ง 2 ปัจจัย คือ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าในการทำแห้ง และความเข้มข้นของสารป้อน (Feed) โดยควบคุมปริมาณของแข็งในสารละลายแก๊สและปริมาณมอเตอร์เด็กซ์ตรินด้วยอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก และ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าในการทำแห้ง 3 ระดับ คือ 160 170 และ 180 องศาเซลเซียส ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ทั้งหมด 27 การทดลอง จากนั้นนำผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้ไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพต่างๆ

3.1 วัสดุที่ใช้ศึกษา

เมล็ดแก๊ส จากบริษัท สยามแม็คโคร จำกัด (มหาชน) สาขาลาดพร้าว จังหวัดกรุงเทพมหานคร

3.2 อุปกรณ์การทดลอง

1. เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย JCM Minilab SDE-10
2. หม้ออัดความดันดิจิตอล ยี่ห้อ หัวม้าลาย รุ่น DPL-2200
3. เครื่องปั่นอเนกประสงค์ ยี่ห้อ PHILIPS รุ่น HR2068
4. หม้อและทัพพีสแตนเลส
5. ผ้าขาวบาง
6. เครื่องแก้วต่างๆ ได้แก่ ปีกเกอร์ หลอดทดลอง แท่งแก้วคนสาร ขวดปรับปริมาตร
7. รีแพคโตมิเตอร์ ยี่ห้อ ATAGO รุ่น Pal- α
8. ไฮโกรมิเตอร์ ยี่ห้อ DIGICON รุ่น HT-770 และ ยี่ห้อ FLUKE รุ่น 971
9. แอนนิโมมิเตอร์ ยี่ห้อ DIGICON รุ่น DA-47
10. เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ OHAUS รุ่น PA114
11. เครื่องชั่งน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น UX3200G
12. ถ้วยอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น
13. ตู้อบสูญญากาศ (Vacuum Oven) ยี่ห้อ MMM รุ่น Vacucell
14. เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) ยี่ห้อ Consort รุ่น C830
15. เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ ยี่ห้อ AQUA LAB รุ่น MODEL SERIES 3 TE
16. เครื่องวัดสี ยี่ห้อ Tri-Stimulus Colori-meter รุ่น JC 801
17. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น UV-Phamaspec 1700

18. เครื่องผสม (Vortex Mixer) ยี่ห้อ WIGGEN HAUSER
19. ออโต้ปีเปต ยี่ห้อ Gilson ขนาด 20-200, 100-1000 และ 1000-5000 ไมโครลิตร
20. ที่วางหลอดทดลองสแตนเลส

3.3 สารเคมี

1. มอลโตเด็กซ์ทริน (DE-10)
2. Folin-Ciocalteu reagent
3. โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)
4. กรดแกลลิก (Gallic Acid)
5. 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)
6. โทรลอกซ์ (Trolox)

3.4 วิธีการทดลอง

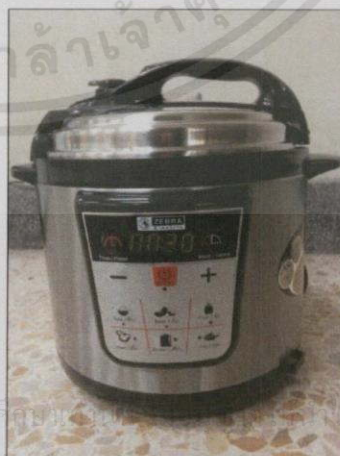
ใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล โดยมีตัวแปรที่ต้องศึกษา 2 ตัวแปร คือ ความเข้มข้นของสารป้อน (Feed) ซึ่งควบคุมปริมาณของแข็งในสารละลายเก่าๆ และปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน ด้วยอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก และอุณหภูมิความร้อนขาเข้าในการทำแห้ง 3 ระดับคือ 160 170 และ 180 องศาเซลเซียส ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ทั้งหมด 27 การทดลอง ซึ่งมีขั้นตอนในการเตรียมสารสกัดและการทำแห้ง ดังนี้

3.4.1 ขั้นตอนการเตรียมสารสกัด

1. นำเมล็ดเก่าๆ และน้ำสะอาดใส่ลงในหม้ออัดความดันดิจิตอล ที่อัตราส่วน 1:4 โดยน้ำหนัก ดังรูปที่ 3.1 (ก) และสกัดเป็นเวลา 30 นาที ดังรูปที่ 3.1 (ข)



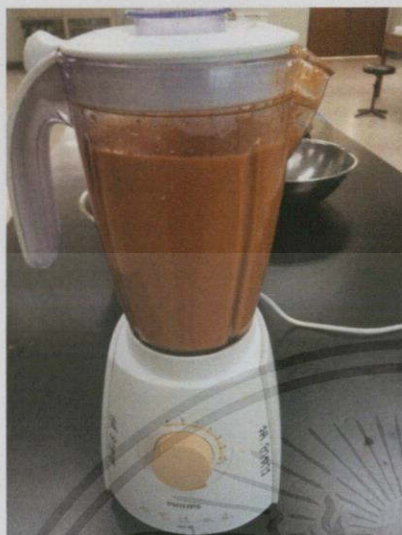
(ก)



(ข)

รูปที่ 3.1 (ก) เมล็ดเก่าๆ (ข) หม้ออัดความดันดิจิตอล

2. นำน้ำแกงที่ปั่นให้ละเอียด ดังรูปที่ 3.2 (ก) แล้วกรองด้วยผ้าขาวบาง 2 ชั้น 2 ครั้ง ดังรูปที่ 3.2 (ข)



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.2 น้ำแกงที่ (ก) ปั่น (ข) กรองด้วยผ้าขาวบาง

3. วัดความเข้มข้นสารละลายแกงที่ ดังรูปที่ 3.3 เริ่มต้นได้ 17 องศาบริกซ์ และนำมาเจือจางด้วยน้ำจนมีความเข้มข้น 14 และ 11 องศาบริกซ์



รูปที่ 3.3 สารละลายแกงที่เริ่มต้น 17 องศาบริกซ์

4. นำสารละลายแกงที่ผสมกับมอลโตเดกซ์ทริน 3 ระดับ คือ ร้อยละ 11 14 และ 17 โดยน้ำหนัก เพื่อให้ได้อัตราส่วนปริมาณของแข็งในสารละลายแกงที่และปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินเท่ากับ 1:1 ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 สารละลายแก่ก็ผสมกับมอลโตเด็กซ์ตริน

3.4.2 ขั้นตอนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

1. ติดตั้งส่วนประกอบต่างๆของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ดังรูปที่ 3.5 ก่อนเปิดเมนสวิตช์



รูปที่ 3.5 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

2. ตั้งค่าสถานะของเครื่องดังนี้

- ความดันหัวฉีดแบบของไหลสองกระแส (Two-fluid nozzle) 0.2 เมกะปาสคาล
- อัตราการป้อนของป้อน 10 รอบต่อนาที
- อัตราการไหลของอากาศ 32.13 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง
- อุณหภูมิลมร้อนที่ทางออก 70 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิสารละลายที่ป้อน 30 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

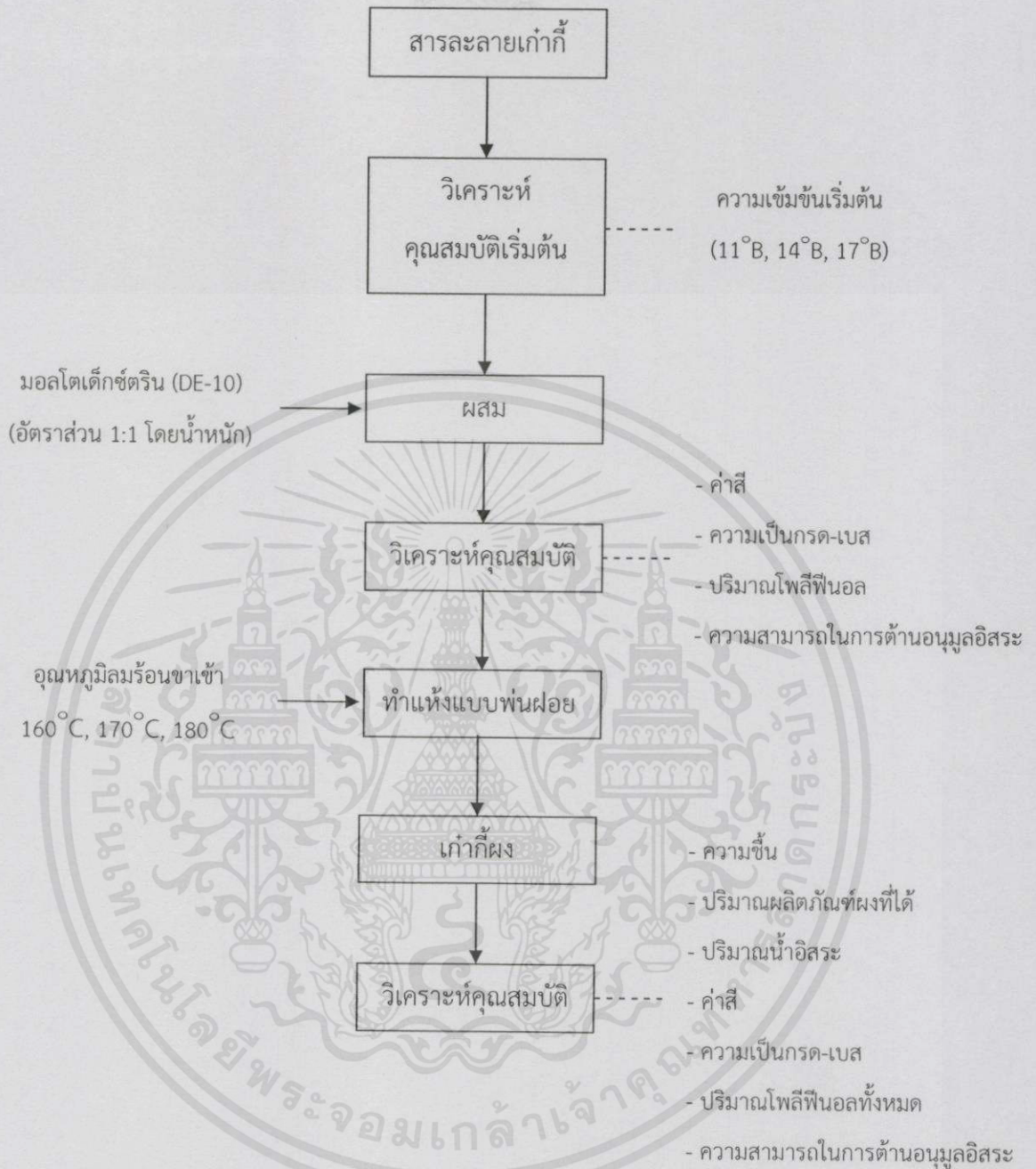
3. เริ่มต้นการทดลองด้วยการป้อนน้ำเปล่าเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย จนกระทั่ง อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งคงที่

4. เมื่ออุณหภูมิภายในห้องอบแห้งคงที่ จึงเริ่มป้อนวัตถุดิบสารละลายแก่ที่เตรียมไว้เข้า เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย และเปิดแอมเมอร์ตลอดเวลาเพื่อป้องกันการติดค้างของผลิตภัณฑ์

5. เก็บผลิตภัณฑ์ผงที่ได้บรรจุใส่ถุงพลาสติกแบบสุญญากาศ และซีลด้วยเครื่องปิดผนึกแบบ สุญญากาศ เก็บไว้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันไม่ให้ผลิตภัณฑ์ผงแก่ที่สัมผัสอากาศ และนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการผลิตเก่าด้วยกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การวิเคราะห์คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์น้ำเก่ากึ่ง

3.5.1 ปริมาณความชื้น (AOAC, 1995)

เครื่องมือ

1. ตู้อบสูญญากาศ (Vacuum Oven)
2. เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง

การวิเคราะห์

ชั่งผลิตภัณฑ์ผงประมาณ 3 กรัม ใส่ในถ้วยอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น และนำไปอบในตู้อบสูญญากาศ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส 0.4 บาร์ อบเป็นเวลา 16-18 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ หาน้ำหนักที่หายไป วิเคราะห์หาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นจากสมการ

$$\% \text{ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ}}{\text{น้ำหนักก่อนอบ}} \times 100 \quad (1)$$

3.5.2 ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (% yield) (นิสากร มีจัน และคณะ, 2553)

เครื่องมือ

1. เครื่องชั่งน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง

การวิเคราะห์

เปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ คือ อัตราส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดในผลิตภัณฑ์แห้งต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบที่ป้อน หาได้โดยการชั่งน้ำหนักของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้ และปริมาณของแข็งในวัตถุดิบเริ่มต้น และนำมาคำนวณเปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากสมการที่

2

$$\% \text{yield} = \frac{W_{CP}}{SS_{CF}} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ W_{CP} = ปริมาณของแข็งในผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้

SS_{CF} = ปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบเริ่มต้น

3.5.3 ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)

เครื่องมือ

1. เครื่องวัดค่า a_w อัตโนมัติ AQUA LAB MODEL SERIES 3 TE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

การวิเคราะห์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ผู้อ่านห้ามมิให้คัดลอกหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากผู้จัดทำเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการอ่านค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ 3 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

3.5.4 ค่าสี (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2542)

เครื่องมือ

1. เครื่องวัดสี Tri-Stimulus Colori-meter
2. คิวเวต

การวิเคราะห์

ทำการวัดค่าสี ในรูปของ L^* , a^* และ b^* โดยอ่านค่าสีของผลิตภัณฑ์ 3 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย วิเคราะห์หาค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมจากสมการที่ 3

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2} \quad (3)$$

ความหมายของค่าสีในระบบ C.I.E LAB

L^* ใช้กำหนดค่าความสว่าง (Lightness)

$L = 0$ = Perfect black sample

$L = 100$ = Perfect white sample

a^* ใช้กำหนดสีแดงหรือสีเขียว

a เป็น + วัตถุมีสีออกแดง

a เป็น - วัตถุมีสีออกเขียว

b^* ใช้กำหนดสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน

b เป็น + วัตถุมีสีออกเหลือง

b เป็น - วัตถุมีสีออกน้ำเงิน

3.5.5 ความเป็นกรด-เบส (pH)

เครื่องมือ

1. เครื่องวัดค่า pH (pH meter)

การวิเคราะห์

1. เตรียมสารละลายผงให้มีความเข้มข้นเท่ากับความเข้มข้นก่อนการทำแห้ง
2. วัดค่า pH ของสารละลาย 3 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.6 ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด (ณัฐภรณ์ ไม่อ่อนมือ, 2552)

เครื่องมือ

1. เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง
2. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-VIS Spectrophotometer)
3. เครื่องผสม (Vortex Mixer)
4. ออโต้ปิเปต ขนาด 20-200, 100-1000 และ 1000-5000 ไมโครลิตร
5. เครื่องแก้วต่างๆ ได้แก่ ปีกเกอร์ หลอดทดลอง แท่งแก้วคนสาร ขวดปรับปริมาตร

การวิเคราะห์

ละลายผงเก๋ากี้ด้วยน้ำสะอาดจนมีความเข้มข้นเท่ากับสารละลายเก๋ากี้ก่อนการทำแห้ง จากนั้นเจือจางสารละลายผงเก๋ากี้ จนมีความเข้มข้นที่เหมาะสม แบ่งสารละลาย 500 ไมโครลิตร ใส่ในแต่หลอดทดลอง เติมน้ำกลั่น 9.5 มิลลิลิตร และเติม Folin-Ciocalteu 500 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 10% ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที นำไปวัดปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดด้วยสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร เทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลาย Gallic Acid

3.5.7 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ณัฐภรณ์ ไม่อ่อนมือ, 2552)

เครื่องมือ

1. เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง
2. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-VIS Spectrophotometer)
3. เครื่องผสม (Vortex Mixer)
4. ออโต้ปิเปต ขนาด 20-200, 100-1000 และ 1000-5000 ไมโครลิตร
5. เครื่องแก้วต่างๆ ได้แก่ ปีกเกอร์ หลอดทดลอง แท่งแก้วคนสาร ขวดปรับปริมาตร

การวิเคราะห์

ละลายผงเก๋ากี้ด้วยน้ำสะอาดจนมีความเข้มข้นเท่ากับสารละลายเก๋ากี้ก่อนการทำแห้ง จากนั้นเจือจางสารละลายผงเก๋ากี้ จนมีความเข้มข้นที่เหมาะสม แบ่งสารละลาย 200 ไมโครลิตร ใส่ในแต่หลอดทดลอง เติมเอทานอล 95% 5.2 มิลลิลิตร และเติม DPPH 600 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาทีในที่มืด นำไปวัดความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร เทียบกับกราฟมาตรฐานของโทรลอกซ์ (Trolox)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การวางแผนการทดลอง

ออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล ดังตารางที่ 3.1 โดยประกอบด้วย 2 ปัจจัย คือความเข้มข้นสารป้อนที่ 3 ระดับ คือ 20 24 และ 29 องศาบริกซ์ และอุณหภูมิหม้อน้ำเข้าที่ 3 ระดับเช่นกัน คือ 160 170 และ 180 องศาเซลเซียส ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ($3^2 \times 3$) ทั้งหมด 27 การทดลอง (ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และ พงศ์ชนัน เหลืองไพบุลย์, 2552) และวิเคราะห์ทางสถิติแบบ LSD

ตารางที่ 3.1 การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล

การทดลอง	ความเข้มข้นเริ่มต้น (องศาบริกซ์)	อัตราส่วนของแข็งใน สารละลายแก๊กที่ต่อ ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน	ความเข้มข้นหลังเติม มอลโตเด็กซ์ตริน (องศาบริกซ์)	อุณหภูมิหม้อน้ำเข้า (องศาเซลเซียส)
1	11	1:1	20	160
2	14	1:1	24	160
3	17	1:1	29	160
4	11	1:1	20	170
5	14	1:1	24	170
6	17	1:1	29	170
7	11	1:1	20	180
8	14	1:1	24	180
9	17	1:1	29	180

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองเบื้องต้น

ในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยสารละลายแก๊กก็มีปัจจัย 2 ประการที่เกี่ยวข้อง คือ ความเข้มข้นของสารป้อน (Feed) และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า โดยงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษากระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย และคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์แก๊กมีผงหลังการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ตารางที่ 4.1 สภาวะก่อนการทำแห้งของสารละลายแก๊กมี

ความเข้มข้นสารละลายแก๊กมี ก่อนเติมมอลโตเด็กซ์ตริน (องศาบริกซ์)	ความเข้มข้นสารละลายแก๊กมี หลังเติมมอลโตเด็กซ์ตริน (องศาบริกซ์)
11	20
14	24
17	29

4.2 การทำแห้งแบบพ่นฝอย

การทดลองทำแห้งแบบพ่นฝอยเริ่มต้นโดยการเตรียมสารละลายแก๊กมีตามตารางการทดลอง และควบคุมสภาวะของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สภาวะเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้ในการทดลอง

ลำดับที่	อุปกรณ์	ตัวแปรปรับแต่ง	ตัวแปรควบคุม
1	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)	160, 170, 180	-
2	อัตราส่วนของแข็งในสารละลายแก๊กมีต่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน	1:1	-
3	หัวฉีดสารละลาย	-	Two-fluid nozzle
4	ความดันหัวฉีด (เมกะปาสกาล)	-	0.2
5	เครื่องดูดลม (Blower) (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)	-	32.13
6	ปั๊มป้อนวัตถุดิบ (รอบต่อนาที)	-	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ป้อนข้อมูล (รอบต่อนาที) การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไป 10 ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์เก๋ากี้ผง

จากการดำเนินการทำแห้งครบทุกสภาวะแล้ว เมื่อนำผลิตภัณฑ์เก๋ากี้ผงมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพต่างๆ ประกอบด้วย ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ ความเป็นกรด-เบส ค่าสี ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของเก๋ากี้ผง ดังแสดงในตารางที่ 4.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ผลผลิตภัณฑ์เก่าที่ฝังด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ

การทดลองที่	อุณหภูมิร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)	ความเข้มข้นสารป้อน (องศาบริกซ์)	ปริมาณความชื้น*	ปริมาณผลผลิตที่ได้*	ค่าสีของผง*					ค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวม* (ΔE)	ปริมาณโพธิ์ฟอสฟอรัสรวม (มิลลิกรัม/กรัมเก่า)	ความสามารถการด้านอนุผลอิสระ* (มิลลิกรัมโพธิ์ฟอสฟอรัส/กรัมเก่า)
					ปริมาณน้ำอิสระ*	ความเป็นกรดและเบส*	L*	a*	b*			
1	160	20	1.90 ± 0.13	75.60 ± 4.02	0.19 ± 0.01	4.08 ± 0.01	0.70 ± 0.11	2.60 ± 0.49	1.25 ± 0.29	1.35 ± 0.43	8.36 ± 1.23 ^a	4.69 ± 0.52
2	170	20	1.54 ± 0.27	81.58 ± 9.88	0.17 ± 0.01	4.08 ± 0.02	0.56 ± 0.19	2.74 ± 0.23	1.08 ± 0.21	1.61 ± 0.29	9.01 ± 2.24 ^a	5.07 ± 0.64
3	180	20	1.73 ± 0.48	75.17 ± 17.86	0.18 ± 0.03	4.08 ± 0.01	0.59 ± 0.20	2.78 ± 0.64	1.23 ± 0.35	1.22 ± 0.68	7.22 ± 2.24 ^a	4.36 ± 1.21
4	160	24	2.09 ± 0.76	70.03 ± 14.73	0.20 ± 0.04	4.07 ± 0.01	0.46 ± 0.13	2.45 ± 0.53	0.91 ± 0.39	0.80 ± 0.34	8.40 ± 2.02 ^a	4.81 ± 0.84
5	170	24	1.73 ± 0.22	80.06 ± 12.02	0.17 ± 0.02	4.07 ± 0.01	0.39 ± 0.10	2.16 ± 1.00	0.45 ± 0.38	1.31 ± 0.41	10.22 ± 1.08 ^{ab}	5.34 ± 0.68
6	180	24	1.30 ± 0.32	83.31 ± 13.26	0.16 ± 0.03	4.07 ± 0.01	0.52 ± 0.08	2.36 ± 0.19	0.99 ± 0.27	0.84 ± 0.14	9.00 ± 1.83 ^{ab}	5.19 ± 0.89
7	160	29	1.66 ± 0.25	74.87 ± 6.33	0.17 ± 0.02	4.06 ± 0.01	0.12 ± 0.10	3.21 ± 0.46	0.27 ± 0.48	1.31 ± 0.68	10.48 ± 1.01 ^{ab}	5.54 ± 0.68
8	170	29	1.42 ± 0.51	81.02 ± 10.36	0.16 ± 0.02	4.07 ± 0.01	0.06 ± 0.05	2.89 ± 0.37	0.01 ± 0.26	0.59 ± 0.16	12.08 ± 1.18 ^b	6.14 ± 1.08
9	180	29	1.41 ± 0.22	85.10 ± 6.49	0.17 ± 0.01	4.07 ± 0.01	0.14 ± 0.03	2.57 ± 0.79	0.34 ± 0.33	1.03 ± 0.84	11.60 ± 1.46 ^b	6.35 ± 0.76

* : ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

**^{a,b,c} : อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

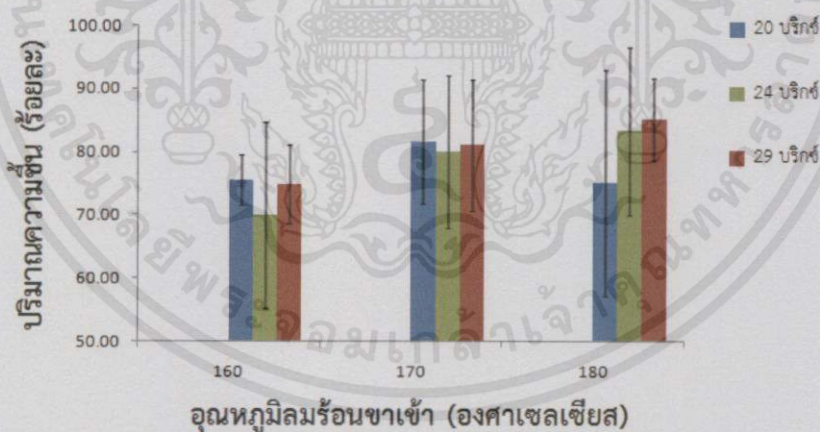
4.3.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

ความเข้มข้น (องศาบริกซ์)	อุณหภูมิร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส) *		
	160	170	180
20	1.90 ± 0.13	1.54 ± 0.27	1.73 ± 0.48
24	2.09 ± 0.76	1.73 ± 0.22	1.30 ± 0.32
29	1.66 ± 0.25	1.42 ± 0.51	1.41 ± 0.22

* : ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์เก๋ากี้ผงที่ได้จากการวิเคราะห์ พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 1.30-2.09 ดังแสดงในตารางที่ 4.4 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรม ($<$ ร้อยละ 6.54 ฐานเปียก) (สโรบล สโรชวิกสิต และ ชัยรัตน์ ตั้งดวงดี, 2554) เนื่องจากว่าการทดลองแปรอุณหภูมิร้อนขาเข้า แต่คงค่าอุณหภูมิร้อนขาออกที่ 70 องศาเซลเซียส ทำให้เห็นเป็นแนวโน้มว่าเมื่อใช้อุณหภูมิร้อนขาเข้าสูงขึ้น ปริมาณความชื้นจะลดลง โดยที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p > 0.05$) ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ผลของอุณหภูมิร้อนขาเข้าต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์ผง

เมื่ออุณหภูมิร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณความชื้นลดลงเนื่องจากอุณหภูมิร้อนขาเข้ามากทำให้อัตราการระเหยน้ำมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณความชื้นต่ำลง (นิสากร มีจัน และคณะ, 2010) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

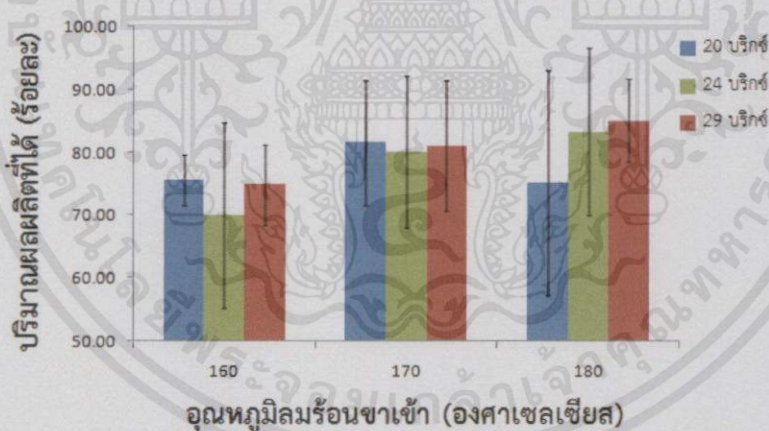
4.3.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตที่ได้

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตที่ได้

ความเข้มข้น (องศาบริกซ์)	อุณหภูมิร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส) *		
	160	170	180
20	75.60 ± 4.02	81.58 ± 9.88	75.17 ± 17.86
24	70.03 ± 14.73	80.06 ± 12.02	83.31 ± 13.26
29	74.87 ± 6.33	81.02 ± 10.36	85.10 ± 6.49

* : ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ปริมาณผลผลิตที่ได้ในแต่ละสภาวะการทดลอง พบว่าปริมาณผลผลิตที่ได้มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 70.03-85.10 ดังแสดงในตารางที่ 4.5 ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารป้อนและอุณหภูมิร้อนขาเข้า รูปที่ 4.2 แสดงผลของอุณหภูมิร้อนขาเข้าต่อปริมาณผลผลิตที่ได้ พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นสารป้อนและอุณหภูมิร้อนขาเข้าทำให้ได้ผลผลิตมากขึ้น และจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าทุกสภาวะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ($p > 0.05$)



รูปที่ 4.2 ผลของอุณหภูมิร้อนขาเข้าต่อปริมาณผลผลิตที่ได้

จากปริมาณผลผลิตที่ได้แสดงให้เห็นว่าทั้ง 9 สภาวะเหมาะสมกับการทำแห้งแบบพ่นฝอย เนื่องจากมีปริมาณผลผลิตที่ได้มากกว่า 50% ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่ยอมรับได้ของการทำแห้งที่มีประสิทธิภาพ (Senka et al., 2014)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

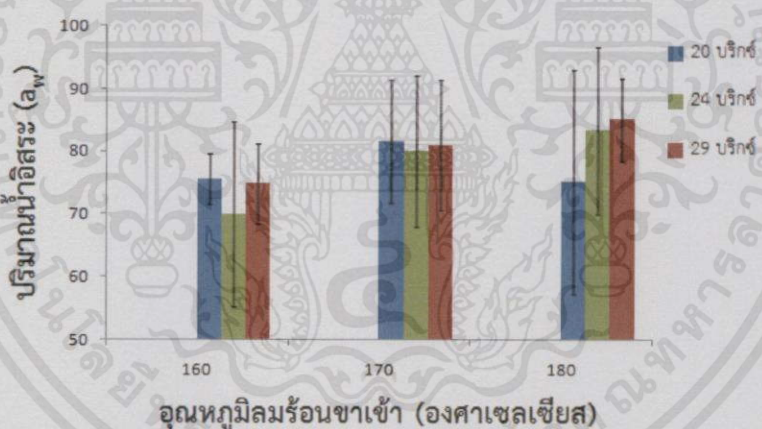
4.3.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ

ความเข้มข้น (องศาบริกซ์)	อุณหภูมิร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส) *		
	160	170	180
20	0.19 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.18 ± 0.03
24	0.20 ± 0.04	0.17 ± 0.02	0.16 ± 0.03
29	0.17 ± 0.02	0.16 ± 0.02	0.17 ± 0.01

* : ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีปริมาณน้ำอิสระ (a_w) อยู่ในช่วง 0.16-0.20 ดังแสดงในตารางที่ 4.6 ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณความชื้น จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าผลของความเข้มข้นและผลของอุณหภูมิร้อนขาเข้าไม่มีผลต่อปริมาณน้ำอิสระที่ได้ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p > 0.05$)



รูปที่ 4.3 ผลของอุณหภูมิร้อนขาเข้าต่อปริมาณน้ำอิสระ

จากช่วงปริมาณน้ำอิสระมีค่าประมาณ 0.2 ซึ่งน้อยกว่า 0.6 ผลิตภัณฑ์ผงจึงมีอายุการเก็บรักษาเป็นเวลานาน เนื่องจากอยู่ในช่วงที่จุลินทรีย์ทุกชนิดไม่สามารถเจริญได้ (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์, 2557)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 ผลการวิเคราะห์ค่าสี

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ค่าสี

การทดลอง	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (°ซ)	ความเข้มข้นเริ่มต้น (ปริกซ์)	ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ค่าสีของเก๋ากี้ผง			การเปลี่ยนแปลงค่าสีโดยรวม
				L*	a*	b*	
1	160	11	11	0.82	2.57	1.61	1.81
2	160	11	11	0.59	2.97	0.99	0.96
3	160	11	11	0.69	2.27	1.13	1.26
4	170	11	11	0.45	2.61	0.90	1.81
5	170	11	11	0.59	2.70	0.99	1.74
6	170	11	11	0.63	2.93	1.35	1.27
7	180	11	11	0.42	2.33	0.84	1.66
8	180	11	11	0.67	3.63	1.64	0.44
9	180	11	11	0.68	2.39	1.22	1.55
10	160	14	14	0.62	2.16	1.18	0.43
11	160	14	14	0.39	2.76	1.12	0.87
12	160	14	14	0.38	2.44	0.43	1.10
13	170	14	14	0.37	2.21	0.40	1.44
14	170	14	14	0.29	3.28	0.03	1.64
15	170	14	14	0.50	1.00	0.91	0.84
16	180	14	14	0.60	2.19	0.73	0.69
17	180	14	14	0.45	2.49	1.32	0.95
18	180	14	14	0.52	2.40	0.92	0.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ค่าสี (ต่อ)

การทดลอง	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (°ซ)	ความเข้มข้นเริ่มต้น (°ปริกซ์)	ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ค่าสีของเก๋ากี๊ผง			การเปลี่ยนแปลงค่าสีโดยรวม
				L*	a*	b*	
19	160	17	17	0.19	3.02	0.21	0.96
20	160	17	17	0.17	2.91	0.77	0.88
21	160	17	17	0.01	3.69	-0.18	2.10
22	170	17	17	0.01	2.45	0.04	0.60
23	170	17	17	0.12	3.18	-0.30	0.75
24	170	17	17	0.04	3.05	0.30	0.42
25	180	17	17	0.11	1.62	0.02	1.98
26	180	17	17	0.17	3.10	0.75	0.75
27	180	17	17	0.14	3.00	0.26	0.36

จากการวิเคราะห์ค่าสีผลิตภัณฑ์เก๋ากี๊ผง โดยตรวจสอบจากตัวอย่างผลิตภัณฑ์ทั้ง 27 สภาวะการทดลอง พบว่าผลิตภัณฑ์เก๋ากี๊ผงมีค่าความสว่าง (L*) อยู่ระหว่าง 0.01-0.82 ค่าที่แสดงความเป็นสีแดงหรือเขียว (a*) อยู่ระหว่าง 1.00-3.69 และค่าที่แสดงความเป็นสีเหลืองหรือน้ำเงิน (b*) อยู่ระหว่าง -0.18-1.64 โดยที่สารละลายเก๋ากี๊ผงมีค่าความสว่างและค่าสีแดงเพิ่มขึ้นจากสารละลายเก๋ากี๊เริ่มต้น แต่ค่าสีเหลืองมีค่าลดลง เนื่องจากการสลายตัวของเม็ดสีเหลืองจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (สโรบล สโรชวิกสิต และ ชัยรัตน์ ตั้งดวงดี, 2554) และค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมมีค่าอยู่ในช่วง 0.59-1.61 ดังแสดงในตารางที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าสีโดยรวม

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าสีโดยรวม

ความเข้มข้น (องศาบริกซ์)	อุณหภูมิร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส) *		
	160	170	180
20	1.35 ± 0.43	1.61 ± 0.29	1.22 ± 0.68
24	0.80 ± 0.34	1.31 ± 0.41	0.84 ± 0.14
29	1.31 ± 0.68	0.59 ± 0.16	1.03 ± 0.84

* : ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

การเปลี่ยนแปลงค่าสีโดยรวมของสารละลายเก่าก็พ้องกับสารละลายเก่าที่เริ่มต้นที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่า การเปลี่ยนแปลงค่าสีโดยรวมมีค่าอยู่ในช่วง 0.59-1.61 โดยสภาวะความเข้มข้น 20 องศาบริกซ์ ที่อุณหภูมิร้อนขาเข้า 170 องศาเซลเซียส มีค่าความแตกต่างสูงสุดและที่ความเข้มข้น 29 องศาบริกซ์ อุณหภูมิร้อนขาเข้า 170 องศาเซลเซียส มีค่าความแตกต่างต่ำสุด จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าทั้งระดับความเข้มข้นและอุณหภูมิร้อนขาเข้าในช่วงที่ศึกษาไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p>0.05$) ต่อคุณสมบัติด้านสีของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ทุกสภาวะ ดังแสดงในตารางที่ 4.8

แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่าสีโดยรวมเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นและอุณหภูมิ แต่อย่างไรก็ตามผลของการเปลี่ยนแปลงค่าสีโดยรวมเกิดจากความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสองซึ่งมีผลตรงกันข้าม คืออุณหภูมิสูงทำให้สีมีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้นแต่อาจถูกเจือจางด้วยมอลโตเด็กซ์ทริน ซึ่งทำให้ไม่สามารถเห็นผลการเปลี่ยนแปลงได้อย่างชัดเจน (สโรบล สโรชวิกสิต และ ชัยรัตน์ ตั้งดวงดี, 2554)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

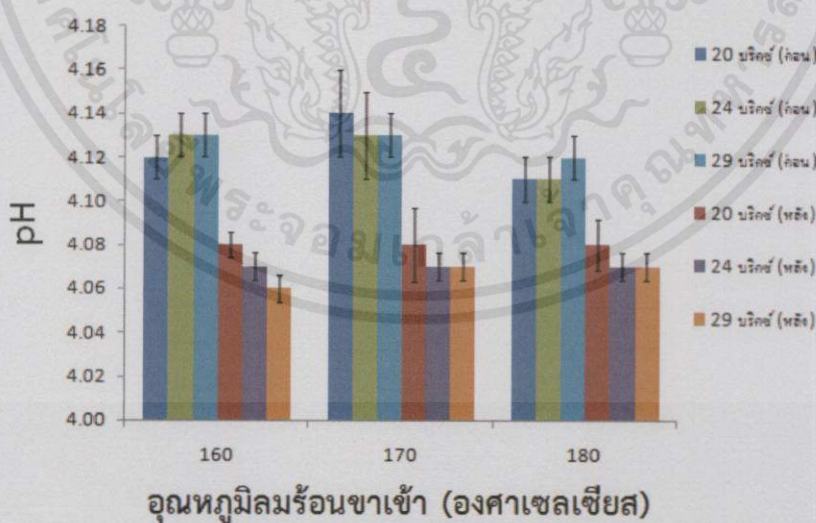
4.3.5 ผลการวิเคราะห์ความเป็นกรด-เบส

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ความเป็นกรด-เบส

ความเข้มข้น (องศาบริกซ์)	อุณหภูมิร้อนชาเข้า (องศาเซลเซียส)*					
	160		170		180	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
20	4.12 ± 0.01	4.08 ± 0.006	4.14 ± 0.02	4.08 ± 0.017	4.11 ± 0.01	4.08 ± 0.012
24	4.13 ± 0.01	4.07 ± 0.006	4.13 ± 0.02	4.07 ± 0.006	4.11 ± 0.01	4.07 ± 0.006
29	4.13 ± 0.01	4.06 ± 0.006	4.13 ± 0.01	4.07 ± 0.006	4.12 ± 0.01	4.07 ± 0.006

* : ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ความเป็นกรด-เบสของสารละลายแก่ก็เริ่มต้นก่อนผ่านการทำให้แบบพ่นฝอยมีค่าอยู่ในช่วง 4.11-4.14 และสารละลายแก่ก็คืนรูปที่เข้มข้นเท่ากันมีค่าความเป็นกรด-เบสอยู่ในช่วง 4.06-4.08 ดังแสดงในตารางที่ 4.9 ซึ่งจะพบว่ามีค่าความเป็นกรด-เบสลดลงหลังจากผ่านกระบวนการให้ความร้อนเนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่อการแตกตัวเป็นไอออน โดยอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะมีการแตกตัวเป็นไอออนได้ดีกว่าอุณหภูมิต่ำ (วนิดา ฉัตรวิราคม, 2555) แต่ในช่วงอุณหภูมิการทดลองพบว่าผลของความเข้มข้นและอุณหภูมิไม่ส่งผลต่อค่าความเป็นกรด-เบสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$) ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ผลของอุณหภูมิลร้อนชาเข้าต่อความเป็นกรด - เบส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

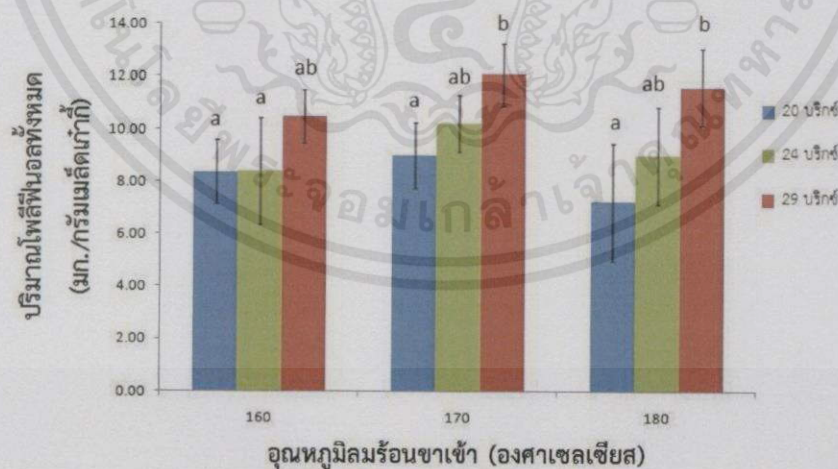
4.3.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโพสไฟน์อลทั้งหมด

ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโพสไฟน์อลทั้งหมด

ความเข้มข้น (องศาบริกซ์)	อุณหภูมิร่อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)		
	160	170	180
20	8.36 ± 1.23 ^a	9.01 ± 2.24 ^a	7.22 ± 2.24 ^a
24	8.40 ± 2.02 ^a	10.22 ± 1.08 ^{ab}	9.00 ± 1.83 ^{ab}
29	10.48 ± 1.01 ^{ab}	12.08 ± 1.18 ^b	11.60 ± 1.46 ^b

a,b,c : อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ปริมาณโพสไฟน์อลทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 7.22-12.08 มิลลิกรัมต่อกรัมเมล็ดกาแฟ การเพิ่มความเข้มข้นของสารป้อนมีผลทำให้ปริมาณโพสไฟน์อลทั้งหมดของผลิตภัณฑ์กาแฟที่ได้จากกระบวนการทำแห้งเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิร่อนขาเข้าระดับเดียวกัน โดยสถานะความเข้มข้น 29 องศาบริกซ์ ที่อุณหภูมิร่อนขาเข้า 170 องศาเซลเซียส มีปริมาณโพสไฟน์อลทั้งหมดสูงสุดและที่ความเข้มข้น 20 องศาบริกซ์ อุณหภูมิร่อนขาเข้า 180 องศาเซลเซียส มีค่าปริมาณโพสไฟน์อลทั้งหมดต่ำสุด ผลจากการทดสอบทางสถิติพบว่า อุณหภูมิร่อนขาเข้าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่ความเข้มข้นสารป้อนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ กับปริมาณโพสไฟน์อลทั้งหมดที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$)



รูปที่ 4.5 ผลของอุณหภูมิร่อนขาเข้าต่อปริมาณโพสไฟน์อลทั้งหมดของผลิตภัณฑ์กาแฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเพิ่มขึ้นของสารประกอบสำคัญในแต่ละความเข้มข้นของสารละลายแก่ก็ อาจเกิดจากการเกิดเปลือกแข็ง (Crust) ของหยดอาหารเหลว เนื่องจากการระเหยอย่างรวดเร็ว ทำให้สามารถรักษาสารอาหารไว้ภายในได้ดี แต่เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 180 องศาเซลเซียส สารละลายแก่ก็มีแนวโน้มปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดลดลง เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้อุณหภูมิของอาหารเกิดการแตกตัว สารประกอบสำคัญเกิดการสลายตัวเมื่อสัมผัสกับอุณหภูมิสูง (สโรบล สโรชวิกสิต และ ชัยรัตน์ ตั้งดวงดี, 2554) ดังแสดงในรูปที่ 4.5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

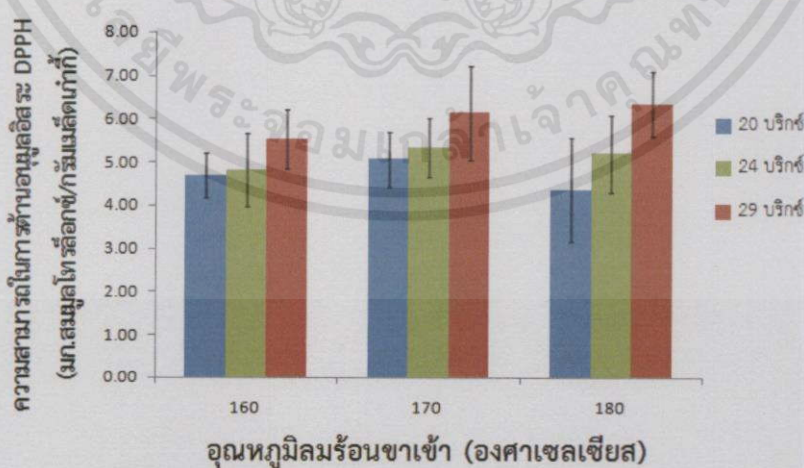
4.3.7 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH

ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH

ความเข้มข้น (องศาบริกซ์)	อุณหภูมิร้อนชาเข้า (องศาเซลเซียส) *		
	160	170	180
20	4.69 ± 0.52	5.07 ± 0.64	4.36 ± 1.21
24	4.81 ± 0.84	5.34 ± 0.68	5.19 ± 0.89
29	5.54 ± 0.68	6.14 ± 1.08	6.35 ± 0.76

* : ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีค่าอยู่ในช่วง 4.36-6.35 มิลลิกรัมสมมูลย์ โทรล็อกซ์ต่อกรัมเมล็ดกาแฟ การเพิ่มความเข้มข้นของสารบ่อนมีผลทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของผลิตภัณฑ์กาแฟที่ได้จากกระบวนการทำแห้งเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบที่อุณหภูมิร้อนชาเข้าระดับเดียวกัน โดยสภาวะความเข้มข้น 29 องศาบริกซ์ ที่อุณหภูมิร้อนชาเข้า 180 องศาเซลเซียส มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงสุดและที่ความเข้มข้น 20 องศาบริกซ์ อุณหภูมิร้อนชาเข้า 180 องศาเซลเซียส มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ต่ำสุด ผลจากการทดสอบทางสถิติพบว่า ความเข้มข้นสารบ่อนและอุณหภูมิร้อนชาเข้าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ($p > 0.05$)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.6 ผลของอุณหภูมิร้อนชาเข้าต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์กาแฟ

การเพิ่มขึ้นของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในแต่ละความเข้มข้นของสารละลายเก๋าก็ อาจเกิดจากการเกิดเปลือกแข็ง (Crust) ของหยดอาหารเหลว เนื่องจากการระเหยอย่างรวดเร็ว ทำให้สามารถรักษาสารอาหารไว้ภายในได้ดี แต่เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 180 องศาเซลเซียส สารละลายเก๋าก็ที่ ความเข้มข้น 20 และ 24 องศาบริกซ์มีแนวโน้มความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลง เนื่องจาก อุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้อุณหภูมิของอาหารเกิดการแตกตัว สารประกอบสำคัญเกิดการสลายตัวเมื่อ สัมผัสกับอนุมูลอิสระ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจึงลดลง (สโรบล สโรชวิกสิต และ ชัยรัตน์ ตั้งดวงดี, 2554) ดังแสดงในรูปที่ 4.6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาผลของความเข้มข้นของสารป้อนและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า โดยศึกษาความเข้มข้นของสารป้อนที่ 20 24 และ 29 องศาบริกซ์ และค่าอุณหภูมิที่ 160 170 และ 180 องศาเซลเซียส ออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล ผลจากการทดลองพบว่าเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 70.03-85.10 ปริมาณความชื้น (ฐานเปียก) ร้อยละ 1.30-2.09 เมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าสูงขึ้น ปริมาณความชื้นมีแนวโน้มลดลง ค่าปริมาณน้ำอิสระ ความเป็นกรด-เบส และการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมอยู่ในช่วง 0.16-0.20, 4.06-4.08 และ 0.59-1.25 ตามลำดับ ซึ่งความเข้มข้นของสารป้อนกับสภาวะอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าไม่มีปฏิสัมพันธ์กัน และทั้งสองปัจจัยนี้ส่งผลต่อปริมาณผลผลิตที่ได้ ปริมาณความชื้น ค่าปริมาณน้ำอิสระ ความเป็นกรด-เบส และการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) แต่ความเข้มข้นของสารละลายเก๋าก็และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้ามีผลต่อปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดและไม่มีผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

หากพิจารณาคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยรวม โดยใช้ปริมาณผลผลิตที่ได้ ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเป็นเกณฑ์ สภาวะทำแห้งที่เหมาะสมคือ ความเข้มข้นสารละลายเก๋าก็ที่ 29 องศาบริกซ์ และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ 170 องศาเซลเซียส เนื่องจากให้ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงสุดแม้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจะต่ำกว่าสภาวะที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ 180 องศาเซลเซียสก็ตาม เนื่องจากเป็นการประหยัดพลังงานที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนให้กับเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งจะให้ปริมาณผลผลิตที่ได้ร้อยละ 81.02 ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด 12.08 มิลลิกรัมต่อกรัมเมล็ดเก๋าก็ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ 6.14 มิลลิกรัมสมมูลย์โทรลิกซ์ต่อกรัมเมล็ดเก๋าก็ และความชื้น (ฐานเปียก) ร้อยละ 1.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

5.2 ปัญหาที่พบ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. สภาพอากาศในแต่ละวันมีความชื้นสัมพัทธ์สูง-ต่ำแตกต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้

2. ผลិតภัณฑ์เก๋ากี้ผงดูดความชื้นกลับเร็วมาก ทำให้จับตัวเป็นก้อนได้ง่าย

3. การวิเคราะห์ปริมาณโพสฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ มีการคลาดเคลื่อนได้ง่าย เนื่องจากใช้ปริมาณสารในหน่วยไมโครกรัม สารเคมีไวต่อแสงและเวลามีผลต่อค่าที่อ่านได้จากเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ค่อนข้างมาก

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ในขั้นตอนการอบแห้งแบบพ่นฝอย ควรมีอุปกรณ์ควบคุมความชื้นของลมก่อนเข้าเครื่องทำแห้ง เพื่อควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ เนื่องจากอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงจะมีผลต่ออุณหภูมิการทำแห้งได้

2. ระบบควบคุมเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้ในการทดลองเป็นแบบควบคุมอุณหภูมิลมร้อนเข้า-ออก ด้วยการส่งสัญญาณควบคุมไฟปิด-เปิด จ่ายไฟให้กับแผงทำความร้อน แต่ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในค่าที่ต้องการได้ ต้องทำการปรับตลอดเวลา ทำให้อุณหภูมิลมร้อนไม่ค่อยคงที่ตลอดการทดลอง จึงควรมีการปรับเปลี่ยนและหาทางแก้ไข เพื่อควบคุมอุณหภูมิลมร้อนให้คงที่ เพื่อการศึกษาลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นกับปัจจัยแต่ละปัจจัยอย่างชัดเจน

3. ผลิตภัณฑ์เก๋ากี้ผงดูดความชื้นกลับเร็วมาก และจับตัวเป็นก้อนได้ง่าย จึงควรเติมสาร Anti-caking เพื่อป้องกันการดูดความชื้นและจับตัวเป็นก้อนของผลิตภัณฑ์ผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมรายสาขา. 2542. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ
ทฤษฎีการวัดสี. 2. กรุงเทพฯ: กรม.

จุฬารัตน์ เลิศบวรวงศ์. 2554. บทบาทและการตรวจวัดกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระที่มีใน
อาหารตามธรรมชาติ. Food journal. 41 (1): 39-49.

ฉัตรตระกูล เจียจันทร์พงษ์. 2550. เก๋ากี่ (Goji) สมุนไพรเพื่ออายุที่ยืนยาว. อาหาร & สุขภาพ. 20
(130): 18-22.

ชนรัตน์ หมี่น้ำเงิน และชาคริต อนุสนธิ์ดิษฐ์. 2548. การพัฒนารีแฟรคโตมิเตอร์. ปรินญาณินพนธ์
วิทยาศาสตร์บัณฑิต. ฟิสิกส์ประยุกต์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง

ชูชาติ อารีจิตรานุสรณ์. 2544. เครื่องมือวิทยาศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 3. ขอนแก่น: ภาควิชาเคมีคลินิก
คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ณรงค์พันธุ์ รัตนปนัดดา. 2550. เทคนิคการอ่านค่าสีของเครื่องวัดค่าสี Colorimeter. Lab Today.
6 (42): 28-31.

ณัฐภรณ์ ไม่อ่อนมือ. 2552. การศึกษาเชิงเปรียบเทียบปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดและกรดฟีนอลิก
ในเปลือกเนื้อและเมล็ดในมะม่วงดิบและสุกสายพันธุ์ต่างๆ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์
มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง.

นิสากร มีจั่น สมุพร ใจดี และสุวิสาส์ กาญจนพิมล. 2553. การศึกษาการผลิตเครื่องตีผงจากถั่ว
เหลืองที่ผ่านการเพาะงอก. ปรินญาณินพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์,
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เบญจา ชุตินทราศรี. เทคโนโลยีส่วนผสมอาหารสังเคราะห์ (Synthetic Food Ingredients
Technology). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง. 2550.

ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และ พงศ์ชนัน เหลืองไพบุลย์. 2552. การออกแบบและวิเคราะห์การ
ทดลอง. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ท้อป.

เอกสารวิทยุ ตั้งปริยารักษ์. 2549. เครื่องตรวจวัดสารด้วยการดูดกลืนแสง. Lab Today 5 (38): 19-22.
ไม่ว่ากรณีใด 22. สิ่งนี้ห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนานพนธ์. Water activity / แอคติวิตีของน้ำ. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0551/water-activity: 2557>.
- โยษิตา โตเสาวลักษณ์. 2552. การห่อหุ้มร่วมของสารสีธรรมชาติกับผลึกน้ำผึ้งด้วยวิธีการอบแห้ง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารบัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- รัชณี คงคาอุยฉาย และ ริฎุ เจริญศิริ. 2552. ผลไม้สร้างสุขภาพ. วารสารหมอชาวบ้าน. 31 (361): 18-26.
- วนิดา ฉัตรวิราคม. 2555. ปรับพื้นฐานวิชาวิทยาศาสตร์ (เคมี). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
- วศิน บุญสนองสุภา. 2555. Spray Drying Technology. Food Focus Thailand. 7 (70): 32-33.
- สโรบล สโรชวิกสิต และ ชัยรัตน์ ตั้งดวงดี. 2554. ผลของอุณหภูมิการอบแห้งและสารช่วยอบแห้งต่อคุณภาพของน้ำสับประรดผงโดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. ปีที่ 34. ฉบับที่ 3: 203-215.
- อมรรัตน์ ตั้งสกุล, 2550. การผลิตสารปรุงแต่งกลิ่นรสจากโอสีโอเรซินหอมหัวใหญ่ชนิดผงโดยการเอนแคปซูเลชั่น. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- โอภา วัชรคุปต์. สารต้านอนุมูลอิสระ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: นิวไทยมิตรการพิมพ์. 2550.
- Amagase, H. and Farnsworth N.R. 2011. A review of botanical characteristics, phytochemistry, clinical relevance in efficacy and safety of Lycium barbarum fruit (Goji). Food Research International, 44: 1702–1717.
- AOAC. 1995. Official Method of analysis. 16th ed. Washington D.C. Association of Official Analytical Chemists.
- Brennan J.G., 2003, Drying/Spray Drying. Encyclopedia of food sciences and nutrition. 1 (2003): 1929-1938.
- Chegini, G. R. and Ghobadian, B. 2007. Spray Dryer Parameters for Fruit Juice Drying. World Journal of Agricultural Sciences. 3 (2): 230-236.
- Fang Z. and Bhandari B. 2011. Effect of spray drying and storage on the stability of bayberry polyphenols. Food Chemistry. 129: 1139–1147.

- Frederick J. Francis. 2000. *Dryer Technology and Engineering*. Wiley Encyclopedia of food Science and Technology. 1 (2): 524.
- GEA Group. 2012. *Drying and Particle Formation Technologies*. Food and Energy industries. 1-19.
- Madene, A., Jacquot, M., Scher, J. and Desobry, S. 2005. *Flavour encapsulation and controlled release*. Journal of Food Science and Technology, 41: 1-21.
- Masters K. *Spray Drying Handbook*. 3ed. George Gadwin Limited. 1976.
- Qian, J., Liu, D. and Huang, A. 2004. *The efficiency of flavonoids in polar extracts of Lyciumchinense Mill fruits as free radical scavenger*. Food Chemistry. 87: 283-288.
- Senka S. Vidovi C., Jelena Z. Vladi C., Zuzana G., Vastag, Zoran P., Zekovi C., Ljiljana M. and Popovi C. 2014. *Maltodextrin as a carrier of health benefits compounds in Satureja Montana dry powder extract obtained by spray drying technique*. Powder Technology. 1-36.
- Zhang, J. 2013. *Antioxidant properties of goji berry*. Master of Science. Nutrition and Food Science, Wayne State University.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. ผลผลิตของผลิตภัณฑ์เก่ากึ่ง

ตารางแสดงผลปริมาณความชื้น

การทดลอง	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)	ความชื้นเริ่มต้น (องศาปริกซ์)	ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณความชื้น(ร้อยละ)			ค่าเฉลี่ย
					1	2	3	
1	160	11	11	16	1.7700	1.8309	1.7406	1.78
2	160	11	11	16	2.0107	2.0869	2.0025	2.03
3	160	11	11	16	1.8511	1.9351	1.8964	1.89
4	170	11	11	16	1.4981	1.3369	1.4878	1.44
5	170	11	11	16	1.8185	1.8870	1.8410	1.85
6	170	11	11	16	1.2905	1.3685	1.3369	1.33
7	180	11	11	16	1.1795	1.3033	1.3291	1.27
8	180	11	11	16	2.3944	2.1779	2.1203	2.23
9	180	11	11	16	1.6530	1.6953	1.6936	1.68
10	160	14	14	16	2.9994	2.9567	2.9246	2.96
11	160	14	14	16	1.6809	1.7873	1.7404	1.74
12	160	14	14	16	1.5415	1.6290	1.5322	1.57
13	170	14	14	16	1.2427	1.1879	2.6124	1.68
14	170	14	14	16	1.5033	1.7172	1.4010	1.54
15	170	14	14	16	1.9322	2.0081	1.9693	1.97
16	180	14	14	16	0.9018	0.9441	1.2298	1.03
17	180	14	14	16	1.8150	1.5755	1.5530	1.65
18	180	14	14	16	1.0881	1.2331	1.3372	1.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ มิใช่เพื่อการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลอง	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)	ความเข้มข้นเริ่มต้น (องศาปริกซ์)	ปริมาณมอลโตเดกซ์ทริน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณความชื้น(ร้อยละ)			ค่าเฉลี่ย
					1	2	3	
19	160	17	17	16	1.5725	1.3626	1.2751	1.40
20	160	17	17	16	1.6306	1.7562	1.5828	1.66
21	160	17	17	16	2.0024	1.8342	1.8984	1.91
22	170	17	17	16	0.9145	0.8472	0.9571	0.91
23	170	17	17	16	1.3882	1.5655	1.3950	1.45
24	170	17	17	16	1.8670	1.9927	1.8895	1.92
25	180	17	17	16	1.1523	1.1550	1.1587	1.16
26	180	17	17	16	1.5697	1.4232	1.5181	1.50
27	180	17	17	16	1.5355	1.5928	1.5720	1.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้

การทดลอง	อุณหภูมิร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)	ความเข้มข้นเริ่มต้น (องศาปริกซ์)	ปริมาณมอลโตเด็คซ์ตริน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ปริมาณของแข็งทั้งหมด ในสารละลาย(กรัม)	ปริมาณของแข็งทั้งหมด ในแก้วผง(กรัม)	ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (ร้อยละ)
1	160	11	11	201	145.72	72.50
2	160	11	11	203	150.53	74.15
3	160	11	11	202	161.89	80.14
4	170	11	11	210	152.60	72.67
5	170	11	11	202	161.35	79.88
6	170	11	11	202	186.24	92.20
7	180	11	11	204	144.25	70.71
8	180	11	11	205	122.92	59.96
9	180	11	11	204	193.48	94.84
10	160	14	14	242	128.89	53.26
11	160	14	14	247	187.65	75.97
12	160	14	14	247	199.74	80.87
13	170	14	14	241	165.72	68.76
14	170	14	14	246	193.68	78.73
15	170	14	14	246	228.04	92.70
16	180	14	14	204	187.18	91.75
17	180	14	14	244	165.97	68.02
18	180	14	14	248	223.57	90.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลอง	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)	ความเข้มข้นเริ่มต้น (องศาปริกซ์)	ปริมาณมอลโตเด็คซ์ตริน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ปริมาณของแข็งทั้งหมด ในสารละลาย(กรัม)	ปริมาณของแข็งทั้งหมด ในแก้วกึ่ง(กรัม)	ปริมาณผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้ (ร้อยละ)
19	160	17	17	290	196.63	67.80
20	160	17	17	294	235.31	80.04
21	160	17	17	293	224.91	76.76
22	170	17	17	290	204.53	70.53
23	170	17	17	290	235.71	81.28
24	170	17	17	293	267.36	91.25
25	180	17	17	290	237.31	81.83
26	180	17	17	294	237.84	80.90
27	180	17	17	293	271.26	92.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลปริมาณน้ำอิสระ

การทดลอง	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)	ความเข้มข้นเริ่มต้น (องศาปริกซ์)	ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ปริมาณน้ำอิสระ			ค่าเฉลี่ย
				1	2	3	
1	160	11	11	0.189	0.186	0.187	0.187
2	160	11	11	0.194	0.191	0.189	0.191
3	160	11	11	0.179	0.180	0.177	0.179
4	170	11	11	0.179	0.177	0.174	0.177
5	170	11	11	0.179	0.176	0.181	0.179
6	170	11	11	0.162	0.157	0.156	0.158
7	180	11	11	0.159	0.154	0.156	0.156
8	180	11	11	0.219	0.222	0.217	0.219
9	180	11	11	0.159	0.166	0.161	0.162
10	160	14	14	0.252	0.249	0.247	0.249
11	160	14	14	0.183	0.182	0.186	0.184
12	160	14	14	0.166	0.164	0.165	0.165
13	170	14	14	0.152	0.155	0.150	0.152
14	170	14	14	0.167	0.161	0.160	0.163
15	170	14	14	0.183	0.185	0.188	0.185
16	180	14	14	0.163	0.153	0.158	0.158
17	180	14	14	0.185	0.190	0.188	0.188
18	180	14	14	0.134	0.131	0.134	0.133

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลอง	อุณหภูมิร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)	ความเข้มข้นเริ่มต้น (องศาบริกซ์)	ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ปริมาณน้ำอิสระ			ค่าเฉลี่ย
				1	2	3	
19	160	17	17	0.150	0.153	0.154	0.152
20	160	17	17	0.191	0.185	0.183	0.186
21	160	17	17	0.185	0.181	0.182	0.183
22	170	17	17	0.147	0.150	0.148	0.148
23	170	17	17	0.175	0.170	0.172	0.172
24	170	17	17	0.188	0.185	0.186	0.186
25	180	17	17	0.171	0.163	0.163	0.166
26	180	17	17	0.188	0.186	0.188	0.187
27	180	17	17	0.167	0.170	0.165	0.167

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลค่าสี

การทดลอง	อุณหภูมิผสมร่อนเข้า (°ซ)	ความเข้มข้นเริ่มต้น (°บริกซ์)	ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ค่าสีของน้ำเก๋ากี้สกัด			ค่าสีของเก๋ากี้ผง			การเปลี่ยนแปลงค่าสีโดยรวม
				L_0^*	a_0^*	b_0^*	L^*	a^*	b^*	
1	160	11	11	0.69	4.34	1.25	0.82	2.57	1.61	1.81
2	160	11	11	0.68	3.82	1.42	0.59	2.97	0.99	0.96
3	160	11	11	0.97	3.43	1.47	0.69	2.27	1.13	1.26
4	170	11	11	0.67	4.38	1.03	0.45	2.61	0.90	1.81
5	170	11	11	0.62	4.44	0.99	0.59	2.70	0.99	1.74
6	170	11	11	0.68	4.20	1.31	0.63	2.93	1.35	1.27
7	180	11	11	0.76	3.80	1.49	0.42	2.33	0.84	1.66
8	180	11	11	0.68	3.42	1.31	0.67	3.63	1.64	0.44
9	180	11	11	0.65	3.94	1.24	0.68	2.39	1.22	1.55
10	160	14	14	0.53	1.90	0.89	0.62	2.16	1.18	0.43
11	160	14	14	0.51	1.92	0.93	0.39	2.76	1.12	0.87
12	160	14	14	0.50	3.02	0.70	0.38	2.44	0.43	1.10
13	170	14	14	0.59	1.06	1.23	0.37	2.21	0.40	1.44
14	170	14	14	0.57	1.90	0.88	0.29	3.28	0.03	1.64
15	170	14	14	0.64	1.75	1.23	0.50	1.00	0.91	0.84
16	180	14	14	0.69	1.76	1.24	0.60	2.19	0.73	0.69
17	180	14	14	0.49	3.41	1.09	0.45	2.49	1.32	0.95
18	180	14	14	0.59	1.56	1.17	0.52	2.40	0.92	0.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลอง	อุณหภูมิสมร่อนขาเข้า (°ซ)	ความเข้มข้นเริ่มต้น (°บริกซ์)	ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ค่าสีของน้ำเก่าที่สกัด			ค่าสีของเก่าที่ผง			การเปลี่ยนแปลงค่าสีโดยรวม
				L_0^*	a_0^*	b_0^*	L^*	a^*	b^*	
19	160	17	17	0.45	3.53	0.35	0.19	3.02	0.21	0.96
20	160	17	17	0.10	3.62	0.26	0.17	2.91	0.77	0.88
21	160	17	17	0.62	2.12	1.07	0.01	3.69	-0.18	2.10
22	170	17	17	0.05	2.95	0.25	0.01	2.45	0.04	0.60
23	170	17	17	0.12	3.53	0.34	0.12	3.18	-0.30	0.75
24	170	17	17	0.22	3.32	0.55	0.04	3.05	0.30	0.42
25	180	17	17	0.09	3.59	0.09	0.11	1.62	0.02	1.98
26	180	17	17	0.49	2.46	0.86	0.17	3.10	0.75	0.75
27	180	17	17	0.11	3.34	0.33	0.14	3.00	0.26	0.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลความเป็นกรด-เบส

การทดลอง	อุณหภูมิของน้ำ (องศาเซลเซียส)	ความเข้มข้นเริ่มต้น (องศาปริกซ์)	ปริมาณมอลโตเด็คซ์ทริน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ความเป็นกรด-เบส	
				ก่อนการทำแห้ง	หลังการทำแห้ง
1	160	11	11	4.12	4.08
2	160	11	11	4.13	4.08
3	160	11	11	4.12	4.07
4	170	11	11	4.16	4.07
5	170	11	11	4.14	4.10
6	170	11	11	4.13	4.07
7	180	11	11	4.10	4.09
8	180	11	11	4.12	4.09
9	180	11	11	4.11	4.07
10	160	14	14	4.14	4.07
11	160	14	14	4.14	4.06
12	160	14	14	4.12	4.07
13	170	14	14	4.15	4.07
14	170	14	14	4.13	4.07
15	170	14	14	4.12	4.06
16	180	14	14	4.10	4.08
17	180	14	14	4.12	4.07
18	180	14	14	4.11	4.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้เฉพาะเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลอง	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)	ความเข้มข้นเริ่มต้น (องศาปริกซ์)	ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ความเป็นกรด-เบส	
				ก่อนการทำแห้ง	หลังการทำแห้ง
19	160	17	17	4.12	4.16
20	160	17	17	4.13	4.07
21	160	17	17	4.13	4.06
22	170	17	17	4.13	4.08
23	170	17	17	4.14	4.07
24	170	17	17	4.12	4.07
25	180	17	17	4.12	4.07
26	180	17	17	4.12	4.08
27	180	17	17	4.11	4.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลปริมาณโพลีฟินอลทั้งหมด

การทดลอง	อุณหภูมิผสมร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)	ความเข้มข้นเริ่มต้น (องศาบริกซ์)	ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ปริมาณโพลีฟินอลทั้งหมด (มิลลิกรัม/1กรัมเมล็ดกาแฟ)
1	160	11	11	7.23
2	160	11	11	8.18
3	160	11	11	9.67
4	170	11	11	8.30
5	170	11	11	8.27
6	170	11	11	10.46
7	180	11	11	6.59
8	180	11	11	5.36
9	180	11	11	9.71
10	160	14	14	6.33
11	160	14	14	8.52
12	160	14	14	10.36
13	170	14	14	9.51
14	170	14	14	9.70
15	170	14	14	11.46
16	180	14	14	7.74
17	180	14	14	8.15
18	180	14	14	11.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลอง	อุณหภูมิรวมขาเข้า (องศาเซลเซียส)	ความเข้มข้นเริ่มต้น (องศาปริกซ์)	ปริมาณมอลโตเด็คซ์ทริน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด (มิลลิกรัม/1กรัมเมล็ดเก๋ากี)
19	160	17	17	9.21
20	160	17	17	11.06
21	160	17	17	11.16
22	170	17	17	11.04
23	170	17	17	11.73
24	170	17	17	13.33
25	180	17	17	10.72
26	180	17	17	10.79
27	180	17	17	13.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

การทดลอง	อุณหภูมิร้อนชาเข้า (องศาเซลเซียส)	ความเข้มข้นเริ่มต้น (องศาบริกซ์)	ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (มีลลิกรัมสมมูลย์ของโทรลอกซ์/1กรัมเมล็ดกาแฟ)
1	160	11	11	4.12
2	160	11	11	4.80
3	160	11	11	5.14
4	170	11	11	4.63
5	170	11	11	4.77
6	170	11	11	5.81
7	180	11	11	3.99
8	180	11	11	3.38
9	180	11	11	5.72
10	160	14	14	3.94
11	160	14	14	4.87
12	160	14	14	5.61
13	170	14	14	4.70
14	170	14	14	5.25
15	170	14	14	6.06
16	180	14	14	4.57
17	180	14	14	4.78
18	180	14	14	6.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

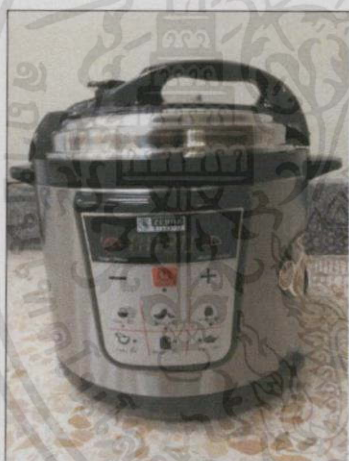
การทดลอง	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)	ความเข้มข้นเริ่มต้น (องศาปริกซ์)	ปริมาณมอลโตเด็คซ์ทริน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (มิลลิกรัมสมมูลย์ของโทรลอกซ์/1กรัมเมล็ดแก้ว)
19	160	17	17	4.76
20	160	17	17	5.97
21	160	17	17	5.91
22	170	17	17	5.21
23	170	17	17	5.89
24	170	17	17	7.33
25	180	17	17	5.82
26	180	17	17	6.02
27	180	17	17	7.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข. ภาพอุปกรณ์ วัสดุดิบ และผลิตภัณฑ์ในการทดลอง



รูปที่ ข.1 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย



รูปที่ ข.2 หม้ออัดความดันดิจิทัล



รูปที่ ข.3 เครื่องปั่นเนกประสงค์



รูปที่ ข.4 บีกเกอร์



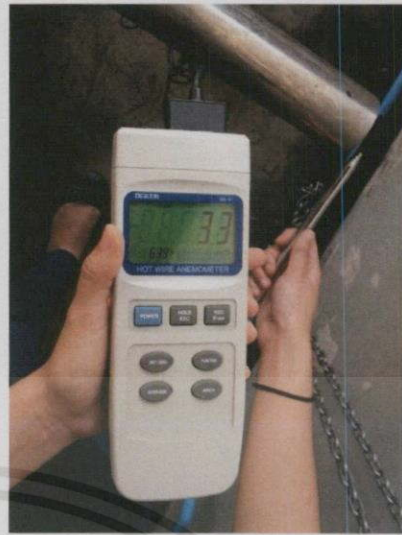
รูปที่ ข.5 รีแฟคโตมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสาร
"ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น"

เพื่อการศึกษเท่านั้น
หากไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
และต้องอ้างอิงถึงแหล่งที่มาทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



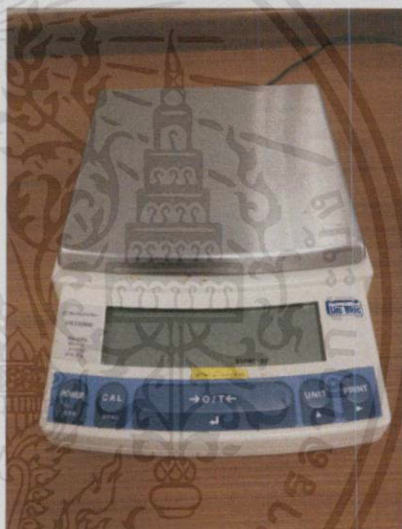
รูปที่ ข.6 ไฮโกรมิเตอร์



รูปที่ ข.7 แอนนิโมมิเตอร์



รูปที่ ข.8 เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง



รูปที่ ข.9 เครื่องชั่งน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง



รูปที่ ข.10 ตู้อบสุญญากาศ (Vacuum Oven)

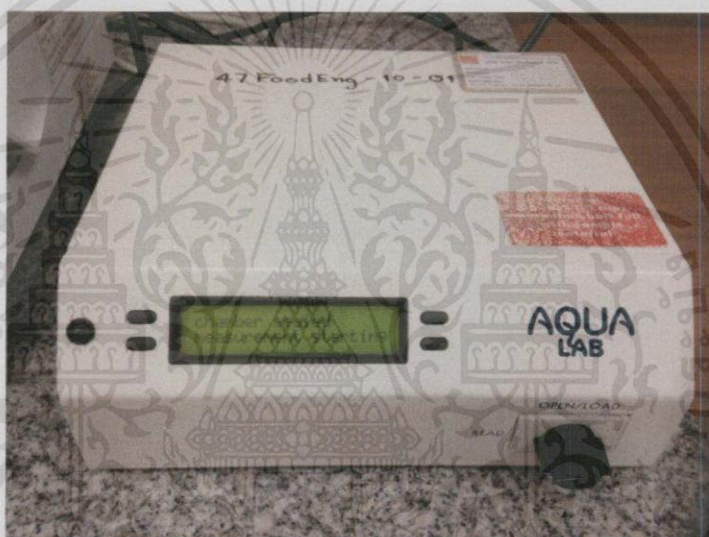
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ขออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้นำเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.11 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง



รูปที่ ข.12 เครื่องวัดสี



รูปที่ ข.13 เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ



รูปที่ ข.14 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



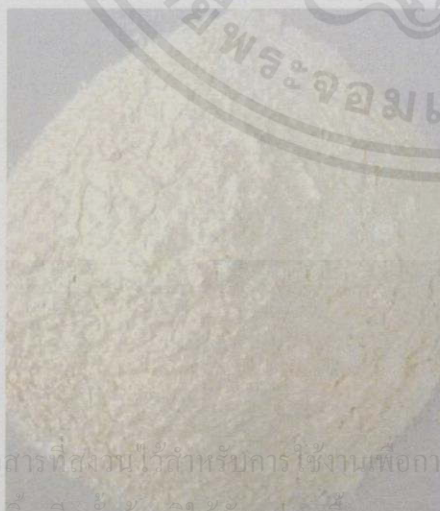
รูปที่ ข.15 เครื่องผสม(Vortex Mixer)



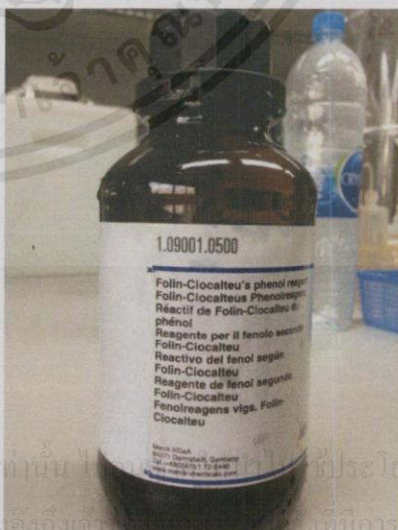
รูปที่ ข.16 ออโต้ปีเปต



รูปที่ ข.17 หลอดทดลอง

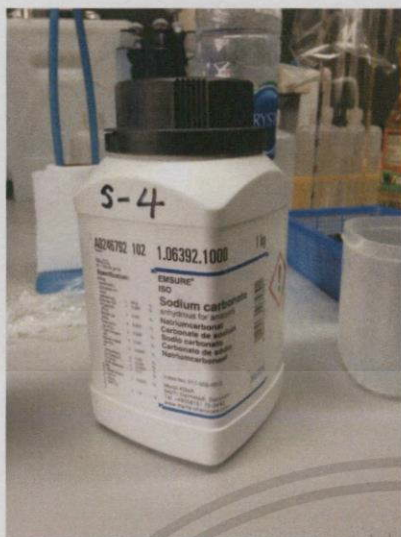


รูปที่ ข.18 มอลโตเด็กซ์ทริน (DE-10)



รูปที่ ข.19 Folin-Ciocalteu reagent

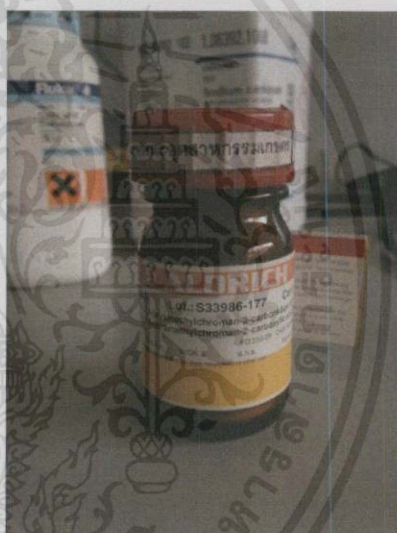
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตีพิมพ์ลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงที่มาของข้อมูลทุกครั้ง

รูปที่ ข.20 โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)

รูปที่ ข.21 กรดแกลลิก (Gallic Acid)



รูปที่ ข.22 DPPH



รูปที่ ข.23 โทรลอกซ์ (Trolox)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค. การวิเคราะห์หาปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด (Total polyphenol contents)

การวิเคราะห์หาปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด ใช้วิธีที่รายงานโดย Singleton และ Lamuela-Raventos (1999) โดยสารโพลีฟีนอลจะทำปฏิกิริยากับ Folin-Ciocalteu ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงินที่มีการดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร และใช้กรดแกลลิกเป็นสารประกอบฟีนอลมาตรฐาน

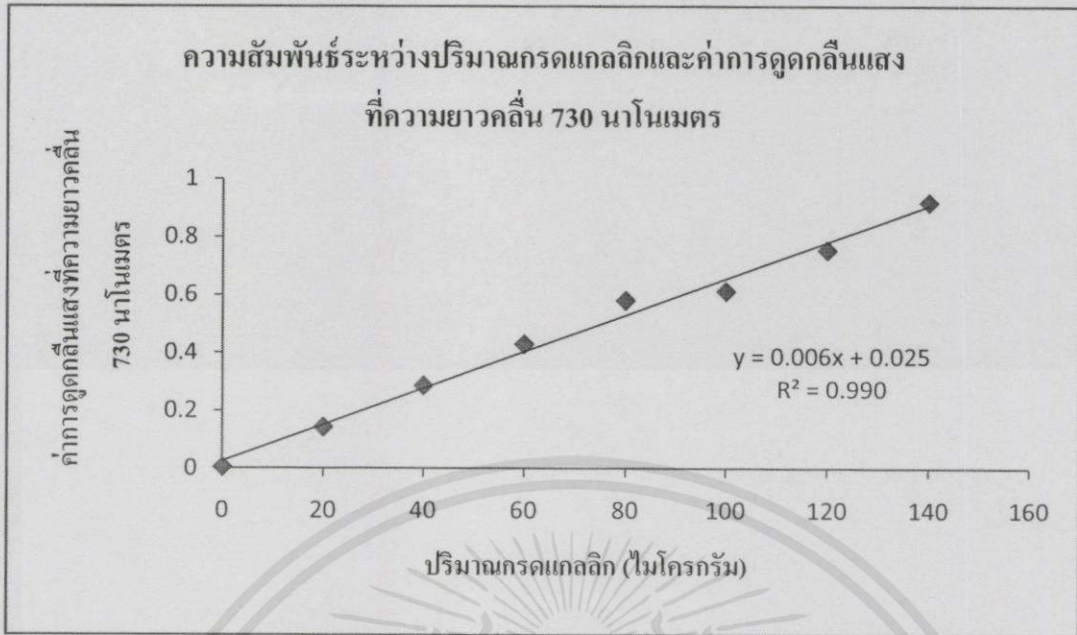
สารเคมี

1. Folin-Ciocalteu
2. โซเดียมคาร์บอเนต (NaCO_3) ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์
3. สารละลายกรดแกลลิกความเข้มข้น 400 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

การเตรียมกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้นเริ่มต้น 400 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร
2. บีบสารละลายมาตรฐานดังกล่าวใส่หลอดทดลอง หลอดละ 0, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.35 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ปริมาตรรวมในแต่ละหลอดเป็น 10 มิลลิลิตร
3. เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน วางตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที
4. เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน วางตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที
5. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร โดยใช้ น้ำกลั่นเป็น blank
6. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับปริมาณกรดแกลลิกในหน่วยไมโครกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดแกลลิกและค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร

การวิเคราะห์ปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่างสารสกัดจากเมล็ดเก๋ากี้

วิธีการวิเคราะห์ทำโดยดูดสารสกัดที่เจือจางให้มีความเข้มข้นที่เหมาะสมมา 0.5 มิลลิลิตร ปรับปริมาณด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรรวมเป็น 10 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu 0.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่าง โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก

การคำนวณปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมด

สมการจากกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก

$$y = 0.006x + 0.025; R^2 = 0.990$$

เมื่อ y = ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร

x = ปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมด (ไมโครกรัม/0.5 มิลลิลิตรสารสกัดตัวอย่าง) ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น บริษัทฯ ขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

c = จุดตัดแกน y

ตัวอย่างการคำนวณ

สารสกัดตัวอย่างเมล็ดกาแฟ

ครั้งที่ 1 ปริมาณสารสกัด 0.025 มิลลิลิตร

ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร เท่ากับ 0.331

แทนค่าในสูตร จะได้

$$0.331 = 0.006x + 0.025$$

$$x = 51.00 \text{ ไมโครกรัม} / 0.025 \text{ มิลลิลิตรของสารตัวอย่าง}$$

สารสกัดตัวอย่างมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด = 51.00 ไมโครกรัม/0.025 มิลลิลิตรของสารสกัด

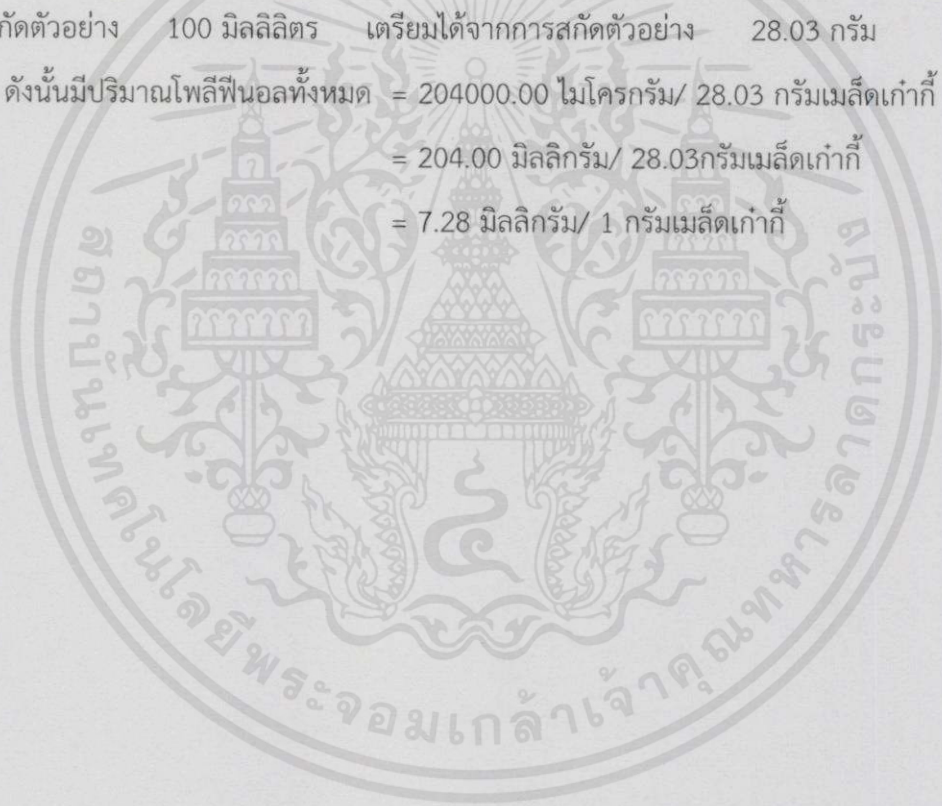
สารสกัดตัวอย่างมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด = 204000.00ไมโครกรัม/100 มิลลิลิตรของสารสกัด

ในสารสกัดตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร เตรียมได้จากการสกัดตัวอย่าง 28.03 กรัม

ดังนั้นมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด = 204000.00 ไมโครกรัม/ 28.03 กรัมเมล็ดกาแฟ

= 204.00 มิลลิกรัม/ 28.03กรัมเมล็ดกาแฟ

= 7.28 มิลลิกรัม/ 1 กรัมเมล็ดกาแฟ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง. การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (DPPH scavenging activity)

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH วิเคราะห์โดยใช้วิธีที่รายงานโดย Murakami และคณะ (2004) ซึ่งมีหลักการคือ สารละลายของอนุมูลอิสระ DPPH จะมีสีม่วงแดง ซึ่งดูดกลืนแสงได้ที่ 517 นาโนเมตร ในกรณีตัวอย่างสารสกัดที่มีฤทธิ์ในการทำลายอนุมูลอิสระได้ดี จะทำให้สีม่วงแดงของสารละลาย DPPH จางลงได้มากกว่าตัวอย่างสารสกัดที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระได้น้อย

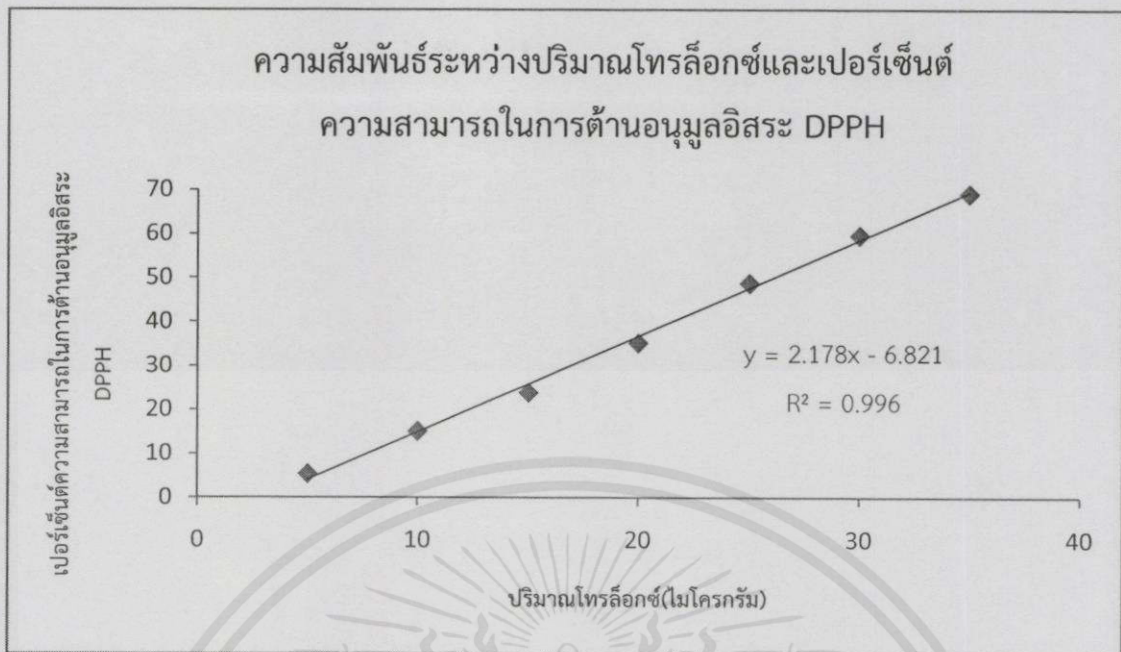
สารเคมี

1. สารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.8 มิลลิโมลาร์
2. น้ำกลั่น

การเตรียมกราฟมาตรฐานโทรลิกซ์

1. เตรียมสารละลายมาตรฐาน DPPH โดยให้ความเข้มข้น 0.8 มิลลิโมลาร์ โดยชั่ง DPPH 0.0158 กรัม ปรับปริมาตรด้วยเอทานอลให้ปริมาตรรวมเป็น 50 มิลลิลิตร
2. เตรียมสารละลายมาตรฐานโทรลิกซ์ โดยให้ความเข้มข้นโดยรวมในหลอดทดลองเป็น 5, 10, 15, 20, 25, 30 และ 35 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร โดยเตรียมโทรลิกซ์ที่ความเข้มข้น 250 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร โดยชั่งโทรลิกซ์ 0.0125 กรัม ปรับปริมาตรด้วยเอทานอลให้มีปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร โดยปิเปตมา 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.10, 0.12 และ 0.14 มิลลิลิตรตามลำดับ แล้วปรับปริมาตรด้วยเอทานอลความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ ให้มีปริมาตรรวมในแต่ละหลอดเป็น 0.2 มิลลิลิตร
3. ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น ให้ปริมาตรรวมในแต่ละหลอดเป็น 5.4 มิลลิลิตร
4. เติมสารละลาย DPPH 0.6 มิลลิลิตร
5. ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (Vortex mixer) วางตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาทีในที่มืด
6. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยใช้น้ำกลั่นเป็น Blank
7. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายในหน่วยไมโครกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโทรลือกซ์และเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

DPPH

การวิเคราะห์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ในตัวอย่างสารสกัดจาก
เมล็ดเก๋ากี้

วิธีการวิเคราะห์ทำโดยดูดสารสกัดที่เจือจางให้มีความเข้มข้นที่เหมาะสมมา 0.2 มิลลิลิตร
ปรับปริมาตรด้วยเอทานอลให้ปริมาตรรวมเป็น 5.4 มิลลิลิตร เติมสารละลาย DPPH 0.6 มิลลิลิตร
ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) วางตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาทีในที่มืด นำไปวัดค่า
การดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตรคำนวณหาความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ
DPPH ในตัวอย่างสารสกัดจากเมล็ดเก๋ากี้ โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานโทรลือกซ์

การคำนวณความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH

คำนวณความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างสารสกัด สมมูลโทรลือกซ์
ออกซ์โดยคำนวณเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ตามสมการต่อไปนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH} = \left(1 - \frac{A_{\text{sample}}}{A_{\text{control}}} \right) \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

โดยที่ A_{sample} = ค่าการดูดกลืนแสงของปฏิกิริยาของตัวอย่างสารสกัด
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และส่งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A_{control} = ค่าการดูดกลืนแสงของปฏิกิริยาควบคุม

นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาแทนค่าในสมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟมาตรฐานโทรลือกซ์
สมการจากกราฟมาตรฐานของโทรลือกซ์

$$y = 2.178x - 6.821 ; R^2 = 0.996$$

เมื่อ y = ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร

x = ค่าความเข้มข้นของสารละลาย DPPH (ไมโครกรัม/0.5 มิลลิลิตรสารสกัดตัวอย่าง)

c = จุดตัดแกน y

ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH จะรายงานในหน่วยของมิลลิกรัมสมมูลของ
โทรลือกซ์ต่อกรัมตัวอย่างโดยใช้กราฟมาตรฐานของโทรลือกซ์

ตัวอย่างการคำนวณ

สารสกัดตัวอย่างเมล็ดเก๋ากี้

ปริมาณสารสกัดตัวอย่างเมล็ดเก๋ากี้ 0.0025 มิลลิลิตร ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น
517 นาโนเมตร เท่ากับ 0.513 และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตรของตัวอย่าง
ควบคุมเท่ากับ 0.788 แทนค่าในสมการจะได้

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH} &= \{1 - (0.513/0.788)\} \times 100 \\ &= 34.90 \end{aligned}$$

แทนค่าในสมการจากกราฟมาตรฐานของโทรลือกซ์

$$34.90 = 2.178x - 6.821$$

$$x = 19.15 \text{ ไมโครกรัมสมมูลของโทรลือกซ์/0.025 มิลลิลิตรของสารสกัด}$$

สารสกัดตัวอย่างมีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH = 19.15 ไมโครกรัมสมมูล
ของโทรลือกซ์/0.025 มิลลิลิตรของสารสกัด

สารสกัดตัวอย่างมีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH = 76619.79 ไมโครกรัม
สมมูลของโทรลือกซ์/100 มิลลิลิตรของสารสกัด

ในสารสกัดตัวอย่างเมล็ดเก๋ากี้ 100 มิลลิลิตร เตรียมได้จากการสกัดตัวอย่าง 28.03 กรัม

ดังนั้นมีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH

$$= 76619.79 \text{ ไมโครกรัม/ } 28.03 \text{ กรัมเมล็ดเก๋ากี้}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ควรระวังและปฏิบัติตามข้อควรระวัง
= 76.6198 มิลลิกรัม/ 28.03 กรัมเมล็ดเก๋ากี้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและข้อมูลอ้างอิงถึงเนื้อหาเอกสาร
= 2.73 มิลลิกรัม/ 1 กรัมเมล็ดเก๋ากี้

$$= 2.73 \text{ มิลลิกรัม/ } 1 \text{ กรัมเมล็ดเก๋ากี้}$$

ภาคผนวก จ. ตารางการวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA, Analysis of Variance) โดยใช้โปรแกรม SPSS เพื่อทดสอบความสัมพันธ์ของความเข้มข้นและอุณหภูมิร้อนชาเข้าที่ใช้ในกระบวนการทำแห้ง และวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของข้อมูล ด้วยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($\alpha=0.05$)

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Moisture

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1.530 ^a	8	.191	1.216	.344
Intercept	72.816	1	72.816	463.043	.000
Brix	.283	2	.141	.899	.424
Temperature	.811	2	.406	2.580	.103
Brix * Temperature	.436	4	.109	.693	.607
Error	2.831	18	.157		
Total	77.177	27			
Corrected Total	4.360	26			

a. R Squared = .351 (Adjusted R Squared = .062)

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตที่ได้

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Yield

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	568.220 ^a	8	71.027	.551	.803
Intercept	166495.380	1	166495.380	1291.822	.000
Brix	44.439	2	22.219	.172	.843
Temperature	341.728	2	170.864	1.326	.290
Brix * Temperature	182.053	4	45.513	.353	.838
Error	2319.915	18	128.884		
Total	169383.514	27			
Corrected Total	2888.135	26			

a. R Squared = .197 (Adjusted R Squared = -.160)

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Water Activity

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.003 ^a	8	.000	.700	.688
Intercept	.829	1	.829	1428.323	.000
Brix	.000	2	.000	.178	.838
Temperature	.002	2	.001	1.409	.270
Brix * Temperature	.001	4	.000	.606	.663
Error	.010	18	.001		
Total	.843	27			
Corrected Total	.014	26			

a. R Squared = .237 (Adjusted R Squared = -.102)

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแตกต่างสีโดยรวม

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Total color difference

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2.508 ^a	8	.314	1.258	.324
Intercept	33.668	1	33.668	135.078	.000
Brix	1.001	2	.500	2.007	.163
Temperature	.102	2	.051	.206	.816
Brix * Temperature	1.405	4	.351	1.410	.271
Error	4.486	18	.249		
Total	40.662	27			
Corrected Total	6.995	26			

a. R Squared = .359 (Adjusted R Squared = .074)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความเป็นกรด-เบส

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: PH

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.001 ^a	8	.000	1.738	.157
Intercept	447.904	1	447.904	6046700.450	.000
Brix	.001	2	.000	4.550	.025
Temperature	.000	2	.000	1.850	.186
Brix * Temperature	8.148E-005	4	2.037E-005	.275	.890
Error	.001	18	7.407E-005		
Total	447.906	27			
Corrected Total	.002	26			

a. R Squared = .436 (Adjusted R Squared = .185)

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Polyphenol

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	61.430 ^a	8	7.679	3.224	.019
Intercept	2483.120	1	2483.120	1042.713	.000
Brix	47.397	2	23.698	9.951	.001
Temperature	9.509	2	4.755	1.997	.165
Brix * Temperature	4.524	4	1.131	.475	.754
Error	42.865	18	2.381		
Total	2587.415	27			
Corrected Total	104.295	26			

a. R Squared = .589 (Adjusted R Squared = .406)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความสามารถทางด้านอนุมูลอิสระ

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Antioxidant activity

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	10.331 ^a	8	1.291	1.832	.136
Intercept	751.661	1	751.661	1066.606	.000
Brix	8.096	2	4.048	5.744	.012
Temperature	1.138	2	.569	.808	.461
Brix * Temperature	1.097	4	.274	.389	.814
Error	12.685	18	.705		
Total	774.677	27			
Corrected Total	23.016	26			

a. R Squared = .449 (Adjusted R Squared = .204)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้