

การผลิตและสมบัติทางชีวภาพของสีผสมอาหารจากเปลือกแก้วมังกร
พันธุ์เนื้อผลสีแดง (*Hylocercus polyrhizus*)

นางสาวภชมน พิษญาจิตติพงษ์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2556

**PRODUCTION AND BIOLOGICAL PROPERTIES OF
FOOD COLORANTS FROM RED DRAGON FRUIT
(*Hylocercus polyrhizus*) PEELS**

Pachamon Pichayajittipong



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Science in Food Technology
Suranaree University of Technology
Academic Year 2013**

การผลิตและสมบัติทางชีวภาพของสปีดผสมอาหารจากเปลือกแก้วมังกร
พันธุ์เนื้อผลสีแดง (*Hylocercus polyrhizus*)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.มาโนชญ์ สุธีรวินานนท์)

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.ศิวัม ไทยอุดม)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร.รัชฎาพร อุ่นศิริไฉย)

กรรมการ

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม

(ผศ. ดร.สุเวทย์ นิงสานนท์)

คณบดีสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

ภขมน พิชญาจิตติพงษ์ : การผลิตและสมบัติทางชีวภาพของสีผสมอาหารจากเปลือก
แก้วมังกรพันธุ์เนื้อผลสีแดง (*Hylocercus polyrhizus*) (PRODUCTION AND
BIOLOGICAL PROPERTIES OF FOOD COLORANTS FROM RED DRAGON
FRUIT (*Hylocercus polyrhizus*) PEELS) อาจารย์ที่ปรึกษา :
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิวฒ ไทยอุดม, 128 หน้า.

เปลือกแก้วมังกรจัดเป็นของเหลือทิ้งจากการบริโภคสดแต่เป็นแหล่งของบีตาไซยานิน
การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการนำเปลือกแก้วมังกรทั้งสองพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์เนื้อสีแดง
(*Hylocercus polyrhizus*) และเนื้อสีขาว (*Hylocereus undatus*) มาผลิตเป็นสีผสมอาหาร โดยศึกษาถึง
1) สภาพที่เหมาะสมในการสกัดสารบีตาไซยานิน 2) การผลิตสีผสมอาหารโดยใช้การอบแห้งแบบ
พ่นฝอย และ 3) ศึกษาถึงสมบัติทางชีวภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์สีผสมอาหารที่ได้

เปลือกแก้วมังกรทั้งสองพันธุ์ถูกนำมาสกัดเพื่อหาปริมาณสารแอนโทไซยานินและสารบีตา-
ไซยานินโดยใช้การทดลองแบบ Box-Behnken design เพื่อเลือกสภาวะที่เหมาะสมด้วยการหาพื้นที่
ตอบสนองในการสกัดเปรียบเทียบระหว่างน้ำปราศจากไอออน และเอทานอลร้อยละ 80 ผลที่ได้
พบว่าเปลือกแก้วมังกรทั้งสองพันธุ์ไม่มีปริมาณสารแอนโทไซยานิน แต่เปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อ
สีแดงมีปริมาณสารบีตาไซยานินมากกว่าเปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อผลสีขาวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
($p \leq 0.05$) ทั้งนี้สภาวะที่ดีที่สุดในการสกัดเพื่อให้ได้บีตาไซยานินสูงสุด ได้แก่ การสกัดด้วยน้ำ
ปราศจากไอออนที่ปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เป็น 5.5 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และ
ระยะเวลาในการสกัดเท่ากับ 20 นาที เมื่อนำสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดงไปศึกษา
คุณสมบัติทางชีวภาพต่อความเป็นสารต้านการก่อกลายพันธุ์ (Antimutagenicity assay: Ames) พบว่า
สารสกัดนี้มีฤทธิ์ต้านการก่อกลายพันธุ์ของ 2 Amino-anthracene ของเชื้อแบคทีเรีย *Salmonella*
typhimurium สายพันธุ์ TA98 เท่ากับร้อยละ 47.4

สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผงสีผสมอาหารที่ให้สารบีตาไซยานินมากที่สุด ได้แก่ การใช้
สารตัวกลางร้อยละ 6 (w/w) และอัตราการปั่นเท่ากับ 6 มิลลิลิตรต่อนาทีโดยใช้อุณหภูมิคมเข้า
เท่ากับ 140 และ 160 องศาเซลเซียสสำหรับตัวอย่างที่ใช้สารตัวกลางเป็นแป้ง AOS และมอลโต-
เด็กซ์ทรินตามลำดับ เมื่อนำผงสีผสมอาหารที่ได้ไปทดสอบหาการออกฤทธิ์ทางชีวภาพด้วยวิธี
DPPH assay, วิธี ABTS assay และวิธี FRAP assay พบว่า ผงสีผสมอาหารที่ใช้สารตัวกลางเป็น
มอลโตเด็กซ์ทรินมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันไม่แตกต่างจากผงสีผสมอาหารที่ใช้แป้ง AOS เป็นสาร
ตัวกลาง ($p > 0.05$)

ผงสีผสมอาหารที่ได้ถูกนำไปทดสอบการปนเปื้อนโลหะหนักโดยใช้เครื่อง Inductive
Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES) พบว่า ทั้งผงสีผสมอาหารจากสารสกัด

เปลือกแก้วมังกรที่ใช้สารตัวกลางเป็นแป้ง AOS และมอลโตเด็กซ์ตรินไม่มีการปนเปื้อนโลหะหนัก โดยผงสีผสมอาหารที่ใช้สารตัวกลางเป็นมอลโตเด็กซ์ตรินมีคุณสมบัติการละลายมากกว่าผงสีผสมอาหารที่ใช้สารตัวกลางเป็นแป้ง AOS ส่วนสภาวะต่าง ๆ ในการทำแห้งแบบพ่นฝอยไม่ก่อให้เกิดความแตกต่างในเรื่องการละลายของสีผสมอาหารที่ได้ในแต่ละสูตรที่มีการใช้สารตัวกลางชนิดเดียวกัน แต่โครงสร้างระดับจุลภาคที่ส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของผงสีผสมอาหารจากเปลือกแก้วมังกรที่ใช้สารตัวกลางเป็นมอลโตเด็กซ์ตรินมีลักษณะอนุภาคเป็นทรงกลมและมีผิวหน้าเรียบมากกว่าผงสีผสมอาหารที่ใช้แป้ง AOS เป็นสารตัวกลาง

จากการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า เปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดงมีศักยภาพและความเป็นไปได้สูงในการนำมาผลิตเป็นสีผสมอาหารบีตาไซยานินที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระในอุตสาหกรรมอาหารได้



สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

ปีการศึกษา 2556

ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม _____

PACHAMON PICHAYAJITTIPONG : PRODUCTION AND BIOLOGICAL
PROPERTIES OF FOOD COLORANTS FROM RED DRAGON FRUIT
(*Hylocercus polyrhizus*) PEELS. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. SIWATT
THAIUDOM, Ph.D., 128 PP.

BETACYANIN/DRAGON FRUIT/FOOD COLORANT

Peel from dragon fruit is waste from human consumption but it is also recognized as a source of betacyanin. This study focused on the production of food colorants extracted from red (*Hylocercus polyrhizus*) and white (*Hylocercus undatus*) flesh dragon fruit peel by examining: 1) the optimum condition of betacyanin extraction, 2) the optimum spray drying condition for colorant powder, and 3) the biological properties and safety of such the extracted colorant.

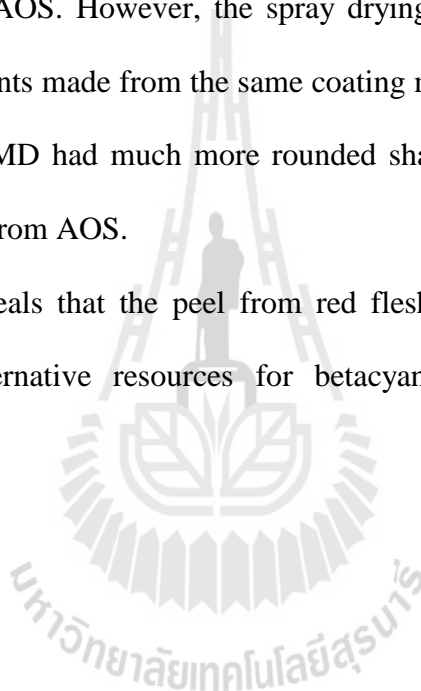
The peel from red and white flesh dragon fruits was used for quantification of anthocyanin and betacyanin contents by extraction using deionized water (DI) or 80% ethanol as an extraction solvent. The Box-Behnken design was used to investigate the optimum condition of extraction via response surface methodology (RSM). No anthocyanin in the peel of either fruit species was found but the red flesh type contained more betacyanin than the white. The optimum condition to obtain the highest betacyanin content was DI water extraction at pH 5.5, 40°C for 20 min. An antimutagenicity assay (Ames) was used to investigate the bioactive activity of the extract in *Salmonella typhimurium* TA98. The inhibition of 2-Amino-anthracene mutagenicity by this extract was 47.4%.

The optimum condition of red colorant powder production was at 6% coating medium, feed rate at 6 ml/min, and inlet temperature at 160°C for MD or 140°C for

AOS. The values of bioactive activity detected by the DPPH, ABTS, and FRAP assays of red colorant powder made from MD were not different from those of the red colorant made from AOS.

The red colorants from both coating mediums, detected by Inductive Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES), did not have any heavy metal content. The solubility of red colorants made from MD was higher than that of the colorants made from AOS. However, the spray drying conditions did not affect the solubility of red colorants made from the same coating medium. Microstructures of red colorants made from MD had much more rounded shape and smoother surface than those of the colorants from AOS.

This study reveals that the peel from red flesh dragon fruits could possibly provide potential alternative resources for betacyanin as a food colorant with antioxidant activity.



School of Food Technology

Academic Year 2013

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

Co-advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิววัฒน์ ไทยอุดม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชฎาพร อุ่นศิริไธย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้โอกาสทางการศึกษา ให้ความรู้ ความสำเร็จใจใส่ ให้คำปรึกษา ชี้แนะ ให้ความช่วยเหลือทางการศึกษาและงานวิจัย รวมทั้งให้คำแนะนำ ตรวจสอบ และแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มาโนชญ์ สุธีรพัฒนานนท์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ให้การเขียนวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวชื่อมา ณ ที่นี้ ที่ให้ความรู้ในด้านวิชาการตลอดระยะเวลาที่ศึกษาในมหาวิทยาลัยแห่งนี้

ขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนการวิจัย ประเภทบัณฑิตศึกษา สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย ขอขอบคุณสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ให้โอกาสทางการศึกษาและสนับสนุนทุนการศึกษา ซึ่งทำให้ผู้วิจัยได้มีโอกาสศึกษาต่อในระดับปริญญาโท

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาคารเครื่องมือ 1, 2, 3 และ 10 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกท่านที่สละเวลาให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในงานวิจัยให้ผู้วิจัยด้วยดีตลอดมา

ท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่คอยให้กำลังใจ ดูแลเอาใจใส่และส่งเสริมให้มีโอกาสได้ศึกษาเล่าเรียน ขอขอบคุณ พี่ เพื่อน และน้อง ๆ ระดับบัณฑิตศึกษาและผู้ช่วยวิจัยสาขาเทคโนโลยี-อาหารทุก ๆ คน ที่ให้คำปรึกษาด้านวิชาการ คำแนะนำ ประสพการณ์ และให้กำลังใจมาโดยตลอด

ภชมน พิษญาจิตติพงษ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูปภาพ.....	ฐ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฒ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	5
1.3 สมมติฐานการวิจัย.....	6
1.4 ขอบเขตการวิจัย	6
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
2 ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.1 แก้วมังกร.....	8
2.1.1 ลักษณะแก้วมังกร	9
2.1.2 การเพาะปลูกและการเก็บเกี่ยวผลแก้วมังกร.....	11
2.1.3 ประโยชน์และคุณค่าทางอาหารของแก้วมังกร	11
2.2 สารแอนโทไซยานิน (Anthocyanins).....	13
2.2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานิน.....	15
2.3 สารบีตาเลน (Betalains)	17
2.3.1 ผลของความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อบีตาเลน	20
2.3.2 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อบีตาเลน	21
2.3.3 ผลของสารอื่น ๆ ที่มีผลต่อบีตาเลน.....	21

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4	สีผสมอาหาร	21
2.4.1	วัตถุประสงค์ของการใช้สีผสมอาหาร	21
2.4.2	การใช้สีผสมอาหารเพื่อแต่งสีของอาหาร	22
2.4.3	ชนิดของสีผสมอาหาร	22
2.4.4	สีสังเคราะห์	22
2.4.5	สีที่ได้จากธรรมชาติ.....	23
2.4.6	คุณลักษณะของสีผสมอาหารที่ได้มาตรฐาน	23
2.4.7	ข้อกำหนดเกี่ยวกับการใช้สีผสมอาหาร	23
2.5	ไมโครเอนแคปซูเลชัน (Microencapsulation).....	25
2.5.1	การประยุกต์เทคนิคเอนแคปซูเลชันร่วมกับเทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย	26
2.5.1.1	การทำให้ของเหลวกระจายตัวเป็นละออง (Atomization of ของเหลวในระบบ).....	27
2.5.1.2	การสัมผัสของละอองฝอยกับอากาศ	28
2.5.1.3	การระเหยของละอองฝอย	29
2.5.1.4	ขั้นตอนการแยกผลิตภัณฑ์แห้งจากอากาศ	29
2.5.2	สารตัวกลาง	31
2.5.2.1	มอลโทเดกซ์ทริน (Maltodextrin)	32
2.5.2.2	แป้งดัดแปรแป้งอะเซทิลเลทออกซิไดซ์ (Acetylated oxidized starch).....	33
2.6	การทดสอบความเป็นสารต้านการก่อกลายพันธุ์ (Antimutagenicity assay).....	33
2.6.1	การกลายพันธุ์ (Mutation)	34
2.6.2	ระดับของการกลายพันธุ์.....	34
2.6.3	หลักการของการทดสอบฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์	34
2.6.4	วิธีตรวจสอบฤทธิ์ก่อการกลายพันธุ์	34
3	วัสดุและวิธีการ	38
3.1	อุปกรณ์และเครื่องมือ	38
3.2	วัตถุดิบ	40

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3 การเตรียมตัวอย่าง	40
3.3.1 การเตรียมตัวอย่างเพื่อตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารแอนโทไซยานินและ สารบีตาไซยานินในเปลือกแก้วมังกรทั้งชนิดเนื้อผลสีขาวและสีแดง	40
3.3.2 การเตรียมตัวอย่างเพื่อหาสถานะการสกัดสารแอนโทไซยานินและ บีตาไซยานินที่เหมาะสมจากผลของความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิและ ระยะเวลาในการสกัด	40
3.4 การศึกษาและการทดสอบคุณลักษณะต่าง ๆ	40
3.4.1 การตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารแอนโทไซยานินและบีตาไซยานิน ในเปลือกแก้วมังกรสดทั้งชนิดเนื้อผลสีขาวและสีแดง	40
3.4.1.1 การวิเคราะห์ปริมาณสารแอนโทไซยานิน (Total and Colored Anthocyanins)	41
3.4.1.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารบีตาไซยานิน	41
3.4.1.3 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total polyphenols, TP)	42
3.4.1.4 การวิเคราะห์ค่าสี	42
3.4.1.5 การวิเคราะห์หาค่าความชื้น	42
3.4.1.6 การวิเคราะห์หาค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w)	43
3.4.2 การหาสถานะการสกัดสารแอนโทไซยานินและบีตาไซยานินที่เหมาะสม จากผลของความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัด	43
3.4.3 การหาสูตรที่เหมาะสมของการผลิตสีผสมอาหารจากเปลือกแก้วมังกร	44
3.4.4 การศึกษาคุณสมบัติในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน	45
3.4.4.1 วิธี DPPH• radical scavenging activity	46
3.4.4.2 วิธีวิเคราะห์ ABTS ⁺⁺	46
3.4.4.3 วิธีวิเคราะห์ Ferric-ion reducing antioxidant power (FRAP)	47
3.4.5 การศึกษาคุณสมบัติการศึกษาคุณสมบัติทางชีวภาพของสารสกัด แก้วมังกรแดงต่อความเป็นสารต้านการก่อกลายพันธุ์ (Antimutagenicity assay)	47

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4.5.1	วิธีการเตรียมสารสกัดเปลือกแก้วมังกรแดง	47
3.4.5.2	แบคทีเรียที่ใช้ทดสอบ	47
3.4.5.3	วิธีการทดสอบฤทธิ์ก่อการกลายและฤทธิ์ต้านการกลายพันธุ์ ในแบคทีเรีย.....	47
3.4.6	การศึกษาปริมาณโลหะหนักปนเปื้อนในผงสีจากสารสกัด เปลือกแก้วมังกรแดง	49
3.4.6.1	วิธีการเตรียมตัวอย่าง โดยการย่อยตัวอย่าง	49
3.4.6.2	การวิเคราะห์ปริมาณ โลหะหนักปนเปื้อนในตัวอย่าง	49
3.4.7	การวิเคราะห์คุณสมบัติการละลาย (Water Solubility Index: WSI)	50
3.4.8	การส่องตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning microscopy : SEM)	50
3.4.9	การวัดขนาดอนุภาคโดยใช้เลเซอร์	50
3.4.10	การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์	51
3.4.10.1	การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์มาตรฐานด้วยวิธี Total plate count.....	51
3.4.10.2	การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อ <i>E.coli</i> และ <i>Coliform</i>	51
3.5	การวิเคราะห์ทางสถิติ	51
3.6	สถานที่ทำการทดลองและเก็บข้อมูล	52
4	ผลการทดลองและการวิจารณ์	53
4.1	การตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารแอนโทไซยานินและสารบีตาไซยานินในเปลือก แก้วมังกรทั้งชนิดพันธุ์เนื้อผลสีขาวและพันธุ์เนื้อผลสีแดง	53
4.2	การศึกษาสภาวะการสกัดสารแอนโทไซยานินและสารบีตาไซยานินที่เหมาะสม จากผลของความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัด	56
4.2.1	การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน (Anthocyanins)	57
4.2.2	การวิเคราะห์ปริมาณบีตาไซยานิน (Betacyanins)	57
4.2.3	การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด (Total polyphenols)	61
4.2.4	การวิเคราะห์ค่าสี	62

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3 การศึกษาคุณสมบัติการศึกษาคุณสมบัติทางชีวภาพของสารสกัดแก้วมังกรแดงต่อ ความเป็นสารต้านการก่อกลายพันธุ์ (Antimutagenicity assay).....	63
4.4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการผลิตสีผสมอาหารจากเปลือกแก้วมังกร.....	67
4.5 การศึกษาคุณสมบัติในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน	76
4.6 การศึกษาปริมาณโลหะหนักปนเปื้อนในผงสีจากสารสกัดเปลือกแก้วมังกรแดง.....	80
4.7 การศึกษาคุณสมบัติการละลาย โครงสร้างระดับจุลภาค และการกระจายตัวของ ขนาดอนุภาคของผงสีจากสารสกัดเปลือกแก้วมังกรแดง.....	80
4.8 การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์.....	91
5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	93
5.1 บทสรุป.....	93
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	93
รายการอ้างอิง	95
ภาคผนวก ก ผลการทดลอง	111
ประวัติผู้เขียน.....	128

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ส่วนประกอบของผลแก้วมังกรที่ปลูกในประเทศไทย ต่อส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม..... 12
2.2	ส่วนประกอบของผลแก้วมังกรที่ปลูกในประเทศเวียดนาม ต่อส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม 12
2.3	โครงสร้างพื้นฐานของแอนโทไซยานิน 15
3.1	แผนการทดลองแบบ Box-Behnken design ขนาด 15 สิ่งทดลอง..... 43
3.2	แผนการทดลองแบบ 2 ³ Factorial design 45
4.1	ค่าสี และปริมาณความชื้นของเปลือกแก้วมังกรในระหว่างการเตรียมตัวอย่าง 53
4.2	ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบต่าง ๆ ของสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรสด ทั้งพันธุ์เนื้อสีขาวและเนื้อสีแดงที่สกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 80 ของเปลือกสด 54
4.3	ปริมาณสารบีตาไซยานินและสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผงสีจากสารสกัดเปลือกแก้วมังกรของแต่ละสถานะการทำแห้งแบบพ่นฝอย..... 73
4.4	ค่าสีของผงสีจากสารสกัดเปลือกแก้วมังกรแดงของแต่ละสถานะการทำแห้งแบบพ่นฝอย 74
4.5	ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระออกซิเดชันของผงสีจากสารสกัดเปลือกแก้วมังกรแดง 79
4.6	ผลการวิเคราะห์โลหะหนักปนเปื้อนในสีผสมอาหารแก้วมังกรและสีผสมอาหารทางการค้า (สีแดงและสีชมพู) 82
4.7	คุณสมบัติการละลาย (WSI) ของผงสีจากสารสกัดเปลือกแก้วมังกรในแต่ละสถานะการทำแห้งแบบพ่นฝอย, แป้ง MD และแป้ง AOS ทั้งก่อนและหลังการทำแห้งแบบพ่นฝอย 83
4.8	ค่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของผงสีจากสารสกัดเปลือกแก้วมังกรในแต่ละสถานะการทำแห้งแบบพ่นฝอย, มอลโตเด็คทรีนซ์ และแป้ง AOS ทั้งก่อนและหลังการทำแห้งแบบพ่นฝอย 84
4.9	ผลการตรวจการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ 92
ก.1	ปริมาณสารบีตาไซยานิน (Betacyanins) ของสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรของแต่ละสถานะการสกัด 112

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.2 ปริมาณสารประกอบพีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรของแต่ละ แต่ละสภาวะการสกัด	114
ก.3 ค่าความสว่าง (L*) ของสารสกัดของเปลือกแก้วมังกรของแต่ละสภาวะการสกัด.....	115
ก.4 ค่าความสว่าง (L*) ของสารสกัดของเปลือกแก้วมังกรของแต่ละสภาวะการสกัด.....	118
ก.5 ค่า b* ของสารสกัดของเปลือกแก้วมังกรของแต่ละสภาวะการสกัด	120
ก.6 ค่า Chroma ของสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรของแต่ละสภาวะการสกัด.....	122
ก.7 ค่า Hue angle ของสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรของแต่ละสภาวะการสกัด	124
ก.8 ค่า Total color difference ของสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรของแต่ละ สภาวะการสกัด	126

สารบัญรูป

ภาพที่	หน้า
2.1	แก้วมังกร 8
2.2	ลักษณะผลแก้วมังกรสายพันธุ์ <i>Hylocercus undatus</i> สายพันธุ์ <i>H. polyrhizus</i> สายพันธุ์ <i>H. megalanthus</i> สายพันธุ์ <i>H. purpusii</i> สายพันธุ์ <i>H. costaricensis</i> และ สายพันธุ์ <i>H. trigonus</i> 66
2.3	โครงสร้างทางเคมีของสารแอนโทไซยานิน 14
2.4	สารประกอบสำคัญต่าง ๆ ในกลุ่มสารบีตาเลน 17
2.5	โครงสร้างทางเคมีของสารบีตาไซยานินและบีตาแซนทิน 18
2.6	กระบวนการสลายตัวของสีของสารบีตาเลน 20
2.7	การเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย 26
2.8	ลักษณะของอนุภาคผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิค การอบแห้งแบบพ่นฝอย 27
2.9	หัวเหวี่ยงแบบโรตารี (Rotary atomizer) 27
2.10	หัวฉีดแบบใช้ความดัน (Pressure nozzles atomizer) 28
2.11	การไหลของอากาศภายในของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย 29
2.12	การตรวจสอบผลการทดสอบความเป็นสารต้านการก่อกลายพันธุ์ 36
4.1	Response surface plot ของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารบีตาไซยานินในการศึกษา สภาวะที่สกัดที่เหมาะสม 60
4.2	Contour plot ของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารบีตาไซยานินในการศึกษา สภาวะที่สกัดที่เหมาะสม 61
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มข้นของสาร 2-AA กับจำนวนของ เชื้อแบคทีเรีย <i>Salmonella typhimurium</i> TA98 64
4.4	การก่อกลายพันธุ์ (Mutagenic activity) ของเชื้อแบคทีเรีย <i>Salmonella typhimurium</i> TA98 ด้วยสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรแดงที่สกัดด้วย DI water 64

สารบัญรูป (ต่อ)

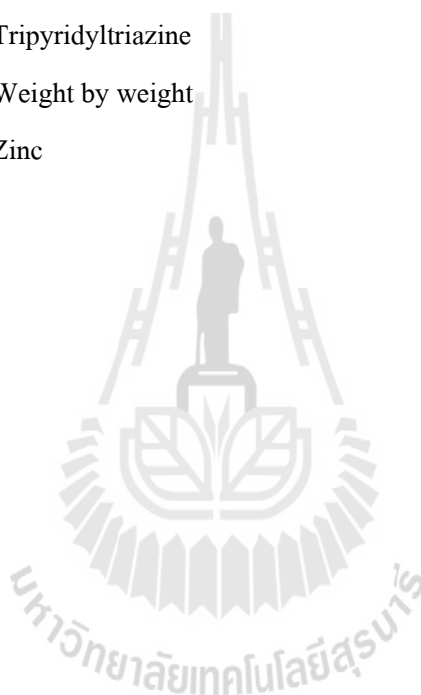
ภาพที่	หน้า
4.5 การต้านการก่อกลายพันธุ์ (Antimutagenic activity) ของเชื้อแบคทีเรีย <i>Salmonella typhimurium</i> สายพันธุ์ TA98 ด้วยสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรแดงที่สกัดด้วย DI water	66
4.6 ลักษณะ โคลโลนีของเชื้อแบคทีเรีย <i>Salmonella typhimurium</i> สายพันธุ์ TA98 ต่อการต้านการก่อกลายพันธุ์ (Antimutagenic activity) ด้วยสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรที่สกัดด้วย DI water ที่ปริมาณความเข้มข้นของฟีนอลิกเท่ากับ 0.033-0.522 mg GAE/mL.....	66
4.7 Response surface plot ของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารบีตาไซยานินกับแป้ง Acetylated oxidized starch (AOS)	67
4.8 Contour plot ของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารบีตาไซยานินกับแป้ง Acetylated oxidized starch (AOS)	68
4.9 Response surface plot ของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารบีตาไซยานินกับมอลโตเดคทรินซ์.....	69
4.10 Contour plot ของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารบีตาไซยานินกับมอลโตเดคทรินซ์.....	70
4.11 การกระจายตัวของอนุภาคตัวอย่างผงสีจากเปลือกแก้วมังกรแดงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยในสถานะต่าง ๆ ที่ผสมมอลโตเดคทรินซ์ และมอลโตเดคทรินซ์ในสถานะก่อนและหลังการทำแห้งแบบพ่นฝอย.....	85
4.12 การกระจายตัวของอนุภาคตัวอย่างผงสีจากเปลือกแก้วมังกรแดงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยในสถานะต่าง ๆ ที่ผสมแป้ง AOS และแป้ง AOS ในสถานะก่อนและหลังการทำแห้งแบบพ่นฝอย.....	85
4.13 ภาพ SEM ของมอลโตเดคทรินซ์และแป้ง AOS ในสถานะก่อนและหลังทำการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่กำลังขยาย 500x.....	87
4.14 ภาพ SEM ของผงสีจากเปลือกแก้วมังกรแดงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยในสถานะต่าง ๆ ที่ผสมมอลโตเดคทรินซ์และแป้ง AOS ที่กำลังขยาย 500x.....	89
4.15 ภาพ SEM ของผงสีผสมอาหารทางการค้าสีแดงและสีชมพูที่กำลังขยาย 500x.....	91

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

2-AA	=	2-amino-anthracene
ABTS	=	2, 2'-Azinobis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)
ANOVA	=	Analysis of variance
AOS	=	Acetylated Oxidized Starch
As	=	Arsenic
a_w	=	Water Activity
°C	=	Celsius Degree
DPPH	=	2, 2-Di(4- <i>tert</i> -octylphenyl)-1-picrylhydrazyl
FRAP	=	Ferric reducing antioxidant power
g	=	Gram
h	=	Hour
Hg	=	Mercury
ICP-OES	=	Inductively Couple Plasma-Optical Emission Spectrometer
kg	=	Kilogram
L	=	Liter
μ	=	Micro
m	=	Milli
mg	=	Milligram
mL	=	Mililiter
min	=	Minute
mM	=	Millimolar
M	=	Molar
MD	=	Maltodextrin
MS	=	Modified Starch
Pa	=	Pascal
Pb	=	Lead
ppb	=	Part per billion
ppm	=	Part per million

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

%	=	Percentage
RSM	=	Response Surface Methodology
R ²	=	Coefficient of determination
S-9 mix	=	Mammalian microsomal activation system
Temp	=	Temperature
TP	=	Total polyphenols
TPTZ	=	Tripyridyltriazine
w/w	=	Weight by weight
Zn	=	Zinc



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สีผสมอาหาร (Colorant) ทำให้อาหารมีสีสันและแลดูน่ารับประทาน ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการยอมรับในตัวผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค อุตสาหกรรมอาหารมักใช้สีผสมอาหารเพื่อให้ผลิตภัณฑ์อาหารมีคุณสมบัติกายภาพด้านสีคงอยู่เหมือนลักษณะปรากฏดั้งเดิมของอาหารนั้น ๆ ถึงแม้ผลิตภัณฑ์นั้นจะต้องผ่านกระบวนการผลิตที่อาจส่งผลต่อการสูญเสียตามธรรมชาติของอาหาร อย่างไรก็ตามการใช้สีผสมอาหารประเภทสีสังเคราะห์อาจก่อให้เกิดปัญหาในเรื่องความปลอดภัยต่อการบริโภค และในปัจจุบันสีผสมอาหารประเภทสีสังเคราะห์บางชนิดก็ไม่ได้รับอนุญาตให้ใช้ได้อีกต่อไป ประกอบกับผู้บริโภคมีความห่วงใยในสุขภาพของตนเองมากขึ้น การใช้สีผสมอาหารที่สกัดได้จากวัตถุดิบทางธรรมชาติจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่แก้ปัญหที่เกิดขึ้นนี้ได้เป็นอย่างดี

แก้วมังกร (Dragon fruit) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Hylocereus cacti* หรือเรียกอีกอย่างว่า Red pitaya หรือ Pitahaya (Wu et al., 2006) เป็นพืชในตระกูลกระบองเพชร ลักษณะลำต้นมีสีเขียวเป็นพืชรอบน้ำ มีต้นกำเนิดจากประเทศเม็กซิโก อเมริกากลาง และอเมริกาใต้ ประเทศที่นำเข้าเป็นจำนวนมาก ได้แก่ จีน ฮองกง สิงคโปร์ และได้หวัน สำหรับในประเทศไทยได้เริ่มมีการปลูกแก้วมังกรเป็นการค้าในช่วง 7-8 ปีที่ผ่านมา ซึ่งแก้วมังกรมีศักยภาพในการปลูกเป็นไม้ผลเศรษฐกิจของประเทศไทยและมีอนาคตทางการตลาดไปได้ดีเนื่องจากการปลูกดูแลรักษาไม่ยุ่งยากและยังให้ผลผลิตที่ค่อนข้างคุ้มค่าสำหรับเกษตรกรที่ปลูก นอกจากนี้สภาพภูมิอากาศของประเทศไทยก็เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของแก้วมังกรอีกด้วย (สุทธิศักดิ์ บุญยาคูมานนท์, 2553) ปัจจุบันแก้วมังกรทั้งพันธุ์เนื้อสีขาวเปลือกสีแดง (*Hylocereus undatus*) และเนื้อสีแดงเปลือกสีแดง (*Hylocereus polyrhizus*) เป็นพืชที่ปลูกง่ายและกำลังเป็นที่นิยมของผู้บริโภคเนื่องจากมีคุณค่าทางอาหารสูง (วิภาวี ขำจิตร และวารินทร์ ยางเดิม, 2550) โดยส่วนของเนื้อนอกจากรับประทานสดแล้วยังสามารถแปรรูปเป็นน้ำผลไม้และผลไม้กวนอีกด้วย ส่วนเปลือกซึ่งมีสีม่วงแดงนั้นเป็นส่วนวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่สามารถนำมาสกัดบีตาเลนเพื่อเพิ่มมูลค่าได้

รงควัตถุที่มีสีแดง หรือสีม่วงแดง ซึ่งพบในพืชหลายชนิดจัดเป็นรงควัตถุประเภทที่ละลายน้ำได้ในระหว่างกลุ่มของสารแอนโทไซยานินหรือสารบีตาไซยานิน (Brockington, Walker, Glover, Soltis, and Soltis, 2011; Nielson and Harley, 2004) ซึ่งสารทั้งสองมีค่าสเปกตรัมแตกต่างกัน

เล็กน้อยโดยเฉพาะในช่วงสีอัลตราไวโอเล็ตซึ่งสารแอนโทไซยานินจะมีค่าการดูดกลืนแสงที่เข้มกว่า (Peter and Noble, 2012)

สารในกลุ่มแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) ถือเป็นสารที่ให้โทนสีแดงซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นสีผสมอาหารที่ได้จากธรรมชาติ ในปัจจุบันสีผสมอาหารโทนสีแดงจากแอนโทไซยานินเป็นที่รู้จักกันดีในอุตสาหกรรมอาหาร แอนโทไซยานินนอกจากจะให้สีแดงตามธรรมชาติแล้วยังมีสมบัติทางคลินิกที่เชื่อว่าเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ ทั้งนี้เนื่องจากแอนโทไซยานินมีสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Einbond, Reyne3444rtson, Luo, Basile, and Kennelly, 2003) สารแอนโทไซยานินที่ได้จากแหล่งธรรมชาติมักได้จากผักและผลไม้ที่มีสีแดง ม่วง หรือน้ำเงิน จัดอยู่ในกลุ่มสารจำพวกฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) ซึ่งถือเป็นอนุพันธ์ของเกลือ Glycosylated (Anthocynidins) ของ Polyhydroxy และ/หรือของ Polymethoxylated 2-phenylbenzopyrolium (Flavylium) สารจำพวกนี้เกิดขึ้นในธรรมชาติในรูปของไกลโคไซด์ (Glycosides) ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่เป็นน้ำตาลและส่วนที่เป็นอะไกลโคน (Aglycone) เรียกว่า Anthocyanidins (นิธิยา, 2549) และอาจเป็นสารจำพวก Acylated ที่มี Aliphatic หรือ Aromatic acids เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย (Guisti and Wrolstad, 2003)

สารในกลุ่มบีตาเลน (Betalains) เป็นกลุ่มของรงควัตถุที่ให้สีแดงและสีเหลืองคล้ายแอนโทไซยานิน พบได้จากแหล่งธรรมชาติ เช่น หัวบีทรูท (Beet root) โดยสารประกอบที่ได้จะมีสีแดงเมื่อพันธะคูมีเรโซแนนซ์ (Resonance) เรียกว่า บีตาไซยานิน (Betacyanin) แต่ถ้าพันธะคูไม่มีเรโซแนนซ์ สารประกอบที่ได้จะมีสีเหลือง เรียกว่า บีตาแซนทิน (Betaxanthin) บีตาเลนในธรรมชาติมีจำนวนบีตาไซยานินมากกว่าบีตาแซนทิน ซึ่งทั้งสีแดงและสีเหลืองจะเกิดขึ้นอยู่ร่วมกันเสมอ นอกจากนี้บีตาเลนยังมีสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเช่นเดียวกับแอนโทไซยานินอีกด้วย บีตาเลนจัดเป็นสารจำพวกฟลาวานอยด์ แต่มีส่วนประกอบของไนโตรเจนร่วมด้วย และค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีเช่นเดียวกับแอนโทไซยานิน (Harivaindaran, Rebecca, and Chandran, 2008) บีตาเลนประกอบด้วยโทนสีแดงอมม่วงของบีตาไซยานินและโทนสีเหลืองของบีตาแซนทิน บีตาเลนเป็นรงควัตถุที่สามารถละลายได้ในน้ำ พบมากในดอกไม้และผลไม้ (Wu et al., 2006; Wybraniec and Mizrahi, 2002) แอนโทไซยานินและบีตาเลนมีโครงสร้างทางเคมีไม่เหมือนกันทำให้บอกความแตกต่างกันได้ง่าย นอกจากนี้ยังมีช่วงดูดกลืนแสงแตกต่างกันด้วย แอนโทไซยานินสามารถสกัดออกจากพืชได้ง่ายด้วยเมธานอล แต่สกัดออกได้เพียงเล็กน้อยด้วยน้ำ และดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 270 นาโนเมตร ส่วนบีตาเลนจะละลายได้ดีในน้ำ และดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 480 นาโนเมตร นอกจากนี้ยังใช้วิธีอิเล็กโทรโฟรีซิสแยกความแตกต่างของแอนโทไซยานินและบีตาเลนได้ เมื่อใช้บัฟเฟอร์ที่เป็นกรดอ่อนแอนโทไซยานินจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วบวก ขณะที่บีตาเลนเคลื่อนที่ไปยังขั้วลบ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549)

กระบวนการสกัดเอาบีตาไซยานินออกจากเปลือกแก้วมังกรจึงจำเป็นต้องอาศัยกรรมวิธีที่เหมาะสมเพื่อรักษาปริมาณบีตาไซยานินที่ได้ไว้ในระดับปริมาณที่มากเพียงพอต่อการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารต่อไปได้ ปัจจัยที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับกรรมวิธีสกัดบีตาไซยานิน ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด ซึ่งปัจจัยเหล่านี้อาจมีผลโดยตรงต่อคุณสมบัติทางด้านสี ด้านเคมี เช่น ความเป็นสารต้านออกซิเดชัน และด้านชีวภาพ เช่น ฤทธิ์ในการต้านการก่อกลายพันธุ์ จากการศึกษาของ Harivaindaran et al. (2008) พบว่าการสกัดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 5 นาทีในสารละลายกรดซิตริก (pH 5) เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สามารถสกัดปริมาณสารบีตาไซยานินมากที่สุด อย่างไรก็ตามการผลิตสีผสมอาหารไม่ได้เป็นการเอาเฉพาะสารสกัดที่ได้มาใช้โดยตรง เนื่องจากสีดังกล่าวที่ได้ อาจมีปริมาณเล็กน้อยและการใช้สีผสมอาหารในอุตสาหกรรมอาหารจริง ๆ ไม่จำเป็นต้องใช้สีที่มีความเข้มมากเกินไป

ในกระบวนการผลิตสีผสมอาหารนั้นบริษัทหรืออุตสาหกรรมผลิตสีผสมอาหารนิยมใช้เทคนิคการเอนแคปซูเลชัน (Encapsulation) ด้วยการอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหารเนื่องจากได้ผลิตผลที่มีคุณภาพดี มีค่าปริมาณน้ำอิสระต่ำและต้นทุนการผลิตต่ำกว่าวิธีอื่น นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าวิธีนี้สามารถรักษาปริมาณสารฟลาโวนอยด์ และคุณสมบัติการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้สูงกว่าการทำแห้งแบบสุญญากาศ ขั้นตอนการเอนแคปซูเลชันโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอยประกอบไปด้วย การนำตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบ (Carrier หรือ Wall material) หรือสารตัวกลาง (Coating medium) ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น มอลโตเดกซ์ทริน (Maltodextrin) แป้งดัดแปร (Modified Starch) กัม หรือส่วนผสมของสารเหล่านี้มาละลายน้ำ เพื่อเพิ่มความคงตัวและปริมาณของสีที่อยู่ในสารสกัดนั้น นำสารสีที่สกัดได้มาผสมกับสารละลายของตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบ (Carrier solution) แล้วนำส่วนผสมที่ได้ไปผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ (Homogenization) เพื่อให้สารตัวกลางเคลือบสารสีที่สกัดได้ การผสมสารสกัดที่ได้กับสารตัวกลางให้มีสัดส่วนที่เหมาะสมอาจเป็นอีกปัจจัยที่ทำให้คุณสมบัติทางด้านสี ด้านเคมี และด้านชีวภาพของสารสกัดที่ให้สีเปลี่ยนแปลง

แป้งอะเซททิลเลทออกซิไดซ์ (Acetylated oxidized starch, AOS) เป็นแป้งดัดแปรด้วยปฏิกิริยาเอซิติเลชันร่วมกับวิธีออกซิเดชัน ซึ่งปฏิกิริยาเอซิติเลชันเป็นการใช้หมู่เอซิติลเข้าแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลภายในโมเลกุลของแป้ง ซึ่งจะสามารถยับยั้งการรวมตัวกันของอะมิโลสและอะมิโลเพกติน และวิธีออกซิเดชันเป็นการทำปฏิกิริยากับสารออกซิไดซ์ที่เปลี่ยนหมู่ไฮดรอกซิลให้เป็นหมู่แอลดีไฮด์ หมู่คีโตน หรือหมู่คาร์บอกซิลในโมเลกุลอะมิโลส ทำให้แป้งสามารถต้านทานการคืนตัวหลังจากเกิดเจลและทำให้เย็นลง ละลายน้ำได้ดีและสารละลายมีความใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น เจลมีความคงตัวสูง มีคุณสมบัติช่วยเพิ่มความคงตัวของอิมัลชัน มีความหนืดต่ำ เหมาะกับการไมโครเอนแคปซูเลชันผลิตภัณฑ์ ช่วยป้องกันการเกิดออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์ (Apeldoorn, Speijers, Baines and

Sinhaseni, 2001) อย่างไรก็ตามยังไม่พบการศึกษาที่ใช้แป้ง AOS เป็นตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบ สำหรับการอบแห้งแบบพ่นฝอยในการผลิตสีผสมอาหาร

มอลโตเดกซ์ทรินเป็นแป้งที่ผ่านการย่อย (Hydrolysis) เพียงบางส่วนแล้วหยุดปฏิกิริยาโดยปรับค่าความเป็นกรดต่าง (pH) หรือความร้อน มีคุณสมบัติเป็นผงขาว ละลายน้ำได้ดี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรสหวาน จึงสามารถนำไปใช้ได้หลากหลาย นิยมใช้เป็นตัวเคลือบ (Encapsulating agents) หรือสารตัวกลาง (Coating medium) ของสารให้กลิ่น (Flavors) หรือรงควัตถุ (Pigment) ในกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยเนื่องจากมีราคาสูง ไม่มีกลิ่นและมีความหนืดต่ำถึงแม้ว่ามีค่า %Solid สูง (Cai and Corke, 2000)

Cai and Corke (2000) ศึกษาการผลิตและคุณสมบัติของสีบีตาไซยานินในผล *Amaranthus* ด้วยการอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้แป้งมอลโตเดกซ์ทรินที่มีค่า Dextrose Equivalent (DE) อยู่ระหว่าง 10-25 และแป้งข้าวโพด (แบบธรรมชาติและแบบดัดแปร) เป็นตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบ พบว่า การใช้ตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบต่างชนิดกันมีผลต่อคุณสมบัติและการรักษาสภาพของสีบีตาไซยานินจากการอบแห้งแบบพ่นฝอยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมอลโตเดกซ์ทรินที่มีค่า DE 25 และ DE 10 สามารถรักษาสภาพสารสีได้สูงที่สุด (ร้อยละ 97 และร้อยละ 88.7) ที่ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) เท่ากับร้อยละ 5 และร้อยละ 32 ตามลำดับ

Azeredo, Santos, Souza, Mendes, and Andrade (2007) ได้ศึกษาคุณสมบัติของบีตาไซยานินจากบีทรูทแดงในระหว่างกระบวนการผลิตด้วยวิธีไมโครเอนแคปซูลชัน (Microencapsulated) โดยการอบแห้งแบบพ่นฝอยและแปรอัตราส่วนระหว่างมอลโตเดกซ์ทรินต่อบีทรูท พบว่าอัตราส่วนของมอลโตเดกซ์ทรินต่อบีทรูทเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปริมาณบีตาไซยานิน โดยปริมาณบีตาไซยานินลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณมอลโตเดกซ์ทริน ซึ่งอัตราส่วนระหว่างมอลโตเดกซ์ทรินกับบีทรูท เท่ากับ 1:3 (%dry mass) มีปริมาณของบีตาไซยานินมากที่สุด นอกจากนี้จากการศึกษาของ Obón, Castellar, Alacid, and Fernández-López (2009) เรื่องกระบวนการผลิตสีผสมอาหารโทนสีแดงม่วงจากผล *Opuntia stricta* ด้วยการอบแห้งแบบพ่นฝอยและการนำไปใช้ในอาหาร โดยนำน้ำจากผล *Opuntia stricta* ที่สกัดได้มาผสมกับกลูโคสไซรัป (Glucidex 29) ก่อนนำไปอบแห้งแบบพ่นฝอย พบว่าการอบแห้งแบบพ่นฝอยเป็นเทคนิคที่เหมาะสมต่อการผลิตสีผสมอาหารโทนสีแดงม่วงจากน้ำผล *Opuntia stricta* โดยหลังจากนำน้ำผล *Opuntia stricta* มาอบแห้งแบบพ่นฝอยแล้วได้ผลผลิตหลังการอบแห้งสูง (ร้อยละ 58) มีค่า Color strength สูงและมีสารสีคงเหลือในระหว่างกระบวนการอบแห้งมากกว่าร้อยละ 98

การนำสารสีแดงที่สกัดจากเปลือกแก้วมังกรมาทดแทนสีสังเคราะห์นั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องสร้างความมั่นใจให้เกิดขึ้นในแง่ของความปลอดภัยต่อการบริโภค ดังนั้นการทดสอบความเป็นพิษจึงเป็นสิ่งสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแง่ของการเป็นสารก่อการกลายพันธุ์ ดังนั้นการ

ทดสอบฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์โดยใช้วิธีแอมส์ (Maron and Ames, 1983) ซึ่งเป็นการทดสอบการกลายพันธุ์แบบย้อนกลับ (Backward or reverse mutation) ในแบคทีเรีย *Salmonella typhimurium* ซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็นที่แบคทีเรีย *S. typhimurium* ต้องใช้กรดอะมิโนฮิสทีดีน (Histidine) ในการเจริญเติบโต เมื่อเลี้ยงแบคทีเรียชนิดนี้ในตัวกลางที่ขาดกรดอะมิโนฮิสทีดีนจะไม่สามารถเจริญเป็นโคโลนีได้ แต่เมื่อเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียนี้ในตัวกลางที่มีสารก่อกลายพันธุ์ สารดังกล่าวสามารถเปลี่ยนแปลงเบสในสาย DNA ให้เกิดความผิดปกติคือ แบคทีเรียสามารถกลับมาสร้างกรดอะมิโนฮิสทีดีนขึ้นเองได้ และเจริญเติบโตจนเห็นเป็นโคโลนี เรียกว่า โคโลนีกลายพันธุ์ (Revertant colony) โดยมีการศึกษาที่ระบุถึงฤทธิ์ด้านการก่อกลายพันธุ์ในสมุนไพรหลายชนิดที่นำมาใช้เป็นตำรับยาในประเทศต่างๆ เช่น การศึกษาของ Kaur, Arora, Kaur, and Kumar (2002) พบว่า สารสกัดจากยาตำรับอินเดีย ที่ใช้รักษาโรคหัวใจและตับ ชื่อ “Triphala” ซึ่งประกอบด้วยสมุนไพร 3 ชนิด เมื่อนำมาทดสอบโดยวิธีแอมส์ ใช้เชื้อ *S. typhimurium* ทั้งสายพันธุ์ TA 98 และ TA 100 และนับจำนวนโคโลนีกลายพันธุ์ พบว่าในส่วนที่สกัดด้วยคลอโรฟอร์มและอะซิโตนมีฤทธิ์ยับยั้งการก่อกลายพันธุ์ของสารทั้งที่เป็นสารก่อการกลายพันธุ์โดยตรง และสารก่อการกลายพันธุ์ที่ต้องถูกกระตุ้นโดยเอนไซม์จากตับก่อนจึงจะออกฤทธิ์ ขณะที่สารที่สกัดด้วยน้ำไม่พบฤทธิ์ดังกล่าว ซึ่ง Kaur et al. อ้างว่าฤทธิ์ในการยับยั้งสารก่อกลายพันธุ์อาจเกิดจากสารประกอบกลุ่มโพลีฟีนอลที่พบในสมุนไพรในตำรับดังกล่าว โดยอาจมีกลไกการออกฤทธิ์หลายๆกลไกประกอบกัน เช่น เป็น Scavenger หรือมีผลต่อระบบเอนไซม์ที่กระตุ้นหรือทำลายสารพิษ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์สีผสมอาหารจากของเหลือทิ้งทางเกษตรได้แก่เปลือกแก้วมังกร เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่ของเหลือทิ้งทางการเกษตร

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบปริมาณสารแอนโทไซยานินและสารบีตาไซยานินในเปลือกแก้วมังกรระหว่างพันธุ์เนื้อผลสีขาวกับพันธุ์เนื้อผลสีแดง

1.2.3 เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารแอนโทไซยานินและสารบีตาไซยานินจากเปลือกแก้วมังกรทั้งพันธุ์เนื้อผลสีขาวและเนื้อผลสีแดงโดยแปรระดับค่าความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ และระยะเวลาในการสกัด

1.2.4 เพื่อหาสูตรที่เหมาะสมของการผลิตสีผสมอาหารจากเปลือกแก้วมังกร โดยแปรสัดส่วนของสารแอนโทไซยานินกับสารตัวกลางและสารบีตาไซยานินกับสารตัวกลาง

1.2.5 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางชีวภาพของสารแอนโทไซยานินกับสารบีตาไซยานินที่สกัดได้และสีผสมอาหารต่อความเป็นสารต้านการก่อการกลายพันธุ์

1.2.6 เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสีผสมอาหารจากเปลือกแก้ว-ม้งกรกับผลิตภัณฑ์สีผสมอาหารสีแดงทางการค้าเพื่อสามารถนำไปใช้เป็นผลิตภัณฑ์สีผสมอาหารทางการค้าต่อไปได้

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1.3.1 ความเป็นกรด-ด่างของสภาวะการสกัด อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดสารแอนโทไซยานินและสารบีตาไซยานินจากเปลือกแก้วม้งกรทั้งชนิดเนื้อผลมีสีขาวและสีแดงอาจมีผลโดยตรงต่อคุณภาพทางกายภาพและทางชีวภาพของสารแอนโทไซยานินและสารบีตาไซยานินที่ได้

1.3.2 สารสกัดที่ได้สามารถนำมาผลิตเป็นสีผสมอาหารได้ด้วยการผสมสารตัวกลางที่ต่างชนิดกัน อันได้แก่ แป้งมันปะหลังดัดแปร เช่น แป้ง AOS และมอลโตเดกซ์ทริน เป็นต้นและในสัดส่วนที่ต่างกันจะทำให้คุณสมบัติของสีผสมอาหารที่ได้แตกต่างกันไปด้วย

1.3.3 สารสกัดและสีผสมอาหารที่ได้น่าจะมีคุณสมบัติทางด้านชีวภาพต่อความเป็นสารต้านการก่อการกลายพันธุ์ที่แตกต่างกัน

1.3.4 ผลิตภัณฑ์สีผสมอาหารจากเปลือกแก้วม้งกรที่ได้น่าจะมีคุณภาพเทียบเท่ากับสีผสมอาหารทางการค้าและสามารถนำไปใช้เป็นผลิตภัณฑ์สีผสมอาหารทางการค้าต่อไปได้

1.4 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนการทดลองได้แก่ (1) การตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารแอนโทไซยานินและสารบีตาไซยานินในเปลือกแก้วม้งกรทั้งชนิดเนื้อผลสีขาวและสีแดง (2) การหาสภาวะการสกัดสารแอนโทไซยานินและสารบีตาไซยานินที่เหมาะสมจากผลของความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัด (3) การหาสูตรที่เหมาะสมของการผลิตสีผสมอาหารจากเปลือกแก้วม้งกร (4) การศึกษาคุณสมบัติทางชีวภาพของสารแอนโทไซยานินและสารบีตาไซยานินที่สกัดได้กับสีผสมอาหารต่อความเป็นสารต้านการก่อการกลายพันธุ์ (Antimutagen)

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ต้นแบบผลิตภัณฑ์โดยได้สีผสมอาหารที่มีสีแดงเทียบได้กับสีผสมอาหารสีแดงที่มีขายในตลาด

1.5.2 ได้รับองค์ความรู้ในเชิงวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับการใช้สีผสมอาหารประเภทสารแอนโทไซยานินและสารบีตาไซยานินธรรมชาติในการออกฤทธิ์เป็นสารต้านการก่อการกลายพันธุ์

1.5.3 ได้เทคโนโลยีและ/หรือกระบวนการใหม่ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตสารสกัดแอนโทไซยานินและสารบีตาไซยานินและสีผสมอาหารที่ให้ปริมาณสารบีตาไซยานินในปริมาณสูงที่สามารถถ่ายทอดให้แก่ผู้ที่สนใจได้

1.5.4 สามารถเผยแพร่องค์ความรู้และเทคโนโลยีแก่ประชาชนและ/หรือภาคธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์สีผสมอาหารอันก่อให้เกิดการผลิตในเชิงพาณิชย์ได้ต่อไป



บทที่ 2

ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แก้วมังกร

แก้วมังกร อยู่ในวงศ์ Cactaceae สกุล *Hylocereanae* ซึ่งเป็นวงศ์เดียวกับตะบองเพชรประเภทไม้เลื้อย แก้วมังกรมีพื้นเพดั้งเดิมอยู่ในอเมริกากลางเข้ามาในเอเชียที่เวียดนามก่อน โดยบาทหลวงชาวฝรั่งเศสเมื่อประมาณ 100 ปีมาแล้ว โดยปลูกมากตามแนวชายฝั่งทะเลตะวันตกเฉียงใต้ของเมืองญัตรังไปจนถึงไซ่ง่อน (นิตดา และทวีทอง หงส์วิวัฒน์, 2550; Bellec, Vaillant, and Imbert, 2006)



ภาพที่ 2.1 แก้วมังกร

แหล่งที่มา : <http://en.wikipedia.org/wiki/Pitaya>

2.1.1 ลักษณะแก้วมังกร

แก้วมังกรเป็นไม้เลื้อยมีความยาวลำต้น 5 เมตร หรือยาวกว่า รากมี 2 กลุ่ม คือ รากในดินและ รากในอากาศ ซึ่งใช้ยึดเกาะและดูดซึมน้ำ แร่ธาตุ ลำต้นมักจะเป็น 3 แฉก หรือเหลี่ยม เป็นข้อ ๆ สีเขียว หรือเทาอมน้ำเงิน ขอบลำต้นมักจะแข็ง ตามขอบเป็นหยัก ซึ่งที่โคนโหนดก็มีแอ่ง และมีหนามสั้น กรณีที่ไม่มีหนามเป็นปรากฏการณ์ซึ่งเกิดน้อยมาก (สุรพงษ์ โกสิทธิ์จินดา, 2545) ชอบดินร่วนระบายน้ำดี ชอบแสงแดดพอเหมาะ โลงแข็งแรง แต่ไม่แรงเกินไป ดอกมีสีขาวอาจมีสีแดงปนแต่น้อยมาก รอบ ๆ ส่วนของรังไข่แข็งแรง กลีบเลี้ยงดอกกว้างเป็นสามเหลี่ยม เกสรตัวผู้มีจำนวนมากติดกันเป็นแผง ก้านเกสรตัวเมียอ้วน ปลายเกสรตัวเมียเป็นแฉก ดอกมีขนาดใหญ่กลีบยาวเรียงซ้อนกันเป็นรูปทรงกรวยและบานตอนกลางคืน โดยบานคืนเดียว ผลแก้วมังกรมีขนาดใหญ่ มีรูปทรงเป็นทรงกลมรีหรือทรงกลมหรือกลมแป้น รูปไข่หรือรูปไข่รี สีของเปลือกผลเมื่อดิบเป็นสีเขียว เมื่อสุกเป็นมีสีแดงม่วงหรือสีบานเย็น มีกลีบเลี้ยงสีเขียวติดอยู่รอบผล (ดังภาพที่ 2.1) ผลแก้วมังกรส่วนใหญ่มีน้ำหนักประมาณ 300-600 กรัม (สุรพงษ์ โกสิทธิ์จินดา, 2545; Bellec et al., 2006) เมื่อผ่าผลแก้วมังกรจะเห็นเนื้อของผลแก้วมังกรสีขาวหากผลนั้นเป็นแก้วมังกรพันธุ์เวียดนามหรือพันธุ์ไทย และเนื้อผลจะมีสีแดงหรือชมพูเมื่อผลนั้นเป็นพันธุ์เนื้อสีแดง โดยมีเมล็ดสีดำเล็กคล้ายเม็ดงา หรือเม็ดแมงลัก กระจายฝังอยู่ทั่วเนื้อ (นิตดา และทวิทอง หงส์วิวัฒน์, 2550)

แก้วมังกรสายพันธุ์ที่นิยมปลูกมีดังนี้

1. แก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวเปลือกแดง (ชื่อวิทยาศาสตร์: *Hylocercus undatus* (Haw) Brit. & Rose.) เปลือกสีชมพูสด ปลายกลีบสีเขียว รสหวานอมเปรี้ยวหรือหวานจัด (ดังภาพที่ 2.2 (a, b))
2. แก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวเปลือกเหลือง (ชื่อวิทยาศาสตร์: *Hylocercus megalanthus*) เปลือกสีเหลือง ผลเล็กกว่าพันธุ์อื่น ๆ เนื้อสีขาว เมล็ดขนาดใหญ่และมีน้อยกว่าพันธุ์อื่น รสหวาน (ดังภาพที่ 2.2 (d))
3. แก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงเปลือกแดง (ชื่อวิทยาศาสตร์: *Hylocercus costaricensis* หรือ *Hylocereus polyrhizus*) หรือพันธุ์คอสตาริกา เปลือกสีแดงจัด ผลเล็กกว่าพันธุ์เนื้อขาวเปลือกแดง แต่รสหวานกว่า (ดังภาพที่ 2.2 (c))

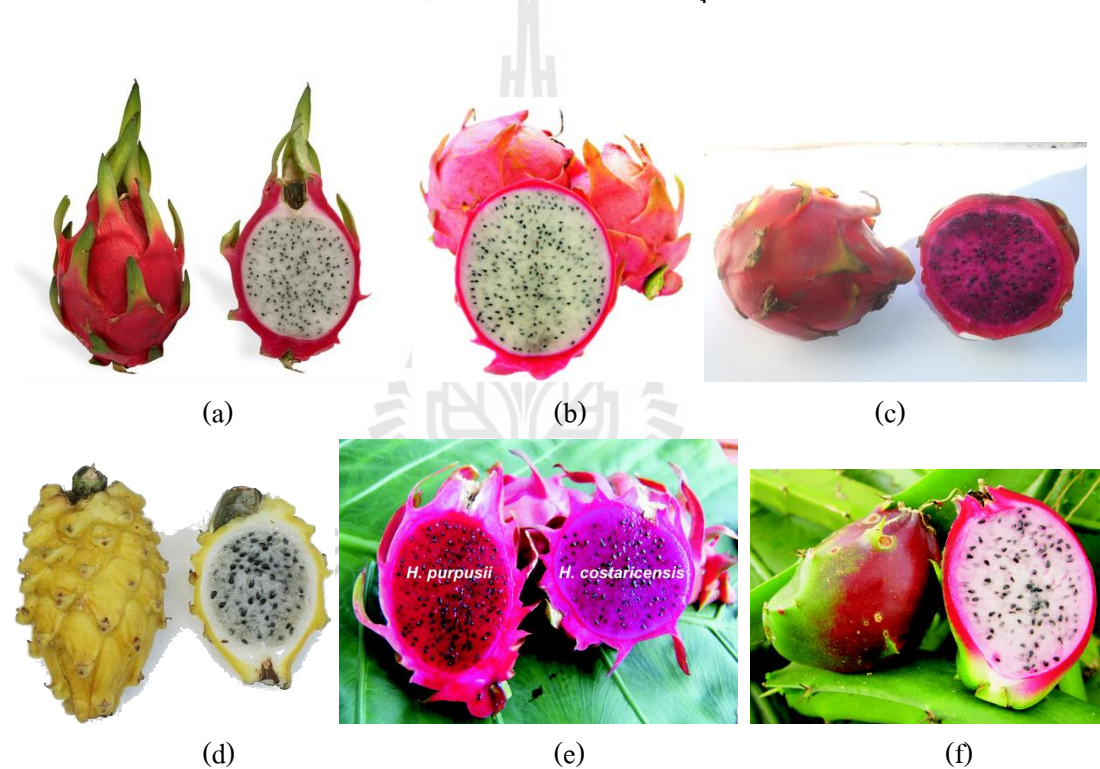
นอกจากนี้ยังมีการจำแนกชนิดของแก้วมังกรตามหลักการของ Britton และ Rose (Bellec et al., 2006) ดังนี้คือ

1. แก้วมังกรสายพันธุ์ *H. purpusii* (Weing.) Britton & Rose มีผลขนาดใหญ่ มีเนื้อแดงเปลือกแดง เมล็ดมีขนาดเล็กสีดำ (ดังภาพที่ 2.2 (e)) เนื้อผลมีลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่ม และมีลักษณะคล้ายกับสายพันธุ์ *H. ocamponis* (S.D.) Britton & Rose แต่มีรูปร่างลักษณะเรียวยาวมากกว่า

2. แก้วมังกรสายพันธุ์ *H. polyrhizus* (Web.) Britton & Rose มีเปลือกสีแดงสด เนื้อผลสีแดง (ดังภาพที่ 2.2 (c)) เมล็ดมีขนาดเล็กสีดำ ลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่ม รสชาติดี โดยแก้วมังกรสายพันธุ์ *H. venezuelensis* Britton & Rose มีลักษณะใกล้เคียงกับแก้วมังกรสายพันธุ์นี้แต่แตกต่างกันตรงกลีบผล

3. แก้วมังกรสายพันธุ์ *H. costaricensis* (Web.) Britton & Rose มีลักษณะคล้ายกับแก้วมังกรสายพันธุ์ *H. polyrhizus* คือมีเปลือกสีแดงสด รูปทรงไข่ เนื้อผลสีแดงม่วง เมล็ดมีขนาดเล็กสีดำ (ดังภาพที่ 2.2 (e)) ลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่ม รสชาติดี

4. แก้วมังกรสายพันธุ์ *H. undatus* (Haw.) Britton & Rose มีเปลือกสีแดง เนื้อผลสีขาว เมล็ดมีขนาดเล็กสีดำ (ดังภาพที่ 2.2 (a, b)) ลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่ม รสชาติดี



ภาพที่ 2.2 ลักษณะผลแก้วมังกร (a, b) สายพันธุ์ *Hylocereus undatus* (c) สายพันธุ์ *H. polyrhizus* (d) สายพันธุ์ *H. megalanthus* (e) สายพันธุ์ *H. purpusii* และสายพันธุ์ *H. costaricensis* (b) และ (f) สายพันธุ์ *H. trigonus*

แหล่งที่มา : Bellec et al. (2006)

a. http://en.wikipedia.org/wiki/Hylocereus_megalanthus.

b. http://en.wikipedia.org/wiki/Hylocereus_costaricensis.

c. http://en.wikipedia.org/wiki/Hylocereus_undatus.

2.1.2 การเพาะปลูกและการเก็บเกี่ยวผลแก้วมังกร

แก้วมังกรเป็นไม้เลื้อยลำต้นอ่อนจำเป็นต้องมีหลักให้ลำต้นเกาะยึดซึ่งหลักจะเป็นไม้เนื้อแข็งหรือเสาซีเมนต์ก็ได้ ถ้าใช้ท่อซีเมนต์เป็นเสาซึ่งรูปทรงกลมภายในกลวงแต่ท่อนไว้ก้นท่อเพื่อไว้ใส่น้ำหล่อเลี้ยงให้เสามีความชุ่มชื้นอยู่เสมอ ฟังท่อซีเมนต์ลงในดินประมาณ 40-50 เซนติเมตร ต้องสูงจากพื้นดินประมาณ 1.5-2 เมตร ด้านบนของเสาทำเป็นร้านให้กิ่งเกาะแผ่ขยายออกไประยะปลูก 3 x 3 เมตร เตรียมหลุมขนาด 30 x 30 x 30 เซนติเมตร รอบ ๆ หลัก หลักละ 4 หลุม สำหรับปลูกหลุมละ 1 ต้น รองก้นหลุมด้วยปุ๋ยหมักเก่า 1 ปู๋ก็ เมื่อนำกิ่งพันธุ์ลงหลุมแล้วมัดกิ่งพันธุ์ให้แนบหลักและกันแดดให้ 1-2 สัปดาห์ (นิคดา และทวิทอง หงส์วิวัฒน์, 2550)

แก้วมังกรที่จะเก็บเกี่ยวผลได้นั้น มักเป็นผลที่ออกหลังจากดอกบานแล้วประมาณ 30 วัน หรือหลังจากผลเริ่มเปลี่ยนสีแล้วอย่างน้อย 3-4 วัน คุณภาพของผลที่เก็บเกี่ยวได้มีความหวานไม่น้อยกว่าร้อยละ 13 และมีกรดอยู่ร้อยละ 0.25 จากการวิเคราะห์คุณสมบัติของผลแก้วมังกรน่าจะเป็นผลไม้พวก Non-climacteric เช่นเดียวกับผลไม้พวกองุ่น สับปะรด ส้มเขียวหวานและส้มสายน้ำผึ้ง คือ เมื่อเก็บเกี่ยวมาแล้วส่วนใหญ่รสชาติจะไม่เปลี่ยนแปลงในทางที่ดีขึ้น ไม่มีการสุกเกิดขึ้น ไม่มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้น (สุรพงษ์ โกสิทธิ์จินดา, 2545)

2.1.3 ประโยชน์และคุณค่าทางอาหารของแก้วมังกร

แก้วมังกร เป็นผลไม้ที่มีกากใยอาหาร แคลอรีต่ำ อุดมไปด้วยวิตามินซี คลอโรฟิลล์ เมล็ดของแก้วมังกรอุดมไปด้วยไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งมีประโยชน์ต่อร่างกาย มีคุณค่าทางอาหารโดยเฉพาะอุดมด้วยแร่ธาตุต่าง ๆ (ดังตารางที่ 2.1 และ 2.2) แก้วมังกรนิยมรับประทานเป็นผลไม้สด เป็นส่วนผสมของฟรุตสลัดหรือปั่นเป็นน้ำผลไม้ เป็นผลไม้ที่สามารถรับประทานเพื่อบรรเทาอาการโรคความดันโลหิต โรคเบาหวาน ตลอดจนช่วยลดความอ้วนเนื่องจากเป็นผลไม้ที่มีแคลอรีต่ำ เป็นผลไม้ที่มีกากใยอาหาร มีวิตามินและแร่ธาตุต่าง ๆ ที่ช่วยทั้งในเรื่องการบำรุงผิวพรรณ กระดูกและฟันแข็งแรง ช่วยดูดซับสารพิษต่าง ๆ ออกจากร่างกาย เช่น สารตกค้างจากยาฆ่าแมลงที่มาพร้อมกับผัก สารตกค้างเช่นตะกั่ว ที่มาจากควันท่อไอเสียรถยนต์ และสารอื่น ๆ และยังช่วยลดการเกิดมะเร็งอีกด้วย (นิคดา และทวิทอง หงส์วิวัฒน์, 2550) นอกจากนี้ผลแก้วมังกรในประเทศไทย ในกลุ่มผลที่สมบูรณ์ที่สุดและแก่ได้ที่จะมีความหวานตรงศูนย์กลางผลเท่ากับ 19 °Brix ขณะที่เนื้อใกล้เปลือกวัดความหวานได้เท่ากับ 13.3 °Brix โดยเนื้อของผลแก้วมังกรที่มีรสชาติหวานอมเปรี้ยวพอเหมาะควรมีความหวานประมาณ 13-15 °Brix และกรดร้อยละ 0.22 (สุรพงษ์ โกสิทธิ์จินดา, 2545)

ตาราง 2.1 ส่วนประกอบของผลแก้วมังกรที่ปลูกในประเทศไทย ต่อส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม

ส่วนประกอบ	ปริมาณต่อ100 กรัม ของผลแก้วมังกร
ความหวาน (ของแข็งที่ละลายน้ำได้)	13.00 กรัม
น้ำตาลรีดิวซ์	6.50 กรัม
น้ำตาลทั้งหมด	11.50 กรัม
กรดอินทรีย์	0.13 กรัม
เส้นใยอาหาร	0.71 กรัม
โพแทสเซียม	212.20 มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	8.70 มิลลิกรัม
แคลเซียม	134.50 มิลลิกรัม
แมกนีเซียม	60.50 มิลลิกรัม
วิตามินซี	9.40 มิลลิกรัม

แหล่งที่มา: สุรพงษ์ โกสิยะจินดา (2545)

ตาราง 2.2 ส่วนประกอบของผลแก้วมังกรที่ปลูกในประเทศเวียดนาม ต่อส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม

ส่วนประกอบ	ปริมาณต่อ100 กรัม ของผลแก้วมังกร
ความชื้น	85.30 กรัม
โปรตีน	1.10 กรัม
ไขมัน	0.57 กรัม
กลูโคส	5.70 กรัม
ฟรุกโตส	3.20 กรัม
ซอร์บิทอล	0.33 กรัม
คาร์โบไฮเดรต	11.20 กรัม
เส้นใยอาหาร	1.34 กรัม
ถั่ว	0.56 กรัม
พลังงาน	67.70 กิโลแคลอรี
วิตามินซี	3.00 มิลลิกรัม
ไนอาซิน	2.80 มิลลิกรัม
วิตามินเอ	0.01 มิลลิกรัม

ตาราง 2.2 ส่วนประกอบของผลแก้วมังกรที่ปลูกในประเทศเวียดนาม ต่อส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม (ต่อ)

ส่วนประกอบ	ปริมาณต่อ100 กรัม ของผลแก้วมังกร
แคลเซียม	10.20 มิลลิกรัม
เหล็ก	3.37 มิลลิกรัม
แมกนีเซียม	38.90 มิลลิกรัม
โพแทสเซียม	272.00 มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	27.50 มิลลิกรัม
โซเดียม	8.90 มิลลิกรัม
สังกะสี	0.35 มิลลิกรัม

แหล่งที่มา: To et al. (2000)

พืชที่มีรงควัตถุสีแดง หรือสีม่วงแดงหลายชนิด มักเป็นรงควัตถุที่อยู่ในระหว่างสารสองชนิด คือ สารแอนโทไซยานินและสารบีตาไซยานิน (Brockington et al., 2011; Nielson and Harley, 2004) ซึ่งเป็นสารประเภทที่ละลายได้ในน้ำ แต่สารทั้งสองมีค่าสเปกตรัมแตกต่างกันเล็กน้อย โดยเฉพาะในช่วงสีอัลตราไวโอเล็ตซึ่งสารแอนโทไซยานินจะมีค่าการดูดกลืนแสงที่เข้มกว่า (Peter and Noble, 2012) ดังนั้นการศึกษารงควัตถุสีแดง หรือสีม่วงแดงในเปลือกแก้วมังกรจึงทำการศึกษารงควัตถุทั้งสองชนิดนี้

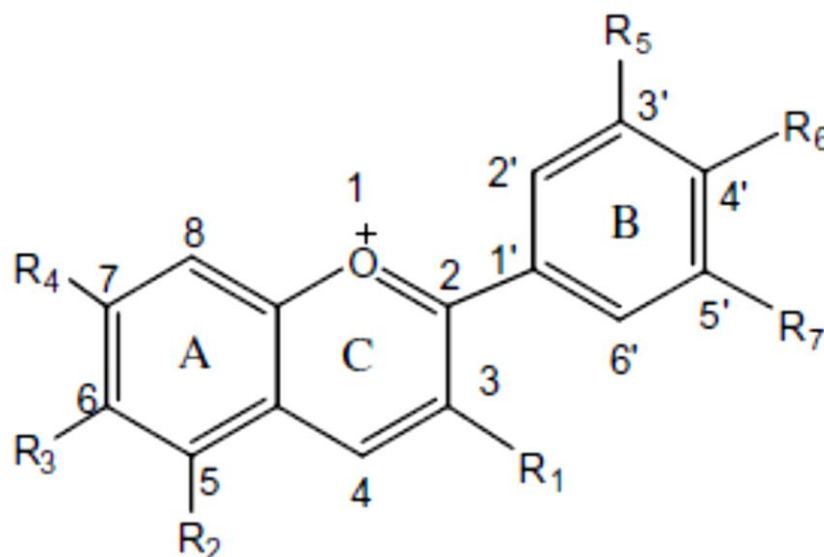
2.2 สารแอนโทไซยานิน (Anthocyanins)

แอนโทไซยานิน จัดเป็นรงควัตถุธรรมชาติที่ให้สีชมพู แดง ม่วง และน้ำเงิน ซึ่งจัดเป็นสารประกอบในกลุ่มฟลาโวนอยด์ มีโครงสร้างหลักเป็น $C_6C_3C_6$ เป็นรงควัตถุที่ละลายอยู่ในแซปแวคิวโอล (Vacuolar sap) ของพืช สามารถละลายน้ำได้ แต่ไม่ละลายในตัวทำละลายประเภทชนิดไม่มีหมู่ไฮดรอกซิล (Non-hydroxyl solvent) เช่น อะซิโตน (Acetone) เบนซีน (Benzene) คลอโรฟอร์ม (Chloroform) และอีเทอร์ (Ether) เป็นต้น

แอนโทไซยานินพบในผักและผลไม้ มีช่วงสีที่กว้างตั้งแต่สีแดงถึงสีน้ำเงิน แอนโทไซยานินพบได้มากหลายแหล่ง เช่น องุ่น เรดเคอร์แรนท์ แบลคเคอร์แรนท์ ราสเบอร์รี่ สตรอเบอร์รี่ แอปเปิ้ลเชอร์รี่ กะหล่ำแดง มะเขือม่วง ฯลฯ เป็นต้น

แอนโทไซยานินเป็นอนุพันธ์ Polyhydroxyl และ Polymethoxyl ของสารฟลาโวลีเลียม (Flavylium) หรือ 2-phenylbenzopyrylium โมเลกุลประกอบด้วยแอนโทไซยานินดิโนหรือที่เรียกว่า

อะไกลโคโน ซึ่งจับตัวกับน้ำตาลด้วยพันธะ β -glycosidic (ดังภาพที่ 2.3) และมักจับที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 ของโครงสร้างแอนโทไซยานิดิน



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของสารแอนโทไซยานิน

แหล่งที่มา: Castaneda-Ovando, Pacheco-Hernandez, Paez-Hernandez, Rodriguez, and Galan-Vidal (2009)

น้ำตาลที่จับกับแอนโทไซยานิดินอาจเป็นโมโนแซคคาไรด์ (Monosaccharide) ได้แก่ กลูโคส แรมโนส กาแล็คโตส ไซโลสและอะราบิโนส หรือพวกไดแซคคาไรด์ (Disaccharide) หรือ Trisaccharide โมเลกุลน้ำตาลมักถูกเอสเทอร์ไฟด์ (Esterified) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่สามด้วยกรดอินทรีย์บางชนิด เช่น p-coumaric, Caffeic และ Ferulic ซึ่งจะช่วยให้แอนโทไซยานินในพืชมีเสถียรภาพดีขึ้น แอนโทไซยานินที่สำคัญมี 17 ชนิด เรียกชื่อแตกต่างกันขึ้นกับตำแหน่งของหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl) และเมทอกซิล (Methoxyl) (ดังตารางที่ 2.3) (Delgado-Vargas and Paredes-Lopez, 2003; Castaneda-Ovando et al., 2009)

ตารางที่ 2.3 โครงสร้างพื้นฐานของแอนโทไซยานิน

ชื่อ	หมู่ไฮดรอกซิล	สี
Apigeninidin	5, 7, 4'	สีส้ม
Aurantininidin	3, 5, 6, 7, 4'	สีส้ม
Cyanidin	3, 5, 7, 3', 4'	สีแดงจัดออกม่วง, สีแดงเข้มเกือบดก
Delphinidin	3, 5, 7, 3', 4', 5'	สีม่วง, สีม่วงอ่อน, สีฟ้า
8-Hydroxycyanidin	3, 5, 6, 7, 3', 4'	สีแดง
Luteolinidin	5, 7, 3', 4'	สีส้ม
Pelargonidin	3, 5, 7, 4'	สีส้ม, สีชมพูอมส้ม
Triacetidin	5, 7, 3', 4', 5'	สีแดง
Capensinidin	5, 3', 5'	สีแดงอมฟ้า
Europenidin	5, 3'	สีแดงอมฟ้า
Hirsutidin	7, 3', 5'	สีแดงอมฟ้า
Malvidin	3', 5'	สีม่วง
5-Methylcyanidin	5	สีแดงส้ม
Petunidin	3'	สีม่วง
Pulchellidin	5	สีแดงอมฟ้า
Rosinidin	7	สีแดง

แหล่งที่มา: Delgado-Vargas and Paredes-Lopez (2003); Castaneda-Ovando et al. (2009)

2.2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานิน

ก. อุณหภูมิและแสงสว่าง

แอนโทไซยานินมีความคงทนต่อความร้อนได้ดีและเพียงพอสำหรับการใช้ในกระบวนการแปรรูปต่าง ๆ เช่น แยม การต้มน้ำตาลและผลไม้กระป๋อง การเกิด Acylation กับโมเลกุลน้ำตาลจะเพิ่มความคงทนต่อความร้อนและแสงมากขึ้น เช่น กะหล่ำปลีสีแดง ประกอบด้วย Mono- และ Di-acylated anthocyanin มาก จึงทำให้มีความคงทนต่อความร้อนและแสงดี (Hendry, 1996)

ข. ออกซิเจนและกรดแอสคอร์บิก

ออกซิเจนมีส่งผลร้ายต่อแอนโทไซยานิน และเป็นที่ยอมรับว่าการเก็บแอนโทไซยานินภายใต้สภาวะสุญญากาศหรือสภาวะบรรยากาศที่มีไนโตรเจน แอนโทไซยานินจะมีความคงตัว

กว่าสภาวะที่มีออกซิเจน ดังนั้นบรรจุภัณฑ์ที่ใช้การเก็บผลิตภัณฑ์ที่มีแอนโทไซยานินควรปราศจากออกซิเจนและช่องว่างอากาศ (Headspace) ที่เหลือควรมีน้อย เพื่อป้องกันแอนโทไซยานินลดลงระหว่างเก็บรักษาและจัดจำหน่าย ออกซิเจนยังสามารถลดปริมาณแอนโทไซยานินทั้งทางตรงและทางอ้อมโดยการออกซิไดซ์สารประกอบแอนโทไซยานินและนอกจากนี้ไอออนของโลหะและกรดแอสคอร์บิกก็มีส่วนในการทำให้เกิดการออกซิไดซ์สารประกอบแอนโทไซยานินเช่นกัน (Skrede and Wrolstad, 2002)

ค. ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

แอนโทไซยานินมีคุณสมบัติของการบอกค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH indicators) ได้ โดยสารละลายแอนโทไซยานินมีการเปลี่ยนแปลงสีเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นจาก 1 ไปยัง 4, 6, 8, 12 จนถึงค่าความเป็นกรด-ด่าง 13 ดังนั้นเพื่อให้เกิดความเหมาะสมในการใช้แอนโทไซยานินเพื่อให้ได้ระดับสีที่ดีจึงควรใช้แอนโทไซยานินในผลิตภัณฑ์ที่เป็นกรดเท่านั้นที่ซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่างไม่เกิน 4 (Hendry, 1996)

ง. ปัจจัยอื่นๆ

การใช้เอนไซม์บางชนิดในการปรับปรุงคุณภาพน้ำผลไม้ เป็นสาเหตุให้เกิดการสูญเสียแอนโทไซยานินได้ เนื่องจากจะพบ Glucosidase เสมอเมื่อเตรียมเอนไซม์บางชนิด (Hendry, 1996)

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับแอนโทไซยานินทำให้ผลิตภัณฑ์สีจางโดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นสามารถย้อนกลับได้ แต่ควรใช้สารที่เป็นส่วนประกอบของ Benzoate และ Sorbate แทนจะเหมาะสมกว่า (Hendry, 1996)

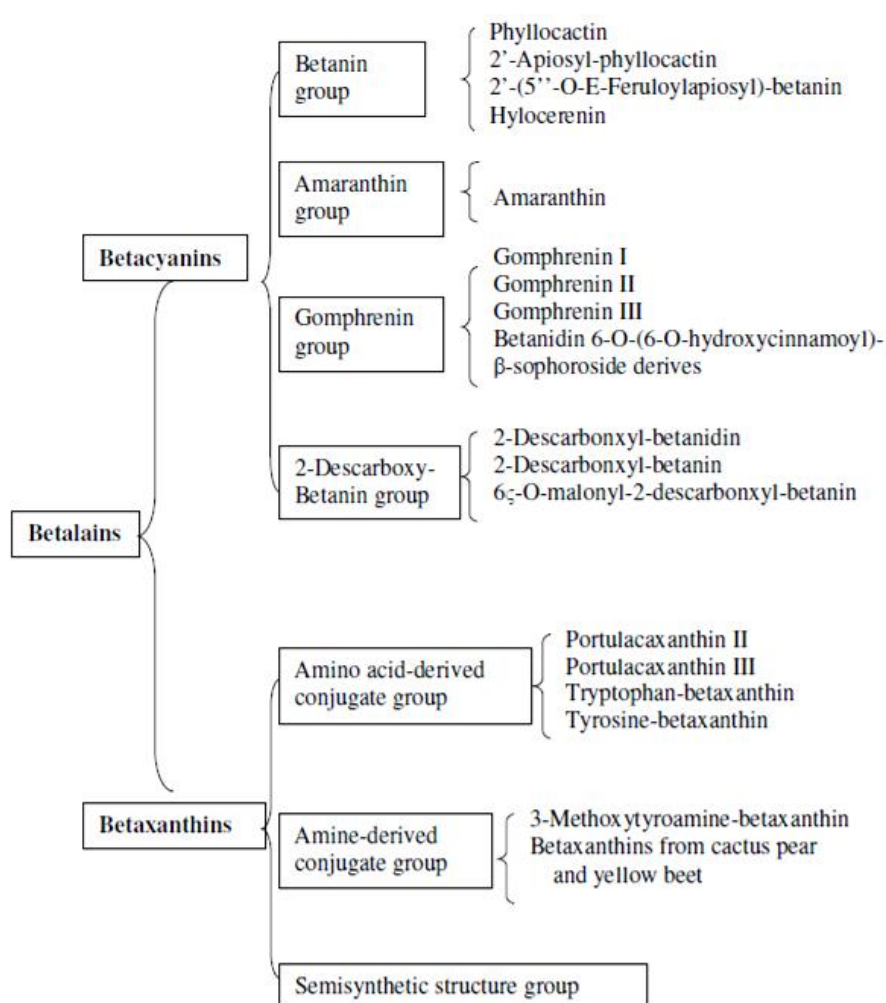
แอนโทไซยานินชนิดผงมีค่าปริมาณน้ำอิสระน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.3 พบว่ามีความคงตัวสามารถเก็บได้หลายปี เมื่อเก็บในถุงที่มีการซีลปิดสนิท

ประจุบวกบางชนิดที่เป็น Di และ Trivalent metal ion เป็นสาเหตุให้เกิด Bathochromic shift ของการดูดกลืนแสงสูงสุดของความยาวคลื่น ซึ่งจะเห็นความแตกต่างของสีน้ำเงิน และเกิดการตกตะกอนของรงควัตถุ ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงไม่ให้แอนโทไซยานินสัมผัสกับเหล็ก (Iron) โลหะ (Mild steel) และทองแดง (Copper) และการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารลงในกระป๋องดีบุกควรมีการเคลือบแลคเกอร์ที่ไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย (Hendry, 1996)

อย่างไรก็ตามมีการศึกษาสารรงควัตถุทั้งในเปลือกและเนื้อแก้วมังกรสายพันธุ์ต่าง ๆ และพบว่าสารสีม่วงแดงในเปลือกและเนื้อแก้วมังกรเป็นสารบีตาไซยานิน (Esquivel, Stintzing, and Carle 2007, Harivaindaran et al., 2008; Rebecca, Boyce, and Chandran, 2010; Stintzing, Schieber, and Carle, 2002; Wu et al., 2006; Wybraniec et al., 2001)

2.3 สารบีตาเลน (Betalains)

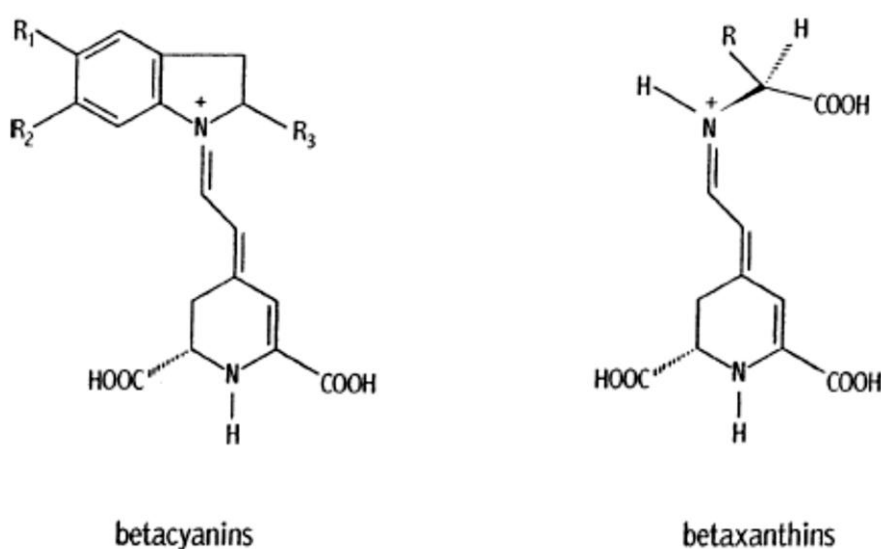
บีตาเลน (Betalain) เป็นกลุ่มของรงควัตถุที่ให้สีแดงและสีเหลืองคล้ายแอนโทไซยานิน และฟลาโวนอยด์ สมัยก่อนเรียกว่า Nitrogenous anthocyanins บีตาเลนพบเฉพาะในพืชตระกูล Centrospermea และชนิดที่เป็นอาหารบริโภคได้ คือ หัวบีทรูท (Beet root) นอกจากนี้ยังพบบีตาเลนได้ในผลแคคตัส (Cactus fruit) และดอกไม้บางชนิด เช่น Bougainville และผักโขมแดง (Amaranthus) (นิธิยารัตนาปนนท์, 2549; Harivaindaran et al., 2008) และในพืช Order Caryophyllales ได้แก่ หงอนไก่ บานไม่รู้โรย เฟื่องฟ้า รวมถึงแก้วมังกรและเห็ดใน Genus Amanita



ภาพที่ 2.4 สารประกอบสำคัญต่าง ๆ ในกลุ่มสารบีตาเลน

แหล่งที่มา: Han, Gao, and Xiao (2009)

สารในกลุ่มบีตาเลนประกอบด้วยสารให้สี 2 กลุ่มย่อย คือ บีตาไซยานิน (Betacyanin) ที่ให้สีในช่วงสีแดงถึงสีม่วงและบีตาแซนทิน (Betaxanthin) ที่ให้สีเหลืองส้ม (ดังภาพที่ 2.4) (Stintzing and Carle, 2004) บีตาไซยานินเป็นสารให้สีแดง-ม่วงสามารถดูดกลืนคลื่นแสงได้ในช่วง 535-550 นาโนเมตร อีกทั้งยังเป็นสารที่พบมากที่สุดถึงประมาณร้อยละ 90 ของสารในกลุ่มบีตาเลนทั้งหมด สารในกลุ่มบีตาไซยานินที่สำคัญ ได้แก่ บีตานิน (Betanin) ซึ่งพบได้มากถึง ร้อยละ 75-95 (Harivaindaran et al., 2008; Zryd and Christinet, 2003) ในเชิงเคมีบีตาเลนเป็นอนุพันธ์อิมโมเนียม (Imodium) ของกรดบีตาลามิก (Betalamic acid) บีตาไซยานินจะอยู่ในรูปที่มีน้ำตาลมาต่อได้เป็นไกลโคไซด์ (Glycoside) ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็น 5-o-glucoside ส่วนบีตาแซนทินเป็นสารให้สีเหลือง สามารถดูดกลืนคลื่นแสงได้ในช่วง 475-480 นาโนเมตร และจะมีเอมีนหรือกรดอะมิโนมาต่ออยู่ด้วย (Cai, Sun, and Corke, 2001) นอกจากนี้ถ้าหมู่ R' และ R ถูกแทนที่ด้วยแอลคิล (Alkyl) หรือเบนซิล (Benzyl) สารประกอบที่ได้จะมีสีแดง เมื่อพันธะคู่มิเรโซแนนซ์ เรียกว่า บีตาไซยานิน แต่ถ้าพันธะคู่มิไม่มีเรโซแนนซ์ สารประกอบที่ได้จะมีสีเหลือง เรียกว่า บีตาแซนทิน (ดังภาพที่ 2.5) ทั้งสารประกอบที่ให้สีแดงและสีเหลืองมีน้ำตาลและหมู่เอซิดเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลด้วย ในธรรมชาติเท่าที่มีรายงาน พบว่า มีบีตาเลนเป็นจำนวนมากเป็นบีตาไซยานิน ประมาณ 52 ชนิด และเป็นบีตาแซนทิน 17 ชนิด ทั้งสีแดงและสีเหลืองจะเกิดขึ้นอยู่ร่วมกันเสมอ เหมือนกับที่พบแอนโทไซยานินอยู่ร่วมกับฟลาโวนอยด์ แต่แอนโทไซยานินและบีตาไซยานินจะไม่เกิดขึ้นด้วยกันในธรรมชาติ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549; Zryd and Christinet, 2003)



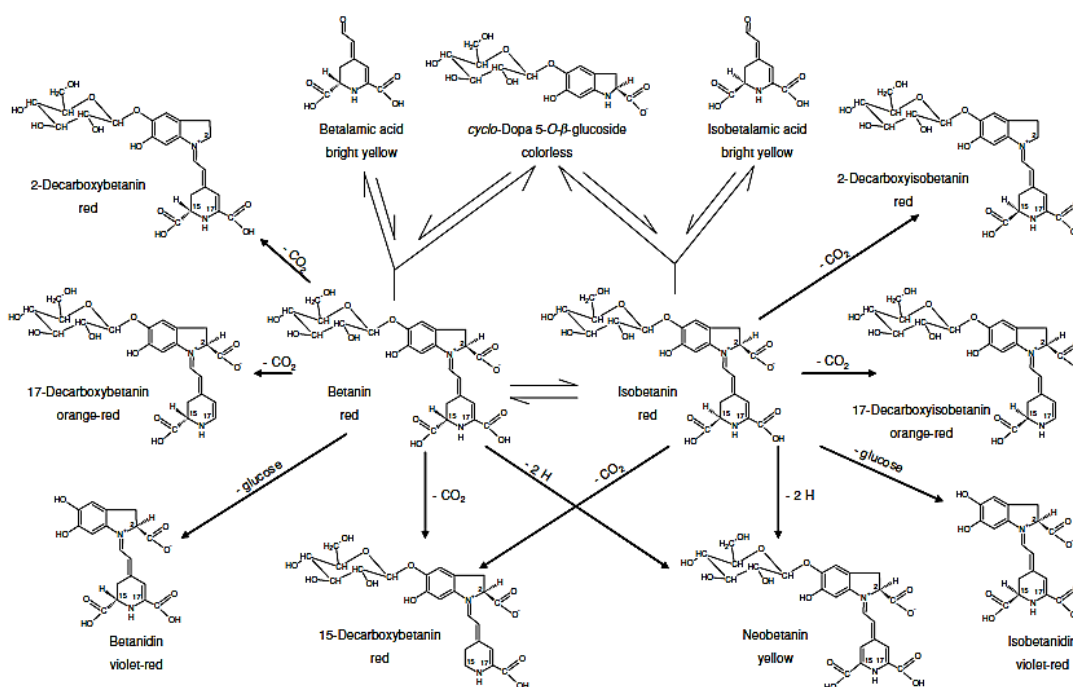
ภาพที่ 2.5 โครงสร้างทางเคมีของสารบีตาไซยานินและบีตาแซนทิน

แหล่งที่มา: Castellar, Obón, Alacid, and Fernández-López (2003)

แอนโทไซยานินและบีตาเลนมีโครงสร้างทางเคมีไม่เหมือนกัน จึงบอกถึงความแตกต่างกันได้ง่าย เพราะมีช่วงดูดกลืนแสงแตกต่างกัน แอนโทไซยานินสกัดออกจากพืชได้ง่ายด้วยเมทานอล แต่สกัดออกได้เพียงเล็กน้อยด้วยน้ำ และดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 270 นาโนเมตร ซึ่งต่างจากบีตาเลนที่ละลายได้ดีในน้ำ บีตาไซยานินดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 538 นาโนเมตร และบีตาแซนทินดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 480 นาโนเมตร นอกจากนั้นยังใช้วิธีอิเล็กโทรโฟรีซิส (Electrophoresis) เพื่อแยกความแตกต่างของแอนโทไซยานินและบีตาเลนได้ เมื่อใช้บัฟเฟอร์ที่เป็นกรดอ่อนแอนโทไซยานินจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วบวก ขณะที่บีตาเลนเคลื่อนที่ไปยังขั้วลบ บีตาไซยานินทุกชนิดจะเป็นอนุพันธ์ของอะไกลโคน (Aglycone) เพียง 2 ชนิดเท่านั้น คือ บีตานิดิน (Betanidin) และไอโซบีตานิดิน (Isobetanidin) ซึ่งเป็นอีพิเมอร์ของบีตานิดินที่คาร์บอนตำแหน่ง 15 สำหรับอะไกลโคนของบีตาไซยานินที่พบในหัวบีต คือ บีตานิดิน และเมื่อรวมกับน้ำตาลกลูโคสโดยหมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่ง 5 จะได้เป็นบีตานิน (Zryd and Christinet, 2003; Herbach, Stintzing, and Carle, 2006a)

นอกจากบีตาเลนมีความสามารถในการดูดกลืนแสงได้ดี สารกลุ่มนี้ยังมีความสามารถในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าแคเทคิน (Catechin) และวิตามินซีอีกด้วย (Kanner, Harel, and Granit, 2001) และยังสามารถยับยั้งการแบ่งเซลล์ของเนื้องอกหลายชนิดได้ (Muntha, Ruby, Lindo, and Muraleed-haran, 2005) รวมถึงการเป็นสารต้านไวรัสและแบคทีเรียอีกด้วย บีตาเลนจากหัวบีตนำมาใช้เป็นสีผสมในอาหารที่ไม่ต้องผ่านกระบวนการที่ใช้ความร้อนสูง เช่น โยเกิร์ต ไอศกรีม บีตาเลนจากหัวบีตนี้มักใช้ไม่เพียงปรารถนาของผู้บริโภคอยู่บ้างซึ่งนำไปสู่การศึกษาบีตาเลนในพืชชนิดอื่นมาทดแทน รวมถึงเปลือกและเนื้อของแก้วมังกรซึ่งเป็นผลไม้ที่นิยมบริโภคกันแพร่หลาย มีรายงานการใช้บีตาเลนจากเนื้อแก้วมังกรแดง (*Hylocereus polyrhizus*) เพื่อให้สีม่วงแดงของไอศกรีมในอิสราเอล (Wybraniec et al., 2001) ทำให้มีผู้หันกลับมาให้ความสนใจแรงกวัตตุธรรมชาติที่ให้ทั้งสีและประโยชน์ต่อสุขภาพด้วยมากขึ้น

บีตาเลนสลายตัวได้ง่ายในกระบวนการแปรรูปอาหารที่ใช้ความร้อน เช่น การบรรจุกระป๋องของหัวบีต สีแดงจะเปลี่ยนเป็นสีแดงเข้ม บีตานินที่เป็นรงควัตถุหลักของหัวบีต คือ betanidin-5-O- β -glucoside รูปแบบของหัวบีตที่มีลักษณะเป็นผงจะสามารถเก็บรักษาบีตาเลนได้ดีที่สุด คือ สภาวะที่มีปริมาณน้ำอิสระ (a_w) 0.12 หรือมีความชื้นร้อยละ 2 ของน้ำหนักแห้ง (นิธิยา รัตนานพนธ์, 2549) หรือสภาวะที่ปริมาณน้ำอิสระน้อยกว่า 0.63 มีสีที่สกัดได้จากหัวบีตจะมีความคงตัวที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 4-6 (Herbach et al., 2006a) จึงน่าสนใจที่จะนำสีจากหัวบีตมาใช้ในการอาหารที่ได้จากธรรมชาติชนิดหนึ่ง สารละลายบีตานินในน้ำเมื่อได้รับความร้อนจะเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน (Decarboxylation) (ดังภาพ 2.6) อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเป็นกรดเพิ่มขึ้น (Herbach et al., 2006a; Stintzing and Carle, 2004)



ภาพที่ 2.6 กระบวนการสลายตัวเบื้องต้นของสารบีตาเลน

แหล่งที่มา: Herbach et al. (2006a)

2.3.1 ผลของความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อบีตาเลน

ความเป็นกรด-ด่างมีผลต่อความคงตัวของสารให้สีในกลุ่มบีตาเลน โดยค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมและมีความคงตัวมาก อยู่ในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่าง 4-7 (Von Elbe, Maing, and Amundson, 1974; Herbach et al., 2006a) โดยถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายต่ำกว่า 3.5 ลงไป ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารจะอยู่ที่ความยาวคลื่น 535 นาโนเมตร ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายอยู่ในช่วงระหว่าง 3.5-7.0 ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารจะอยู่ที่ความยาวคลื่น 538 นาโนเมตร และถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายเท่ากับ 9.0 ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารจะอยู่ที่ความยาวคลื่น 544 นาโนเมตร ซึ่งในสภาวะที่มีค่าความเป็นกรดต่ำมากๆ จะทำให้คาร์บอนตัวที่ 15 (C-15) ของบีตานินและบีตานิดินเกิดปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชัน (Isomerization) กลายเป็นไอโซเบตานิน (Isobetatin) และไอโซเบตานิดิน ได้ตามลำดับ และสารสียังคงมีสีม่วงแดงอยู่ นอกจากนี้สภาวะกรดมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปของสารบีตาไซยานินกลายเป็น 14,15-dehydrobetanin (หรือเรียกอีกอย่างว่า Neobetatin) หรือเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายด้วยกรด (Hydrolysis) กลายเป็นกรดบีตาตามิกซึ่งทั้งหมดเกิดเป็นสารสีเหลือง (Herbach et al., 2006a; Stintzing and Carle, 2004; Azeredo, 2009)

2.3.2 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อปีตาเลน

ปีตาไซยานินมีความคงตัวค่อนข้างน้อยต่อความร้อน ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีจากสีแดงไปเป็นสีน้ำตาล สีของปีตาไซยานินมีความคงตัวที่อุณหภูมิต่ำซึ่งการศึกษาถึงผลของอุณหภูมิที่มีต่อความคงตัวของปีตาเลน แบ่งการทดลองออกเป็น 2 กลุ่ม คือ การสกัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 60 องศาเซลเซียส พบว่า ค่าครึ่งชีวิตของปีตาไซยานิน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส คือ 413.6 นาที และค่าครึ่งชีวิตของปีตาไซยานิน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส คือ 83.5 นาที (Herbach et al., 2004; Azeredo, 2009)

2.3.3 ผลของสารอื่น ๆ ที่มีผลต่อปีตาเลน

กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) จะมีผลในการป้องกันการเปลี่ยนสีของปีตาเลน โดยเมื่อให้ความร้อนสูง เช่น การสเตอริไรซ์ เมื่อมีการเติมกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้นร้อยละ 0.10 จะทำให้ค่าครึ่งชีวิตของปีตาไซยานินเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า (Herbach et al., 2006a; Azeredo, 2009)

ส่วนโลหะต่าง ๆ อาทิเช่น เหล็ก (Fe^{2+} , Fe^{3+}) ดีบุก (Sn^{2+}) อลูมิเนียม (Al^{3+}) โครเมียม (Cr^{3+}) และทองแดง (Cu^{2+}) เป็นต้น มีผลในการลดความคงตัวของสารให้สีให้กลุ่มปีตาเลน ซึ่งพบว่าเหล็กจะมีผลมากกว่าโครเมียม (Herbach et al., 2006a; Azeredo, 2009)

นอกจากนี้ยังปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการเสื่อมสภาพของสารปีตาเลน ได้แก่ แสง ออกซิเจน เอนไซม์ เป็นต้น (Herbach et al., 2006a; Azeredo, 2009)

2.4 สีผสมอาหาร

สีของอาหารเป็นลักษณะแรกที่ได้รับทางสัมผัสซึ่งผู้บริโภคใช้ในการเลือกและยอมรับอาหารนั้น ๆ โดยอาหารเกือบทุกชนิดตั้งแต่วัตถุดิบจนถึงผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีสีที่ยอมรับโดยผู้บริโภคแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสังคม ภูมิศาสตร์ ความชอบของสวยงาม และพื้นฐานของผู้บริโภค ซึ่งการยอมรับสีของอาหารแตกต่างกันขึ้นกับ เชื้อชาติ นอกจากนี้ยังพบว่าสีของอาหารที่แปลกจะมีอิทธิพลต่อผู้บริโภคน้อยกว่า การเปลี่ยนสีไปจากที่ควรจะเป็น

สีผสมอาหารเป็นวัตถุเจือปนอาหารชนิดหนึ่ง ซึ่งผู้ผลิตอาหารใช้ผสมลงไปในอาหารเพื่อปรุงแต่งอาหารนั้น ให้แลดูสวยงามหรือกลบเกลื่อนลักษณะอาหาร ที่เสื่อมสภาพให้คล้ายสีของอาหารตามธรรมชาติ รวมทั้งการแต่งสีเพื่อช่วยให้ดูคล้ายอาหารที่มีคุณภาพสูง เช่น อาหารที่ใช้ไข่เป็นส่วนผสม ปรากฏว่าในการผลิตจริงใช้ไข่เพียงเล็กน้อย หรือไม่ได้ใส่เลย แต่ใช้สีเหลืองผสมลงไปให้เป็นสีของไข่ (ศูนย์วิทยบริการ สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา [อย.], 2544)

2.4.1 วัตถุประสงค์ของการใช้สีผสมอาหาร

โดยทั่วไปการใช้สีผสมอาหารใช้เพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ กัน คือ

1. เพื่อแต่งสีผลิตภัณฑ์อาหารที่ไม่มีสี ได้แก่ เครื่องดื่มหรือเครื่องดื่มผง ลูกกวาด ไอศกรีม แยม เยลลี่ และอาหารว่าง เพื่อให้มีสีเป็นที่ดึงดูดใจผู้บริโภค

2. เพื่อแต่งสีผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งอาจสูญเสียหรือเปลี่ยนไปมากในระหว่างกระบวนการผลิตหรือการเก็บรักษา ได้แก่ การใช้สีผสมอาหารเพื่อช่วยแต่งสีของ เบียร์ วิสกี้ น้ำเชื่อม และอาหารอบ

3. เพื่อแต่งสีผลิตภัณฑ์อาหารที่มีสีธรรมชาติแปรเปลี่ยนตามฤดูกาลและสภาพภูมิอากาศ เช่น การใช้สีผสมอาหารแต่งสีนม ซึ่งปกติมักมีสีแตกต่างกันมาก ขึ้นกับฤดูกาล โดยนมในฤดูร้อนมักมีสีเหลืองเข้มกว่านมในฤดูหนาว เนื่องจากปริมาณเบตาแคโรทีนในหญ้าที่วัวบริโภคในฤดูร้อนมากกว่าในฤดูหนาว เพื่อให้อาหารที่ผลิตออกมามีสีคงที่ตามมาตรฐานที่ผู้ผลิตได้กำหนดไว้ เพื่อมิให้ผู้ซื้อเกิดความเข้าใจผิดในเรื่องคุณภาพของอาหารที่ผลิตขึ้นมา

ทั้งนี้อาจกล่าวโดยสรุปได้ว่า การเติมสีในอาหารก็เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารเป็นที่จดจำและมีลักษณะที่ดีที่ผู้บริโภคต้องการและยอมรับ

2.4.2 การใช้สีผสมอาหารเพื่อแต่งสีของอาหาร

การเลือกใช้สีผสมอาหารจะต้องเลือกชนิดของสีผสมอาหารที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภคและใช้ในปริมาณที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค โดยสีผสมอาหารที่ใช้ควรมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. ไม่ทำให้คุณสมบัติของอาหารเปลี่ยนไปในทางที่มีคุณภาพต่ำลง
2. มีความอยู่ตัวในอาหาร
3. ไม่เกิดปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์อาหารและบรรจุภัณฑ์ที่ใช้
4. ง่ายต่อการใช้ในผลิตภัณฑ์
5. ราคาถูก
6. ให้ความเข้มของสีสูง

2.4.3 ชนิดของสีผสมอาหาร

สีผสมอาหารโดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 พวกใหญ่ ๆ คือ

1. สีสังเคราะห์ หมายถึง สีอินทรีย์ที่ได้จากการสังเคราะห์ซึ่งมีลักษณะถูกต้องตามข้อกำหนดและปลอดภัยต่อการบริโภค

2. สีธรรมชาติ ได้แก่ สีที่ได้จากการสกัดจากวัตถุดิบธรรมชาติผ่านการพิจารณาในเรื่องส่วนประกอบ กรรมวิธีการผลิตความบริสุทธิ์และอื่น ๆ จนแน่ใจว่าปลอดภัยต่อการบริโภค

2.4.4 สีสังเคราะห์

ชนิดสีสังเคราะห์ที่อนุญาตให้ใช้ในอาหาร มี 9 สี คือ

1. ประเภทสีแดงมี 3 สี ได้แก่ ปองโซ 4 อาร์ (Ponceau 4 R) คาร์โมอีน หรือเอโซรูบิน (Carmoisine or Azorubine) และเออร์โรซีน (Erythrosine)

2. ประเภทสีเหลือง มี 3 สี ได้แก่ คาร์ตราซีน (Tartrazine) ซันเซ็ท เยลโลว์ เอ็ฟ ซี เอ็ฟ (Sunset Yellow F C F) และไรโบฟลาวิน (Riboflavin)

3. ประเภทสีเขียว มี 1 สี ได้แก่ ฟาสต์ กรีน เอ็ฟ ซี เอ็ฟ (Fast Green F C F)

4. ประเภทสีน้ำเงิน มี 2 สี ได้แก่ อินดิโกคาร์มีน หรือ อินดิโกติน (Indigocarmine or Indigotine) และบริลเลียนท์ บลู เอ็ฟ ซี เอ็ฟ (Brilliant Blue F C F)

2.4.5 สีที่ได้จากธรรมชาติ

สีจากธรรมชาติมีหลายสีด้วยกันซึ่งอาจได้มาจากทั้งพืชและสัตว์นับว่ามีความปลอดภัยที่สุด เช่น

1. สีแดง ได้จาก ครั่ง (ใช้รังครั่งใหม่ๆ) กระเจี๊ยบ (กลีบเลี้ยงหุ้มฝัก) ดอกเข็ม มะเขือเทศ มะละกอ อังกัก หรือ ข้าวแดง หัวบีท ผ่าง (ใช้เนื้อไม้หรือแก่นให้สีแดง ใช้เป็นหลักในการปรุงยาอายุรเวท)

2. สีเหลือง ได้จาก ขมิ้น ทั้งขมิ้นชันและขมิ้นอ้อย ลูกพุด ลูกตาลสุก พักทอง ดอกคำฝอย เมล็ดคำแสด ใบแดง

3. สีเขียว ได้จากใบเตยหอม

4. สีน้ำเงิน ได้จากดอกอัญชัน

5. สีม่วง ได้จาก ลูกหว่า ใบสาวดำ มันเลือดคนก ดอกอัญชันผสมน้ำมะนาว ข้าวเหนียวดำ

6. สีน้ำตาล ได้จาก น้ำตาลเคี้ยวใหม่ (Caramel) และ โกโก้ผง

7. สีดำ ได้จาก ไบยอ ไบคนที่สอ ถ่าน กาบหรือกะลามะพร้าวเผาไฟ หรือใบจาก หรือ รวงตาลเผาไฟ ถั่วดำ ดอกดิน

2.4.6 คุณลักษณะของสีผสมอาหารที่ได้มาตรฐาน

1. ไม่มีสารที่ทำให้เกิดพิษ และตัวสีเองไม่ก่อให้เกิดอันตรายแก่ร่างกายของผู้บริโภค
2. มีโครเมียม หรือ แคดเมียม หรือปรอท หรือเซสเนียมไม่เกิน 1 ส่วน ในล้านส่วน โดยน้ำหนัก

3. มีสารหนู ไม่เกิน 5 ส่วน ในล้านส่วนโดยน้ำหนัก

4. มีตะกั่วไม่เกิน 20 ส่วน ในล้านส่วนโดยน้ำหนัก

5. มีโลหะหนักชนิดต่าง ๆ นอกจากตะกั่ว รวมกันไม่เกิน 20 ส่วน ในล้านส่วน โดยน้ำหนัก

2.4.7 ข้อกำหนดเกี่ยวกับการใช้สีผสมอาหาร

ในสหรัฐอเมริกาได้เริ่มมีกฎหมายเกี่ยวกับสีฉบับแรกในปี ค.ศ. 1886 เรียกว่า Act of Congress ซึ่งได้อนุญาตให้ใช้สีในเนยได้ ต่อมาในปี 1900 กระทรวงเกษตรของสหรัฐอเมริกาได้มี

การสำรวจการใช้สีเป็นวัตถุเจือปนอาหาร และได้รับเริ่มกำหนดเกณฑ์ต่าง ๆ ที่จะควบคุมการใช้สีในอาหาร เนื่องจากในขณะนั้นไม่มีกฎหมายหรือข้อบังคับการใช้สีผสมอาหารในสหรัฐอเมริกา ในปี ค.ศ. 1906 จึงได้เริ่มมีการร่าง The Pure Food and Drug Act of 1906 ซึ่งเป็นกฎหมายในการปฏิบัติที่ไม่บังคับ แต่เพื่อเป็นการแสดงว่าสีที่ผลิตขึ้นแต่ละชุดสอดคล้องกับข้อกำหนดทางเคมีที่กำหนดไว้ในกฎหมาย (สิวาพร สิวเวช, 2529) ต่อมาสหรัฐอเมริกาได้มีการพัฒนากฎหมายอาหารตามยุโรปและคณะกรรมการอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (Food and Drug Administration : FDA) โดยได้มีการปรับปรุงหลายครั้ง จนในปี ค.ศ. 1938 ได้มีการบัญญัติกฎหมายขึ้นมาอีกฉบับหนึ่งซึ่งเรียกว่า FD & C (The Federal Food Drug and Cosmetic Act of 1938) เพื่อระบุนิยามของสีให้สูงขึ้นจึงอนุญาตให้ใช้ในอาหาร ยา และเครื่องสำอางค์ โดยสีสังเคราะห์ทุกชนิดจะต้องมีการขอใบรับรอง (Hendry, 1996) ต่อมาในปี 1950 ปรากฏว่ามีการพบอาการท้องเดินเกิดขึ้นกับเด็กที่บริโภคลูกกวาดและป๊อปคอนที่มีการใส่สีมากเกินไป และสีที่เป็นสาเหตุคือ FD & C Orange No.1, FD & C Orange No.2 และ FD & C Red No.32 จึงได้มีการยกเลิกการอนุญาตใช้สีดังกล่าว ซึ่งสาเหตุดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าความปลอดภัยของสีที่ใช้จะขึ้นอยู่กับปริมาณของสีที่ใช้ด้วย แต่ตาม The Federal Food Drug and Cosmetic Act of 1938 ไม่ได้ให้อำนาจในการกำหนดปริมาณสีที่ใช้ไว้ และในปี ค.ศ. 1960 ได้มีการแก้ไขสีที่ใช้ปรุงแต่งในอาหารโดยร่าง the Color Additives Amendments Act of 1960 แบ่งสีผสมอาหารเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรก สีผสมอาหารที่ต้องการมีการขอใบรับรองก่อนจาก FDA (Certified color additives) ซึ่งประกอบด้วยสีสังเคราะห์ 7 ชนิด ซึ่งเรียกชื่อโดยมี FD & C นำหน้าตามด้วย color additives และ กลุ่มที่สอง สีผสมอาหารที่ไม่ต้องการมีการขอใบรับรอง (Color additives exempt from certification) ได้แก่ สีที่ได้จากพืชผัก ผลไม้ สัตว์ สีเหล่านี้ จึงถูกเรียกว่า สีผสมอาหารตามธรรมชาติ โดยเรียกชื่อสีผสมอาหารตามธรรมชาติในแต่ละประเทศส่วนในกลุ่มยุโรป (The European Union ; EU) สีผสมอาหารแต่ละสีถูกเรียกชื่อโดยมีการระบุ E ตามด้วยตัวเลข (Hendry, 1996)

ในการใช้สีธรรมชาติมีข้อได้เปรียบจากสีสังเคราะห์ประการหนึ่ง คือได้รับการอนุญาตให้ใช้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารมากกว่าสีสังเคราะห์ ซึ่งโดยทั่วไปการใช้สีผสมในอาหารจะต้องได้รับการควบคุมให้ใช้ภายใต้ข้อกำหนด 3 ประการ (Hendry, 1996) ดังต่อไปนี้คือ

1. ข้อกำหนดของประชาชาติ (National Legislation) ของสีผสมอาหารที่มีการอนุญาตให้ใช้ในอาหาร
2. การใช้สีผสมอาหารแต่ละประเทศจะมีการจำกัดโดยข้อกำหนดชนิดของอาหารที่สามารถเติมสีได้
3. ปริมาณการใช้สูงสุดของสีผสมอาหารที่จะเติมลงในอาหารจะต้องมีข้อกำหนดเฉพาะ

2.5 ไมโครเอนแคปซูลชั้น (Microencapsulation)

ไมโครเอนแคปซูลชั้น หมายถึง กระบวนการที่ของเหลวหรืออนุภาคถูกห่อหุ้มให้อยู่ในรูปของแคปซูลด้วยพอลิเมอร์เป็นชั้นบาง ๆ เกิดเป็นไมโครแคปซูลซึ่งมีขนาดประมาณ 1-1,000 ไมครอน ชั้นพอลิเมอร์บาง ๆ นี้เองที่จะเป็นตัวป้องกันหรือปลดปล่อยสารสำคัญภายในออกมาเมื่อเราต้องการ

ขั้นตอนสำคัญ ๆ ของไมโครเอนแคปซูลชั้น ได้แก่

1. ทำให้เกิดฟิล์มบาง ๆ รอบอนุภาค หรือทำให้เกิดเป็นอิมัลชัน
2. ทำให้ฟิล์มนั้นแข็งแรง
3. แยกแคปซูลและทำให้แห้ง

ไมโครแคปซูลมักจะมีลักษณะเป็นทรงกลมอยู่ในรูปผงแห้งที่สามารถนำไปทำผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้ดี สารสำคัญที่อยู่ภายในไมโครแคปซูลจะถูกเรียกว่า คอร์ (Core) และผนังบาง ๆ ที่ห่อหุ้มสารสำคัญจะถูกเรียกว่า วอลล์ (Wall) ลักษณะของวอลล์ที่ดีควรมีความสามารถแผ่เป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ ได้ มีความยืดหยุ่นและแข็งแรงเพียงพอ มีความสามารถทำให้เกิดอิมัลชัน มีคุณสมบัติในการยึดติดกับคอร์ได้ดีโดยไม่ทำปฏิกิริยากัน มีความหนืดต่ำ เมื่ออยู่ในสถานะของแข็งต้องไม่ขึ้นง่าย นอกจากนี้ยังต้องมีความคงตัวสูงเพื่อป้องกันคอร์จากสภาพแวดล้อมต่าง ๆ และปลดปล่อยคอร์ได้ตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ดังนั้นการเลือกใช้สารที่จะนำมาทำเป็นวอลล์จึงจำเป็นที่จะต้องเลือกให้มีความเหมาะสมต่อสารสำคัญและต่อสภาวะการใช้งาน ในบางครั้งอาจต้องทำวอลล์ 2 ชั้น โดยชั้นในสร้างขึ้นเพื่อปกป้องคอร์ ส่วนชั้นนอกเป็นการสร้างขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ของการใช้งาน

สารที่สามารถนำมาทำเป็นวอลล์มีมากมายหลายชนิดทั้งที่ได้จากธรรมชาติ เช่น เพคติน ไคโตซาน กัม เจลลาติน และชนิดที่เป็นสารสังเคราะห์ เช่น Polyvinyl acetate, Ethyl cellulose, Synthetic wax ในที่นี้ขอกล่าวถึงสารบางตัวที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและยา เช่น

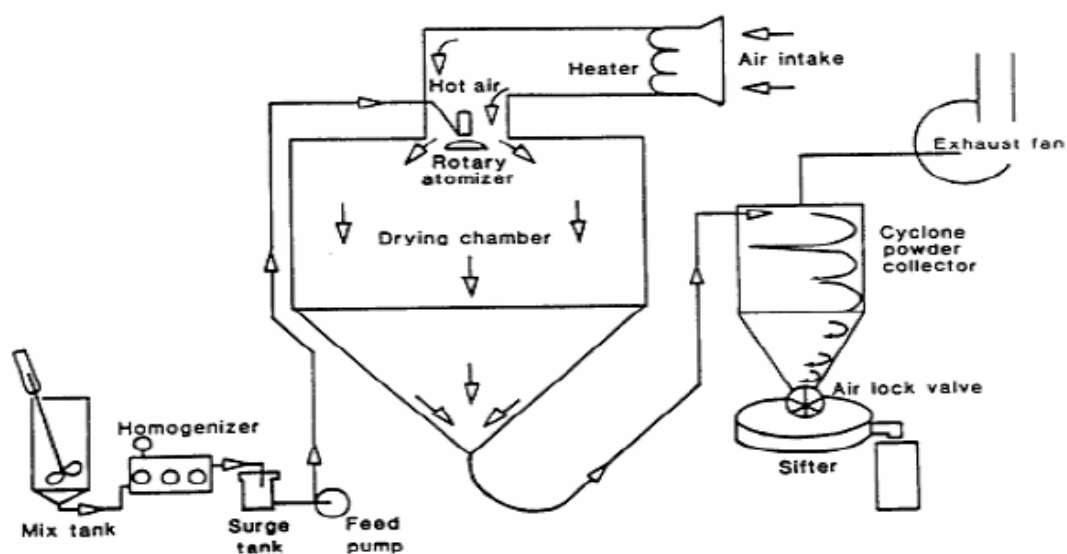
1. OSAN เป็นแป้งดัดแปรชนิดหนึ่ง (Modified starch) มีชื่อทางเคมีว่า n-octenylsuccinic anhydride-substituted starches นิยมใช้กับกระบวนการ spray drying ละลายน้ำได้ดี มีคุณสมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) ที่ดี ไม่มีกลิ่นรส ไม่เกิดปฏิกิริยาได้ง่ายและราคาไม่แพง แต่มีข้อเสียคือ จะทำให้สารละลายที่ได้มีความเป็นกรด (pH 3.0) เนื่องจากผลของ n-octenylsuccinic acid ซึ่งไม่เหมาะที่จะใช้งานกับสารสำคัญที่มีความไวต่อความเป็นกรด

2. กัมอาราบิก (Gum arabic หรือ Acacia gum) เป็น Hydrocolloid gum ที่มีคุณสมบัติของอิมัลซิไฟเออร์ที่ดีมาก มีความหนืดต่ำ และเมื่อเป็นผงแห้งจะไม่จับตัวเป็นก้อนได้โดยง่าย เหมาะสำหรับคอร์ที่ขึ้นง่าย

3. มอลโตเด็คซ์ทริน (Maltodextrin) เป็นสารที่ไม่มีกลิ่นรส ละลายน้ำได้ดี มีความหนืดต่ำ แต่ไม่มีคุณสมบัติในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ จึงมักใช้ร่วมกับ OSAN หรือ Gum Arabic เพื่อลดต้นทุนการผลิต

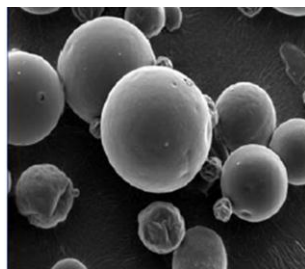
2.5.1 การประยุกต์เทคนิคเอนแคปซูลชันร่วมกับเทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

การอบแห้งแบบพ่นฝอยเป็นเทคนิคการเอนแคปซูลชันที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการผลิตสารให้กลิ่นรส เนื่องจากเครื่องมือหาได้ง่ายและต้นทุนการผลิตด้วยวิธีการนี้ต่ำกว่าวิธีอื่น ขั้นตอนการเอนแคปซูลชันโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอยประกอบด้วย การนำตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบ (Carrier, Coating medium หรือ Wall material) เช่น มอลโตเด็คซ์ทริน (Maltodextrin), สตาร์ชดัดแปร (Modified starch) กัม หรือส่วนผสมของสารเหล่านี้มาละลายน้ำ จากนั้นนำสารให้กลิ่นรสที่ต้องการนำมาเอนแคปซูลชันผสมกับสารละลายของตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบ (Carrier solution) โดยทั่วไปอัตราส่วนของสารเคลือบและสารสำคัญจะอยู่ในช่วง 4:1 นำส่วนผสมที่ได้ไปผ่านกระบวนการโฮโมจีไนส์ (Homogenize) เพื่อให้สารให้กลิ่นรสมีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอ แล้วทำให้แห้งโดยพ่นผ่านหัวสเปรย์ของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer) กระทั่งกับลมร้อนที่อุณหภูมิไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส ซึ่งจะทำได้ขนาดอนุภาคประมาณ 10-150 ไมครอน (ภาพที่ 2.7 และ 2.8) (ฉันทรา พูนศิริ, ม.ป.ป.)



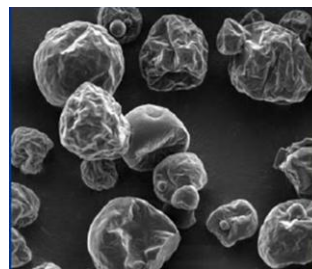
ภาพที่ 2.7 การเอนแคปซูลชันโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

แหล่งที่มา: Madene, Jacquot, Scher, and Desobry (2006)



อนุภาคที่ได้จากการพ่นฝอยโดยใช้

Wheel atomizer



อนุภาคที่ได้จากการพ่นฝอยโดยใช้

Pressure spray atomizer

ภาพที่ 2.8 ลักษณะของอนุภาคผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเอนแคปซูลเลท โดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

แหล่งที่มา: คัดแปลงจาก Madene et al. (2006)

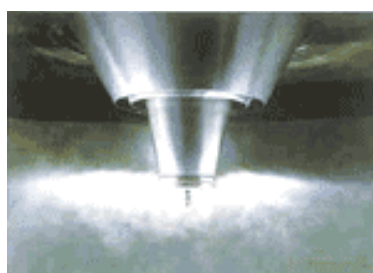
กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ

2.5.1.1 การทำให้ของเหลวกระจายตัวเป็นละออง (Atomization of ของเหลวในระบบ)

กระบวนการนี้เป็นการทำให้ของเหลวในระบบ กระจายตัวกลายเป็นละออง โดยใช้ Atomizer ซึ่งถือว่าเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งมี 3 ชนิด คือ

ก. หัวเหวี่ยงแบบโรตารี (Rotary atomizer)

Atomizer ชนิดนี้ ของเหลวในระบบ จะไหลลงบนจานหมุนใกล้กับจุดศูนย์กลาง โดยจานหมุนจะมีความเร็วรอบประมาณ 5,000-10,000 รอบต่อนาที (ดังภาพ 2.9) ของเหลวในระบบ ที่ตกลงบนจานหมุนจะถูกเหวี่ยงออกด้านข้างกระจายเป็นละอองขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 30-120 ไมครอน ซึ่งขนาดเฉลี่ยนี้จะแปรผันตรงกับอัตราการไหลของ ของเหลวในระบบ และความหนืด แต่จะแปรผกผันกับอัตราการหมุนและเส้นผ่าศูนย์กลางของจานหมุน



ภาพที่ 2.9 หัวเหวี่ยงแบบโรตารี (Rotary atomizer)

แหล่งที่มา: สุเมธ บุญเกิด (2552)

ข. หัวฉีดแบบใช้ความดัน (Pressure nozzles atomizer)

Atomizer ชนิดนี้ ของเหลวในระบบ จะไหลผ่านช่องของหัวฉีดภายใต้ความดันสูง ทำให้ของเหลวที่ออกมาจากหัวฉีดกระจายเป็นละอองฝอยได้โดยไม่ต้องใช้อากาศ (ดังภาพ 2.10) อนุภาคที่ได้จะมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 120-250 ไมครอน โดยขนาดอนุภาคจะแปรผันตรงกับอัตราการไหลของ ของเหลวในระบบและความหนืด แต่จะแปรผกผันกับความดัน



ภาพที่ 2.10 หัวฉีดแบบใช้ความดัน (Pressure nozzles atomizer)

แหล่งที่มา: สุเมธ บุญเกิด (2552)

ค. Two-fluid nozzle (pneumatic nozzle)

อุปกรณ์ชนิดนี้ ของเหลวในระบบ และอากาศจะไหลผ่านหัวของ Nozzle ซึ่งจะทำให้ของเหลวในระบบ แตกเป็นละอองฝอยเนื่องจากการไหลผ่านของอากาศด้วยความเร็วสูงภายใน Nozzle การปรับอัตราการไหลของอากาศ จะช่วยในการกระจายเป็นละอองของ ของเหลวในระบบ วิธีนี้นิยมใช้กับของเหลวในระบบที่มีความหนืดสูงอย่างไรก็ตามวิธีนี้ มีค่าดำเนินการที่สูงและให้ผลผลิตที่ต่ำ

2.5.1.2 การสัมผัสของละอองฝอยกับอากาศ

ขั้นตอนนี้ละอองของของเหลวในระบบที่ถูกฉีดออกมาจะสัมผัสหรือเข้าผสมกับอากาศร้อน และเมื่อพิจารณาจากตำแหน่งของ Atomizer กับอากาศแห้งๆจะสามารถแบ่งรูปแบบของการสัมผัสกับอากาศร้อนได้ (ดังภาพ 2.11)

ก. การไหลผ่านทางเดียวกัน (Co-current flow)

ทิศทางการฉีดของเหลวในระบบเป็นทิศทางเดียวกับการไหลของอากาศร้อน ละอองของเหลวในระบบจะสัมผัสและผสมเข้ากับกับอากาศร้อนขณะที่ยังมีความชื้นสูงหรือมีน้ำ

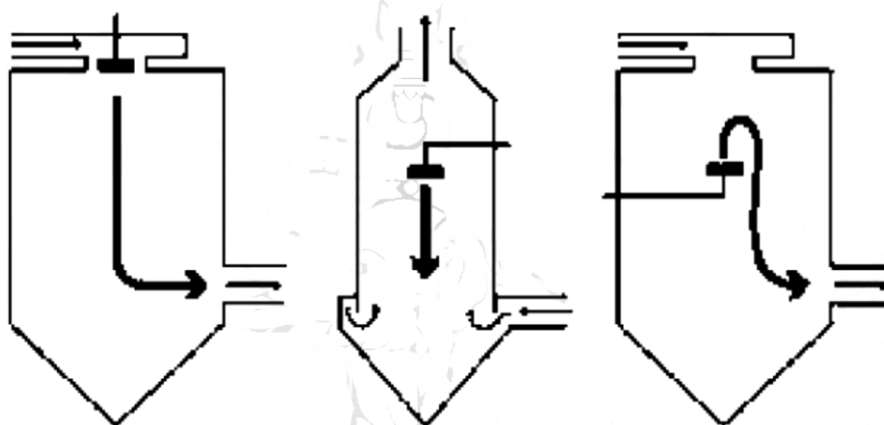
ภายในอนุภาคมากอยู่ จากนั้นผลิตภัณฑ์จะถูกทำให้ระเหยทันทีจนกลายเป็นผง วิธีนี้เป็นวิธีการทำแห้งของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยทั่วไป

ข. การไหลผ่านสวนทางกัน (Counter-current flow)

ทิศทางการฉีดของเหลวในระบบเป็นทิศทางตรงกันข้ามกับการไหลของอากาศร้อน โดยของเหลวในระบบจะถูกฉีดลงมาจากด้านบนในขณะที่อากาศร้อนจะไหลขึ้นจากด้านล่าง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความร้อนสูงมากวิธีนี้จึงเหมาะเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่เสถียรต่อความร้อนสูงเท่านั้น

ค. การไหลผ่านแบบผสม (Mixed flow)

การไหลของของเหลวในระบบจะเคลื่อนที่ผ่านทั้งห้อง Co-current และ Counter-current วิธีนี้เหมาะสำหรับทำแห้งผลิตภัณฑ์ที่เป็นผงหยาบ และทนความร้อนได้สูงมาก



ภาพที่ 2.11 การไหลของอากาศภายในของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย
แหล่งที่มา: สุเมธ บุญเกิด (2552)

2.5.1.3 การระเหยของละอองฝอย

เมื่อละอองสัมผัสกับอากาศแห้งร้อนจะเกิดการระเหยชั้นไออิมตัวบริเวณผิวของละอองอย่างรวดเร็วโดยจะมีอุณหภูมิที่ผิวละอองที่อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอุณหภูมิอากาศแห้งจะแพร่สู่ผิวหน้าซึ่งอยู่ในสภาวะอิมตัวช่วงนี้จึงเป็นช่วงที่อัตราการระเหยคงที่ จนกระทั่งความชื้นต่ำไม่มีการแพร่สู่ผิวหน้า ทำให้เกิดชั้นแห้งหนาขึ้นตามเวลาช่วงนี้อัตราการระเหยจะลดลง

2.5.1.4 ขั้นตอนการแยกผลิตภัณฑ์แห้งจากอากาศ

การแยกผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอากาศนั้น โดยทั่วไปนิยมใช้ Cyclone เป็นตัวเก็บผง ผลิตภัณฑ์ที่ตกลงสู่ด้านล่างของ Cyclone ส่วนลมที่ออกจากด้านบนของ Cyclone จะผ่านไปยังตัว

เก็บชั้นสุดท้ายทั้งนี้อาจเป็น Wet scrubber หรือ Bag filter หรือ Electrostatic precipitator ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณผงที่มีและประสิทธิภาพการนำกลับมา

ระบบของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย แบ่งออกเป็น 2 ระบบ ได้แก่

1. ระบบเปิด (Open cycle system)

ระบบนี้ อากาศที่ใช้ในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นอากาศจากบรรยากาศ ซึ่งจะถูกนำเข้ามาในระบบโดยผ่านตัวกรอง จากนั้นหลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการโดยที่ในอากาศไม่มีผลิตภัณฑ์หลงเหลืออยู่แล้ว จึงถูกปล่อยกลับออกสู่บรรยากาศตามเดิม

2. ระบบปิด (Closed cycle system)

ระบบนี้จะใช้ก๊าซ เช่น ไนโตรเจนในการหมุนเวียนอากาศภายในระบบ โดยที่ไม่มีการปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ระบบนี้มักใช้กับการทำแห้งสารละลายที่ติดไฟได้ สารมีพิษและสารที่มีความไวต่อออกซิเจนซึ่งเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยทั่วไปเป็นระบบเปิดและมีการไหลของอากาศเป็นแบบทางเดียวกัน

การปรับเปลี่ยนตัวแปรทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามต้องการ โดยตัวแปรเหล่านั้น คือ

1. ความหนืดของวัตถุดิบ (Viscosity) และอุณหภูมิของวัตถุดิบก่อนเข้าทำแห้ง ถ้าของเหลวในระบบมีความหนืดสูง (หรือผลจากการลดลงของอุณหภูมิของของเหลวในระบบ) ในขณะที่หัวเหวี่ยงทำงานด้วยความเร็วคงที่ ทำให้ได้ละอองที่มีขนาดใหญ่ขึ้นที่สภาวะของ Atomizer เดียวกัน การระเหยน้ำเปลี่ยนไปผงที่ได้มีขนาดและมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ถ้ามีความหนืดมากจะทำให้มีลักษณะคล้ายเส้นด้าย ดังนั้นจึงไม่ควรใส่ของเหลวที่มีความหนืดสูงเกินไป

2. อัตราความเร็วในการป้อนวัตถุดิบ (Feed rate) โดยที่ถ้าอัตราการไหลของของเหลวในระบบสูงขึ้นในขณะที่หัวเหวี่ยงทำงานด้วยความเร็วคงที่ จะทำให้ได้ละอองที่หยาบขึ้นและมีขนาดใหญ่ขึ้น เพราะใช้เวลามากขึ้นกับอากาศน้อยเกินไป จึงควรควบคุมอัตราการไหลของของเหลวในระบบให้เหมาะสม

3. ความเร็วของหัวเหวี่ยง (Atomizer speed) ในขณะที่อัตราป้อนวัตถุดิบคงที่ การเพิ่มความเร็วของหัวเหวี่ยงมีผลทำให้ละอองของเหลวที่ฉีดได้มีขนาดเล็กลงผงที่ได้จะละเอียดและมีความหนาแน่นมาก

4. ชนิดหัวฉีด (Atomizers) การเลือกชนิดของหัวฉีดจะขึ้นกับขนาดของอนุภาคผงและลักษณะการกระจายของขนาดผงที่ต้องการ ถ้าใช้หัวเหวี่ยงแบบโรตารี (Rotary atomizers) ขนาดของอนุภาคผงแห้งอยู่ระหว่าง 20-150 ไมครอน และถ้าต้องการผงที่มีขนาดใหญ่ขึ้นสามารถทำได้โดยผลิตในห้องทำแห้งขนาดใหญ่ขึ้น ถ้าหัวฉีดแบบใช้ความดัน (Pressure atomizers) ขนาดของอนุภาคผงแห้งอยู่ระหว่าง 120-300 ไมครอน

5. ประสิทธิภาพในการทำให้ของเหลวกลายเป็นละอองฝอย ขึ้นอยู่กับการออกแบบระบบของหัวเหวี่ยงตั้งแต่ความเร็วในการหมุนของวงล้อหัวเหวี่ยง จำนวนรอบหมุนลักษณะของใบพัด (Vaness) ลักษณะของปลอกวงล้อ (Busing) และปริมาณวัสดุคิบบที่ป้อนเข้า

6. อัตราไหลของอากาศที่ลดลงทำให้เวลาที่ละอองอยู่ใน Drying chamber นานขึ้น ซึ่งจะสัมผัสกับอากาศร้อนนานขึ้น และเป็นผลให้ลดความชื้นได้ดีขึ้น แต่หากอัตราการไหลของเหลวในระบบสูง และอัตราการไหลของอากาศต่ำเกินไป และมีอุณหภูมิไม่สูงเพียงพอก็อาจทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นสูง และเกาะติดอยู่กับผนังของ Drying chamber ได้

7. อุณหภูมิในการทำให้แห้ง (Drying temperature) การเพิ่มอุณหภูมิของลมร้อนก่อนเข้าทำให้แห้ง (Inlet air temperature) ในขณะที่อัตราการไหลลมคงที่จะทำให้การระเหยน้ำเพิ่มขึ้นและทำให้ Bulk density ลดลง ถ้าอุณหภูมิของลมร้อนก่อนเข้าทำให้แห้งสูงเกินไป ผงที่ได้จะมีความหนาแน่นต่ำ เนื่องจากอัตราการระเหยของน้ำเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วผงจะมีลักษณะรูพรุนหรือโปร่ง การเพิ่มอุณหภูมิของลมร้อนหลังการทำให้แห้ง (Outlet air temperature) ในขณะที่อัตราการไหลลมคงที่จะทำให้ปริมาณความชื้นของผงที่ได้ลดลง ถ้าต้องการผงที่ได้มีอนุภาคใหญ่เกาะกันเป็นเม็ดจะใช้อุณหภูมิลมร้อนหลังการทำให้แห้งที่ระดับต่ำ ผงที่ได้จะมีคุณสมบัติละลายน้ำง่าย นอกจากนี้การปรับอัตราการไหลของของเหลวในระบบมีผลต่ออุณหภูมิขาออก ถ้าอัตราการไหลของของเหลวในระบบสูงขึ้นทำให้อุณหภูมิขาออกลดลง และจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสูงจะเกาะอยู่บริเวณผนังของ Drying chamber ได้

8. ทิศทางและอัตราเร็วของลมร้อน อัตราเร็วของลมร้อนเป็นตัวควบคุมระยะเวลาในการทำให้แห้งของละอองของเหลว ถ้าระยะเวลาในการทำให้แห้งนานความชื้นในผงที่ได้จะลดลง การลดอัตราความเร็วของลมร้อนจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกผงออกจากเครื่องทำให้แห้ง ส่วนการกำหนดทิศทางของการเคลื่อนที่ของลมร้อนภายในห้องทำให้แห้งเป็นสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงมากเพราะถ้าทิศทางการไหลของลมร้อนเหมาะสมจะทำให้การถ่ายเทความร้อนเกิดได้เร็วขึ้น โดยทิศทางการเคลื่อนที่ของลมร้อนในห้องทำให้แห้งแบ่งออกเป็น 5 แบบ คือ เคลื่อนที่ขนานตามแนวราบกับละอองของเหลว เคลื่อนที่ลงขนานตามแนวตั้งกับละอองของเหลว เคลื่อนที่ขึ้นขนานตามแนวตั้งกับละอองของเหลว เคลื่อนที่สวนทางตามแนวตั้งกับละอองของเหลวและเคลื่อนที่แบบผสม โดยลมร้อนถูกพ่นเข้าด้านข้างค่อนไปทางด้านบนของห้องทำให้แห้ง ละอองของเหลวถูกพ่นออกจากด้านบน มีเครื่องดูดอากาศออกทางด้านบนทำให้ลมร้อนเกิดการผสมวนเวียนกับละอองของเหลวภายในห้องทำให้แห้ง

2.5.2 สารตัวกลาง (Carrier)

สำหรับกระบวนการผลิตผงสีจากน้ำผลไม้ มักเกิดปัญหาที่สำคัญคือ การเกาะติดผนังภายในของเครื่องทำให้แห้งแบบพ่นฝอย และการดูดความชื้นอย่างรวดเร็วของผงสีทำให้เกิดเป็นลักษณะเยิ้ม

เหนียวได้ง่ายเมื่อตั้งทิ้งไว้เนื่องจากในผงสีมีปริมาณน้ำตาลความเข้มข้นสูง ดังนั้นเพื่อลดปัญหาดังกล่าวในการทำแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยควรมีสารตัวกลางซึ่งเป็นสารที่ทำหน้าที่เป็นตัวขนส่งและกระจายสารบางอย่างในน้ำผลไม้ซึ่งถูกทำลายได้ง่ายโดยความร้อน หรือเป็นสารพวกที่ระเหยได้ง่ายโดยสารตัวกลางทำหน้าที่ดักจับและกักเก็บสารเหล่านี้ไว้แทนทำให้ถูกทำลายด้วยความร้อนหรือระเหยได้น้อยลง (สมบัติ ขอทวีวัฒนา, 2529)

2.5.2.1 มอลโทเดกซ์ทริน (Maltodextrin)

มอลโทเดกซ์ทรินมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ประมาณ 900-9000 มีสูตรโมเลกุลคือ $(C_6H_{12}O_6)_n \cdot H_2O$ จัดเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทเดียวกับกลูโคสไซรัป ประกอบด้วยหน่วยของ D-glucose หลายๆ หน่วยเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -(1 \rightarrow 6) และค่าสมมูลย์เดกซ์โทรส (Dextrose Equivalent หรือ DE) ต่ำกว่า 20 เตรียมได้จากการย่อยโมเลกุลของสตาร์ช การไฮโดรไลซิสด้วยกรดไฮโดรคลอริก หรือโดยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส เพื่อให้เกิดสารละลายกลูโคสพอลิเมอร์ (Glucose polymer solution) ที่มีสายยาว สารละลายนี้จะถูกกรองและทำให้แห้งหรือทำให้เข้มข้นมากขึ้นเพื่อให้ได้มอลโทเดกซ์ทริน สตาร์ชที่นำมาใช้ ได้แก่ สตาร์ชจากข้าวโพด ข้าวเจ้า มันสำปะหลัง มันฝรั่ง เป็นต้น โดยทั่วไปที่นิยมผลิตจะมีค่า DE อยู่ในช่วง 5-19 มอลโทเดกซ์ทรินอาจอยู่ในรูปสารละลายเข้มข้นหรือรูปผงสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่มีรสหวาน หรือหวานเล็กน้อย จัดเป็นสารที่ไม่มีอันตรายต่อร่างกาย (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2543) ค่าความชื้นตั้งแต่ร้อยละ 3.0-5.0 ค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 32-36 ปอนด์ต่อตารางฟุต ค่าความเป็นกรดต่างอยู่ในช่วง 4.0-5.5 มีการแบ่งชนิดตามค่าสมมูลย์เดกซ์โทรส หรือค่า DE ซึ่งเป็นค่าร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำตาลกลูโคสที่มีอยู่ในตัวอย่างเมื่อใช้วิธีการตรวจวัดโดยวิธีรีดักชัน มอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่า DE ต่ำ จะมีค่าการดูดความชื้นต่ำและค่าการละลายจะน้อยลง แต่การใช้มอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่า DE สูง จะมีค่าการดูดความชื้นสูงขึ้น และค่าการละลายเพิ่มขึ้น แต่บางครั้งอาจทำให้สารสีที่ถูกเติมเกิดความขุ่นได้ และมีผลทำให้มีความหนืดลดลง (สมบัติ ขอทวีวัฒนา, 2529)

คุณสมบัติของมอลโทเดกซ์ทรินที่นำมาพิจารณาในการใช้ร่วมกับผลิตภัณฑ์อาหารอธิบายโดย Risch and Reineccius (1998) มีดังนี้

- ก. ทำให้มีกลิ่นเกิดความคงตัวสำหรับการทำสารห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหย
- ข. มีคุณสมบัติเป็นฟิล์มในกรณีเป็นสารห่อหุ้มกลิ่นรส สารที่เลือกใช้จะทำหน้าที่เป็นฟิล์มหรือโพนหรือเป็นเยื่อเลือกผ่านที่ล้อมรอบสารให้กลิ่นรส โดยคุณสมบัติเหล่านี้จะทำหน้าที่ในการปกป้องกลิ่นรสได้
- ค. มอลโทเดกซ์ทรินเป็นสารที่ไม่ดูดความชื้น ช่วยลดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะผงแห้ง โดยความชื้นสัมพัทธ์ได้

ง. การเติมมอลโทเด็กซ์ทรินจะทำให้ความหนืดของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ทำให้สัดส่วนของน้ำในผลิตภัณฑ์ลดลง การเปลี่ยนแปลงทางเคมีข้าง

จ. การปลดปล่อยกลิ่นรส มอลโทเด็กซ์ทรินละลายได้ในน้ำเย็น ไม่หวาน ไม่มีกลิ่น ได้สารละลายใส เมื่อใช้เป็นส่วนห่อหุ้มกลิ่นรสจะสามารถปลดปล่อยกลิ่น-รสของผลิตภัณฑ์ได้ดี

ฉ. ราคาถูกและหาซื้อได้ง่าย มอลโทเด็กซ์ทรินมีราคาต่ำกว่าสารที่ใช้เป็นส่วนประกอบหลาย ๆ ตัวและยังสามารถใช้ร่วมกับสารอื่นได้

2.5.2.2 แป้งดัดแปรแป้งอะเซทิลเลทออกซิไดซ์ (Acetylated oxidized starch)

แป้งแป้งอะเซทิลเลทออกซิไดซ์ (Acetylated oxidized starch : AOS) เป็นแป้งดัดแปลงโครงสร้างทางเคมีจากเม็ดแป้งที่ผ่านการทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ของส่วนชั้นหนืด (Slurry) ของเม็ดแป้งในสารละลายค่างไฮโปคลอไรท์ (ClO⁻) ที่อุณหภูมิต่ำ (21-38 องศาเซลเซียส) จากนั้นทำสารละลายให้มีค่าเป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ (NaHSO₄) แล้วชะล้างสารอินทรีย์เกลือด้วยน้ำ ต่อมานำแป้งออกซิไดซ์ (Oxidized starch) มาทำปฏิกิริยาเอสเตอร์ฟิเคชันด้วยสารละลายอะซิติก (C₄H₆O₃) ที่เป็นด่างอ่อน ๆ จากนั้นทำสารละลายให้มีค่าเป็นกลางด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) แล้วล้างและทำให้แห้ง (Apeldoorn et al., 2000)

แป้ง AOS ถูกใช้เป็นส่วน Binding agent ในผลิตภัณฑ์ขนมหวานแบบนุ่ม เนื่องจากในผลิตภัณฑ์นี้มีส่วนผสมของน้ำ น้ำตาลและสารแต่งกลิ่น ในกระบวนการผลิตจนกระทั่งกลายเป็นสารละลายใสที่มีปริมาณของแข็งแห้ง (dry-solid) 70% ลักษณะสำคัญของผลิตภัณฑ์สุดท้ายต้องใส ซึ่งกระบวนการ Acid hydrolysis จะทำให้ได้แป้งที่ไม่ใสในขณะที่การผลิต Oxidized starch จะทำให้ผลิตภัณฑ์ขนมหวานนิ่มเกินไป จึงนำแป้ง AOS มาปรับปรุงลักษณะสำคัญนี้โดยทำให้เกิดความเหนียวและเจลใส โดยในผลิตภัณฑ์ขนมหวานนิยมใช้ที่ความเข้มข้นประมาณ ร้อยละ 30 และสามารถใช้แทนเจลาตินหรือกัมอะราบิก (Gum Arabic) และน้ำตาลได้ แป้ง AOS มีโครงสร้างคงทนในอาหารภายใต้สภาวะปกติ จะเกิดการสลายตัวอย่างช้า ๆ ในสภาวะกรดต่ำ กลายเป็นกรดน้ำตาลกลูโคนิก (Gluconic acid) และกรดอะซิติก ส่วนในอาหารที่มีสภาวะความเป็นกรด-ด่างเป็นกลางจะไม่เกิดการเสื่อมสภาพ ไม่จับตัวกับแร่ธาตุ ไม่ทำปฏิกิริยากับโปรตีนหรือวิตามิน และไม่มีผลต่อสารอาหารอื่น ๆ (Apeldoorn et al., 2000)

2.6 การทดสอบความเป็นสารต้านการก่อการกลายพันธุ์ (Antimutagenicity assay)

การทดสอบความเป็นสารต้านการก่อการกลายพันธุ์ (Antimutagenicity assay) หรือการทดสอบแอมส์ (Ames Test) เป็นการทดสอบที่พัฒนาขึ้น โดย Dr. Bruce Ames เมื่อปี พ.ศ. 2514 เพื่อใช้คัดกรองหาฤทธิ์ของการก่อการกลายพันธุ์ของสารเคมี สารสกัดสมุนไพร โดยการทดสอบในแบคทีเรียเนื่องจากแนวคิดที่ว่าสารที่ทำให้เกิด DNA damage และเหนี่ยวนำให้เกิดการก่อการกลาย

พันธุ์ในแบคทีเรีย อาจส่งผลให้เกิดการก่อกลายพันธุ์ในเซลล์ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม (Mammalian cells) ได้เช่นเดียวกัน ซึ่งการทดสอบในแบคทีเรียนั้นสามารถทำได้ง่าย สะดวก ราคาถูก และให้ผลเร็วกว่าการทดลองในสัตว์ โดยสามารถรู้ผลอย่างรวดเร็ว ๆ ได้ใน 2-3 วัน (สมชัยยา สุริฉันท, 2540)

การทดสอบเอมส์ไม่ได้ใช้ในการคัดกรองหาสารก่อมะเร็ง (Carcinogen) โดยตรงแต่จะนิยมและแนะนำให้ใช้เป็นวิธีการทดสอบวิธีแรกที่ต้องทำในการศึกษาสารก่อการกลายพันธุ์หรือสารก่อมะเร็ง เพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการตัดสินใจศึกษาในขั้นตอนต่อไป โดยความแตกต่างของการกลายพันธุ์ (Mutagen) และสารก่อการกลายพันธุ์ (Carcinogen mutagen) คือ สารที่เป็นสาเหตุให้เกิดความผิดปกติที่เบสสายใดสายหนึ่งใน DNA ซึ่งเมื่อมีการนำสาย DNA ส่วนที่เบสเปลี่ยนแปลงไปถ่ายทอดจะทำให้เกิดโปรตีนที่ผิดปกติ เรียกว่าการกลายพันธุ์ซึ่งอาจทำให้เกิดมะเร็งหรือไม่ก็ได้

2.6.1 การกลายพันธุ์ (Mutation)

การกลายพันธุ์ คือ การเปลี่ยนแปลงสารพันธุกรรมที่ อยู่ในสิ่งมีชีวิต และก่อเกิดเป็นลักษณะใหม่ซึ่งต่างไปจากลักษณะเดิมที่มีอยู่ โดยลักษณะดังกล่าว สามารถถ่ายทอดสู่ลูกหลานได้ และเราเรียกสิ่งมีชีวิตที่กลายพันธุ์ว่า Mutant (แก้ว กังสดาลอำไพ, 2537) โดยชนิดของการกลายพันธุ์มีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ

1. การกลายพันธุ์ของเซลล์สืบพันธุ์ (Germinal mutation) เมื่อเกิดการกลายพันธุ์ของเซลล์ดังกล่าวแล้วลักษณะกลายพันธุ์นั้น สามารถถ่ายทอดสู่รุ่นลูกหลานได้
 2. การกลายพันธุ์ของเซลล์ร่างกาย (Somatic mutation) เมื่อเกิดการกลายพันธุ์ขึ้นกับเซลล์ดังกล่าวแล้วลักษณะกลายพันธุ์นั้น ไม่สามารถถ่ายทอดสู่รุ่นลูกหลานได้
- นอกจากนี้เมื่อเกิดการกลายพันธุ์จากลักษณะเดิม (อัลลีล (Allele) ปกติ) ไปเป็นลักษณะใหม่ (อัลลีลใหม่) แล้วยังมีการกลายพันธุ์ที่ทำให้ลักษณะฟีโนไทป์ที่กลายพันธุ์เปลี่ยนกลับคืนสู่สภาพเดิม ซึ่งก็คือ การกลายพันธุ์กลับ (Reversion)

2.6.2 ระดับของการกลายพันธุ์

การกลายพันธุ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงสารพันธุกรรมในระดับต่าง ๆ ได้แก่

1. Point mutation หรือ Gene mutation เป็นการกลายพันธุ์ที่เกิดในระดับโมเลกุลหรือยีน ได้แก่ การขาดหาย เพิ่ม หรือ แทนที่ของเบสเพียง 1-2 เบส
2. Chromosome mutation เป็นการกลายพันธุ์ที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างโครโมโซม ได้แก่ อินเวอร์ชัน (Inversion) ทรานสโลเคชัน (Translocation) อินเซอรัชัน (Insertion) ดีลีชัน (Deletion) เป็นต้น
3. Genomic mutation เป็นการกลายพันธุ์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากจำนวนโครโมโซมขาดหายไปหรือเพิ่มขึ้นมา ได้แก่ ยูพลอยดี (Euploidy) และแอนยูพลอยดี (Aneuploidy)

2.6.3 หลักการของการทดสอบฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์

การทดสอบแอมส์เป็นการทดสอบการกลายพันธุ์แบบย้อนกลับ (Backward or reverse mutation) ในแบคทีเรีย *Salmonella typhimurium* เนื่องจากแบคทีเรียที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ซึ่งในสภาพปกติจะสามารถสร้างกรดอะมิโนฮิสทีดีน (Histidine) ได้เองแต่ถูกทำให้กลายพันธุ์ไปจนไม่สามารถสังเคราะห์กรดอะมิโนฮิสทีดีนได้ ซึ่งการกลายพันธุ์ที่เกิดขึ้นนั้นเรียกว่าเป็นลักษณะของการกลายพันธุ์ซ้ำเมื่อนำไปทดสอบกับสารก่อการกลายพันธุ์ บริเวณยีนลักษณะนี้จะเรียกว่า Hot spot ทำให้ไม่สามารถเจริญในตัวกลางที่ขาดกรดอะมิโนชนิดนี้ได้ เรียกว่า "Histidine dependent" (His-) สารทดสอบที่มีฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์จะทำให้แบคทีเรียชนิดนี้เกิดการกลายพันธุ์ย้อนกลับสามารถสร้างกรดอะมิโนฮิสทีดีน (Histidine) ได้เอง เป็น "Histidine independent" (His+) (สมชัยยา สุริรัตน์, 2540 และแก้ว กังสดาลอำไพ, 2537)

เนื่องจากสารบางตัวเป็น Pro-mutagen เมื่อเข้าไปสู่ร่างกายคน อาศัยการ Metabolise โดยเอนไซม์ (Enzyme) ที่ดับเปลี่ยนให้เป็น Active metabolite ที่มีฤทธิ์เป็น Mutagen เช่น สาร Benzo(a)pyrene ซึ่งไม่มีฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ แต่เมื่อถูกเปลี่ยนโดยเอนไซม์ที่ดับเป็น Diol epoxides จะมีฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์และก่อมะเร็งอย่างรุนแรง ดังนั้น ในการทดสอบแอมส์ได้เพิ่มการกระตุ้นด้วยเอนไซม์ที่ได้จากตับหนู คล้ายกับเป็นการจำลองการเกิด Metabolism ในร่างกาย เปลี่ยน Pro-mutagen ให้เป็น Mutagen ทำให้การทดสอบแอมส์ครอบคลุมไปถึงการคัดกรองหาฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ในสารพวก Pro-mutagen ได้ด้วย คุณสมบัติของแบคทีเรียที่ใช้ในการทดสอบ

แบคทีเรียที่ใช้ในการทดสอบแอมส์นิยมใช้เชื้อ *Salmonella typhimurium* ซึ่งมีด้วยกันหลายสายพันธุ์ ทั้ง TA98, TA97, TA100, TA1535 และ TA102 จากการที่การกลายพันธุ์ที่เกิดขึ้นในแบคทีเรียดังกล่าวเป็นแบบ Point mutation ของยีนที่สร้างกรดอะมิโนฮิสทีดีนได้ ดังนั้น ในขั้นตอนของการเก็บสายพันธุ์จึงต้องเติมกรดอะมิโนฮิสทีดีนเสมอและนอกจากนี้ เนื่องจากในระหว่างที่มีการปรับปรุงสายพันธุ์เป็นผลให้ยีนที่สร้างไบโอติน (Biotin) เกิดการกลายพันธุ์กระทั่งแบคทีเรียไม่สามารถสร้างไบโอตินได้จึงต้องมีการเติมไบโอตินลงไปในการเลี้ยงเชื้อด้วย (แก้ว กังสดาลอำไพ, 2537) อีกทั้งนอกจาก *Salmonella typhimurium* แล้วยังมีแบคทีเรียที่นิยมใช้ในการทดสอบการกลายพันธุ์ตัวอื่นอีก คือ *Escherichia coli* ซึ่งหลักการของการทดสอบในเชื้อ 2 ชนิดนี้เหมือนกัน แต่ต่างกันที่ความต้องการกรดอะมิโน (Amino acid) คนละตัวกัน กล่าวคือ *Salmonella typhimurium* ต้องการกรดอะมิโนฮิสทีดีนและ *Escherichia coli* ต้องการกรดอะมิโนทริปโตเฟน (Tryptophan) (แก้ว กังสดาลอำไพ, 2537)

เมื่อมีคุณสมบัติตามที่กล่าวมาข้างต้นแล้วยังไม่เพียงพอในการทดสอบ โดยนอกจากแบคทีเรียที่ถูกทำให้เกิดการกลายพันธุ์ขึ้นที่ยีนที่ควบคุมการสร้างกรดอะมิโนแล้ว แบคทีเรียที่นำมาทดสอบต้องมีคุณสมบัติอื่น ๆ อีก เพื่อช่วยให้แบคทีเรียมีความไวต่อการเกิดกลายพันธุ์ คือ

1. rfa mutation เป็นการเพิ่ม Cell wall permeability โดยทำให้เกิดการกลายพันธุ์ขึ้นในแบคทีเรีย ทำให้ความสามารถในการสร้าง lipopolysaccharide ซึ่งเคลือบอยู่บนผนังเซลล์ลดลงหรือขาดหายไป ทำให้สารโมเลกุลใหญ่เข้าไปภายในเซลล์ได้มากขึ้น

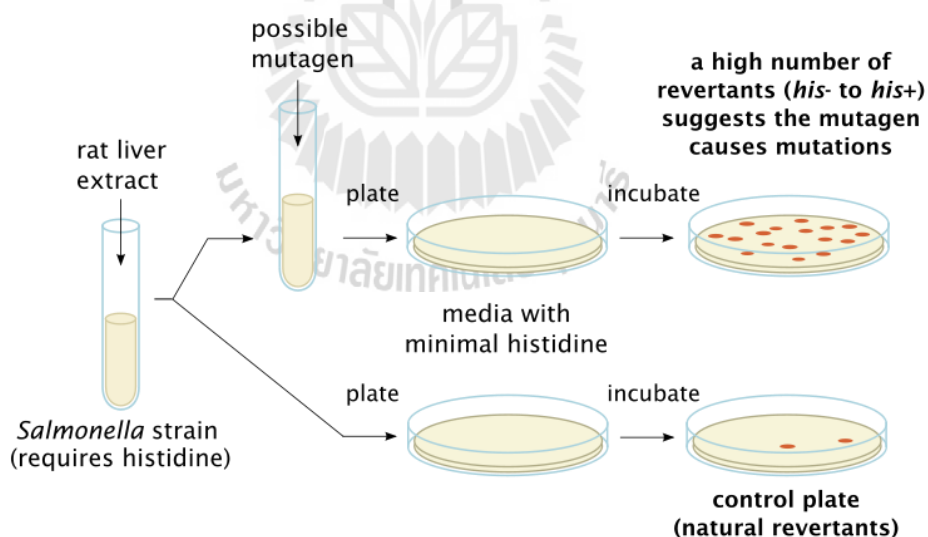
2. uvrB mutation คือ การทำให้เกิดการกลายพันธุ์ในแบคทีเรีย ทำให้แบคทีเรียสูญเสียความสามารถในการซ่อมแซม DNA ที่ผิดปกติ (Inability to repair damaged or mutated section)

3. R-factor plasmids คือ การใส่ Plasmid เช่น pKM101 หรือ pAQ1 เข้าไปในแบคทีเรียบางสายพันธุ์เพื่อช่วยให้แบคทีเรียมีความไวต่อสารก่อกลายพันธุ์มากขึ้น เนื่องจาก Plasmid จะไปเพิ่ม Error-prone repair of DNA damage ทำให้แบคทีเรียมีความไวต่อสารก่อกลายพันธุ์กว้างขึ้น (Provides a sensitive test for broad spectrum of mutagens)

2.6.4 วิธีตรวจสอบฤทธิ์ก่อการกลายพันธุ์

วิธีตรวจสอบฤทธิ์ก่อการกลายพันธุ์ในการทดสอบเอมส์มี 3 วิธี คือ

1. Plate incorporation test
2. Spot test
3. Preincubation test (ดังภาพที่ 2.12)



ภาพที่ 2.12 การตรวจสอบผลการทดสอบความเป็นสารก่อการกลายพันธุ์

แหล่งที่มา: แก้ว กังสดาลอำไพ (2537)

แต่ไม่ว่าอย่างไรก็ตามเนื่องจากการทดสอบแบบเอมส์เป็นวิธีระยะสั้น เป็นการตรวจสอบสารก่อการกลายพันธุ์เบื้องต้นก่อนที่จะทำการศึกษาในสัตว์ทดลองอื่น ๆ ผลที่ได้จะทำได้สามารถ

พัฒนาและปรับปรุงสารที่มีประโยชน์แต่ไม่มีฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์เพื่อนำไปใช้ในชีวิตประจำวัน (แก้ว กังสดาลอำไพ, 2537) ซึ่งการพิจารณาว่าสารเคมีมีฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์หรือไม่จะมีการพิจารณา คุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. ต้องมีความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารที่ทดสอบกับจำนวนโคโลนีที่เกิดขึ้นว่าเป็น Dose response relationship กล่าวคือ เมื่อความเข้มข้นของสารเพิ่มขึ้นจะพบว่าจำนวนโคโลนีเพิ่มขึ้นด้วย

2. ตัวอย่างต้องมีอย่างน้อย 2 ความเข้มข้นที่ทำให้จำนวนแบคทีเรียกลายพันธุ์มีจำนวนมากกว่าจำนวนที่กลายพันธุ์ตามธรรมชาติ

3. ต้องมีความเข้มข้นอย่างน้อยหนึ่งความเข้มข้นที่ทำให้จำนวนแบคทีเรียกลายพันธุ์มากกว่า 2 เท่าของการกลายพันธุ์ตามธรรมชาติ



บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่าง วิเคราะห์และทดสอบคุณสมบัติทั้งหมด ดังนี้

- 3.1.1 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer UV-vis, Libra S22, Biochrom, UK)
- 3.1.2 เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge, Legand Mach 1.6R, Sorvall, Germany)
- 3.1.3 ห้องแช่เย็นที่ 4 องศาเซลเซียส (PTV 19T/43, Montecchio, Italy)
- 3.1.4 ห้องแช่แข็งที่ -20 องศาเซลเซียส (NT30T/404/43, Montecchio, Italy)
- 3.1.5 เครื่องบดอาหารแบบหยาบ (Blender, IKA, M20 Universal Mill, Thermo Fisher Scientific Inc., US)
- 3.1.6 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer, 3108 Mobile minor, GEA Process Engineering Inc., Denmark)
- 3.1.7 เครื่องวัดสี Minolta (Chroma meter, CR-300, Konica Minolta, Osaka, Japan)
- 3.1.8 เครื่องวัดสี (Color meter [Hunter Lab], Color Quest XE, ColorTec Associates Inc., USA)
- 3.1.9 เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter, Mettler Teledo MP220, Switzerland)
- 3.1.10 เครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray dryer, TD372, New Way Manufacturing Co., Ltd., Thailand)
- 3.1.11 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า (Shaking waterbath, Julabo SW22, Rose Scientific, Ltd., Canada)
- 3.1.12 เครื่องผสมสารละลาย (Vortex, Vortex-Genic1 Touch Mixer, Scientific Industries, Inc., USA)
- 3.1.13 เครื่องปิดผนึกแบบสุญญากาศ (Vacuum packaging, S225, VAC-STAR AG, Switzerland)
- 3.1.14 เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Analytical Balance, MS204S, Mettler-Toledo International Inc., US)

- 3.1.15 เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Analytical Balance, PG4002-S Delta Range, Mettler-Toledo International Inc., US)
- 3.1.16 เครื่องวัดความหวาน (Hand Refractometer, Master N-1alpha, 0-32%, ATAGO Co., Ltd., USA)
- 3.1.17 เครื่องปั่นผสม (Homogenizer, T50L, Sciencelab.com, Inc., USA)
- 3.1.18 เครื่อง Inductively Couple Plasma-Optical Emission Spectrometer (ICP-OES, รุ่น Optima 8000, PerkinElmer Inc., USA)
- 3.1.19 เครื่องย่อยตัวอย่างด้วยไมโครเวฟในภาชนะปิด (Closed vessel microwave digestion, Ethos EZ, Milestone Inc., US)
- 3.1.20 เครื่องวัดความชื้น (Moisture Analyzer, IR120, DENVER Instrument, Germany)
- 3.1.21 เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze dryer, LYOVAC GT2-S, GEA Process Engineering Inc., US)
- 3.1.22 เครื่องวัดขนาดอนุภาคโดยใช้เลเซอร์ (Laser diffraction particle size analysis, HORIBA LA 950 V2, HORIBA, Ltd., Japan)
- 3.1.23 เครื่องเขย่า (Shaker, KS 501, IKA® Works (Asia) Sdn Bhd, Malaysia)
- 3.1.24 ตู้อบ (Hot air oven, ULB-700, Memmert GmbH, Germany)
- 3.1.25 เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (Water activity, Aqua Lab 3TE, Decagon Devices, Inc., USA)
- 3.1.26 ตู้ปลอดเชื้อ (Laminar flow cabinet, Biological safety cabinet class II, AES Environment, US)
- 3.1.27 เครื่องนึ่งฆ่าเชื้อโรค (Autoclave, MLS-2420, Sanyo, Panasonic Biomedical Sales Europe BV, UK)
- 3.1.28 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning electron microscope, JSM-6010LV, JEOL USA, Inc., USA)
- 3.1.29 เครื่องฉาบตัวอย่างด้วยไอออน (Ion sputtering device, JFC-1100E, JEOL, Tokyo, Japan)
- 3.1.30 ตู้บ่ม 37 องศาเซลเซียส (Incubator, BD400, Binder GmbH, Germany)
- 3.1.31 แผ่นทดสอบเชื้อสำเร็จรูป *E.coli* และ *Coliform* (3M™ Petrifilm™ *E. coli/Coliform*, 3M, St. Paul, Minn., USA)
- 3.1.32 เครื่องแก้วพื้นฐานสำหรับงานวิเคราะห์ทางเคมี

3.2 วัตถุดิบ

- 3.2.1 แก้วมังกรพันธุ์เนื้อผลสีขาว (*Hylocereus undatus*) และพันธุ์เนื้อผลสีแดง (*Hylocereus polyrhizus*) จากสวนแก้วมังกร อำเภอวังน้ำเขียว จังหวัดนครราชสีมา, ประเทศไทย
- 3.2.2 แป้งมันสำปะหลังตัดแปร AOS และมอลโตเดกซ์ทริน (Maltodextrin) จากบริษัท สยาม โมดิฟายด์ สตาร์ช จำกัด
- 3.2.3 สีผสมอาหารทางการค้า ได้แก่ สีแดง (Azorubine) และสีชมพู (Erythrosine) ยี่ห้อ ห้างเรียงตางซื้อจากศูนย์การค้าในเขตจังหวัดนครราชสีมา

3.3 การเตรียมตัวอย่าง

3.3.1 การเตรียมตัวอย่างเพื่อตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารแอนโทไซยานินและสารบีตาไซยานินในเปลือกแก้วมังกรทั้งชนิดเนื้อผลสีขาวและสีแดง

นำผลแก้วมังกรสด (ที่มีผลสุกจากระยะเวลาเพาะปลูกประมาณ 40-45 วัน) ทั้งสายพันธุ์เนื้อผลสีขาวและสีแดงที่ซื้อมาจากสวนผลไม้ในอำเภอวังน้ำเขียว จังหวัดนครราชสีมา ประเทศไทย ช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายน มาทำความสะอาดสะอาดเสี้น้ำให้แห้งแล้วนำแต่ส่วนเปลือกมาตัดแต่งให้เป็นชิ้นขนาดประมาณ 3 x 3 เซนติเมตรจากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง

3.3.2 การเตรียมตัวอย่างเพื่อหาสถานะการสัปดาห์สารแอนโทไซยานินและบีตาไซยานินที่เหมาะสมจากผลของความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัด

นำเปลือกแก้วมังกรสดทั้งสายพันธุ์เนื้อผลสีขาวและสีแดงไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray dryer, TD372, New Way Manufacturing Co., Ltd., Thailand) ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส นาน 1 วันและนำไปบดแบบหยาบด้วยเครื่องบดอาหารแบบหยาบ (Brender, IKA, M20 Universal Mill, Thermo Fisher Scientific Inc., US) จากนั้นนำไปบรรจุในถุงอูมิเนียมฟอยล์แล้วปิดผนึกแบบสุญญากาศ ก่อนนำไปแช่แข็งในห้องแช่แข็ง (NT30T/404/43, Montecchio, Italy) ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อรอทำการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

3.4 การศึกษาและการทดสอบคุณลักษณะต่าง ๆ

3.4.1 การตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารแอนโทไซยานินและบีตาไซยานินในเปลือกแก้วมังกรสดทั้งชนิดเนื้อผลสีขาวและสีแดง

นำเปลือกแก้วมังกรสดในข้อ 3.3.1 จำนวน 100 กรัม มาบดสับแล้วผสมกับน้ำปราศจากไอออน (DI water) (200 mL) นาน 20 นาที ด้วยเครื่องเขย่า (Shaker, KS 501, IKA® Works (Asia) Sdn Bhd, Malaysia) แล้วนำมาแยกกากด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge, Legand Mach 1.6R,

Sorvall, Germany) ที่ความเร็วรอบ 10,000 g อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที จากนั้นทำการตรวจสอบปริมาณแอนโทไซยานินและบีตาไซยานินในเปลือกแก้วมังกรทั้งชนิดเนื้อผลสีขาวและสีแดงดังต่อไปนี้ ก่อนนำไปเปรียบเทียบปริมาณแอนโทไซยานินและบีตาไซยานินที่ได้

3.4.1.1 การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน (Total and Colored Anthocyanins)

ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer UV-vis, รุ่น Libra S22, Biochrom, UK) ดัดแปลงจากวิธีการของ Bae and Suh (2007)

นำสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรปริมาณ 1.96 มิลลิลิตร บรรจุลงในคิวเวทท์ (Cuvette) แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 520 นาโนเมตร (A_{520}) จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (Sodium metabisulphite) (20 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร) ปริมาณ 0.04 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ทิ้งไว้ นาน 1 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 520 นาโนเมตร ($A_{520}^{SO_2}$) อีกครั้ง และนำสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรปริมาณ 0.1 มิลลิลิตร ผสมกับกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร ปริมาณ 4.9 มิลลิลิตร ในหลอดทดลองผสมให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ 180 นาทีที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 520 นาโนเมตร (A_{520}^{HCl}) โดยใช้สารละลายเอทานอลร้อยละ 12 เป็นตัวควบคุม (Blank) จากนั้นคำนวณปริมาณความเข้มข้นของสารแอนโทไซยานิน (Total anthocyanins, TA) และค่าสีของสารแอนโทไซยานิน (Coloured (ionized) anthocyanins, CA) ซึ่งอยู่ในรูปของ Malvidin-3-glucoside สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 และสมการที่ 2

$$TA (\mu\text{g/g}) = 20 \times [A_{520}^{HCl} - (\frac{5}{3} \times A_{520}^{SO_2})] \times \text{final extract volumn (mL)} / \text{homogenate weight (g)} \dots\dots(1)$$

$$CA (\mu\text{g/g}) = 20 \times [A_{520} - A_{520}^{SO_2}] \times \text{final extract volumn (mL)} / \text{homogenate weight (g)} \dots\dots\dots(2)$$

3.4.1.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารบีตาไซยานิน ด้วยเครื่อง UV-vis Spectrophotometer

ตามวิธีการของ Wybraniec และ Mizrahi (2002) และ Wu et al. (2006)

นำสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรมาทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงของ UV-vis อยู่ใน ช่วง 200-700 nm เพื่อหาค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด (λ max) แล้วนำค่านั้นมาคำนวณหาปริมาณสารบีตาไซยานินจากสมการที่ 3

$$\text{Concentration of betacyanins (mg/g of dried extracts weight)} = \frac{A_{537}(MW)V(DF) \times 100}{\epsilon LW} \dots\dots\dots(3)$$

เมื่อ	A_{537}	คือค่าการดูดกลืนแสงที่ 537 nm (λ max)
	L	คือค่าความยาวของคอลัมน์ (path length) มีค่าเท่ากับ 1.0 cm
	DF	คืออัตราการเจือจาง (dilution factor)

V	คือปริมาณสารละลายรงควัตถุ (mL)
W	คือน้ำหนักแห้งของรงควัตถุ (g)
ϵ	คือค่า Molar extinction coefficient ของ Betanin = 65,000 mol*cm
MW	ของ Betanin มีค่าเท่ากับ 550 g/mol

3.4.1.3 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total polyphenols, TP)

ดัดแปลงจากวิธีการของ Bae and Suh (2007)

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด คำนวณด้วยวิธีของ Folin-Ciocalteu โดยนำน้ำกลั่น ปริมาณ 3.95 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายตัวอย่างที่ผ่านการสกัดและเจือจางอย่างเหมาะสม ปริมาณ 0.05 มิลลิลิตร แล้วเติมสาร Folin-Ciocalteu reagent (0.25 มิลลิลิตร) ลงในหลอดทดลองมาผสมให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้เวลานาน 1 นาที จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้น 20 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ปริมาณ 0.75 มิลลิลิตร เมื่อผสมให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้วันที่มีอุณหภูมิห้องนาน 120 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 750 นาโนเมตร แล้วคำนวณหาปริมาณความเข้มข้นของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากกราฟมาตรฐานโดยใช้สาร Gallic acid เป็นสารละลายมาตรฐานในช่วง 50-800 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.4.1.4 การวิเคราะห์ค่าสี ตามวิธีการของ Esquivel et al. (2007)

สำหรับตัวอย่างที่เป็นผงนำตัวอย่างมา 20 กรัม ส่วนตัวอย่างสารสกัดเหลวนำมา 20 มิลลิลิตร มาวิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่องวัดสี (Color meter [Hunter Lab] รุ่น Color Quest XE, ColorTec Associates Inc., USA) โดยใช้ค่าการส่องแสง (illuminant) D_{65} และ 10° observer angle โดยวัดค่า L^* , a^* , b^* แล้วนำมาคำนวณค่าดังสมการที่ 4-6

$$\text{ค่า Chroma : } C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{ค่า Hue angle : } h^\circ = \arctan b^* / a^* \dots\dots\dots(5)$$

$$\text{ค่า Total Colour differences : } \Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \dots\dots\dots(6)$$

3.4.1.5 การวิเคราะห์หาค่าความชื้น โดยใช้ตู้อบ (Hot air oven) ตามวิธีการของ AOAC (1990)

เริ่มจากการอบด้วยสำหรับใส่ตัวอย่างที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน จากนั้นชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 5 กรัม ใส่ลงในถ้วย บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน แล้วนำไปอบในตู้อบ (Hot air oven, รุ่น ULB-700, Memmert GmbH, Germany) ที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนัก ปริมาณความชื้นหาได้จากสมการที่ 7

$$\text{Moisture content (\%)} = \frac{\text{Weight before} - \text{Weight after}}{\text{Weight before} - \text{Bowl weight}} \times 100 \dots \dots \dots (7)$$

3.4.1.6 การวิเคราะห์หาค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ตามวิธีการของ AOAC (1990)

นำตัวอย่างใส่ภาชนะสำหรับใส่ตัวอย่างประมาณ 3/4 ส่วนของภาชนะ จากนั้นนำตัวอย่างใส่ลงในเครื่องวิเคราะห์น้ำอิสระในอาหาร (Water Activity, รุ่น Aqua Lab 3TE, Decagon Devices, Inc., USA) ทิ้งไว้ประมาณ 4-5 นาที จากนั้นทำการอ่านค่าที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ

3.4.2 การหาสภาวะการสกัดสารแอนโทไซยานินและบีตาไซยานินที่เหมาะสมจากผลของ

ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัด

นำเปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อผลสีแดงมาศึกษาหาสภาวะ การสกัดสารบีตาไซยานินที่เหมาะสมโดยแปรค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)(X_1) ซึ่งปรับค่าด้วยสารละลายซिटริกเข้มข้น 1 โมลาร์ และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2 โมลาร์ อุณหภูมิในการสกัด (X_2) และระยะเวลาในการสกัด (X_3) ตามแผนการทดลอง Box-Behnken design ดังตารางที่ 1 โดยใช้ตัวทำละลาย 2 ชนิด (น้ำปราศจากไอออน และเอทานอลร้อยละ 80) และแปรอัตราส่วนระหว่างเปลือกแก้วมังกรบดต่อสารสกัดที่ 6 กรัมต่อ 200 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge, Legend Mach 1.6R, Sorvall, Germany) ที่ 10000 g อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที และปรับปริมาตรจนครบ 200 มิลลิลิตร ก่อนนำไปวิเคราะห์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่ให้ปริมาณบีตาไซยานินสูงสุด

ตารางที่ 3.1 แผนการทดลองแบบ Box-Behnken design ขนาด 15 สิ่งทดลอง

ตัวแปร	สัญลักษณ์	-1	0	+1
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	X_1	4.5	5.0	5.5
อุณหภูมิในการสกัด (°C)	X_2	40	60	85
ระยะเวลาในการสกัด (min)	X_3	20	40	60
สิ่งทดลองที่		X_1	X_2	X_3
1		0	-1	-1
2		0	+1	-1
3		0	-1	+1
4		0	+1	+1

ตารางที่ 3.1 แผนการทดลองแบบ Box-Behnken design ขนาด 15 สิ่งทดลอง (ต่อ)

สิ่งทดลองที่	X_1	X_2	X_3
5	-1	-1	0
6	-1	+1	0
7	+1	-1	0
8	+1	+1	0
9	-1	0	-1
10	-1	0	+1
11	+1	0	-1
12	+1	0	+1
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0

3.4.3 การหาสูตรที่เหมาะสมของการผลิตสีผสมอาหารจากเปลือกแก้วมังกร

นำสารสกัดที่ได้จากการศึกษาสภาวะการสกัดที่ให้ปริมาณบีตาไซยานินมากที่สุดในข้อ 3.4.2 มาทำการผสมกับสารตัวกลางที่เลือกศึกษา ได้แก่ แป้งมันสำปะหลังดัดแปร (Acetylated Oxidized Starch, AOS) และมอลโตเดคตรินซ์ (Maltodextrin, MD) โดยแปรสัดส่วนของสารสกัดกับสารตัวกลาง (X_1) อุณหภูมิผสมเข้า (Inlet temperature) (X_2) และอัตราการป้อน (Feed flow rate) (X_3) (ดังตารางที่ 3.2) เพื่อทำเป็นสีผสมอาหารและคำนวณหาค่า %Final solid content ด้วยเครื่องวัดความหวาน (Hand refractometer, Master N-1alpha, 0-32%, ATAGO Co., Ltd., USA) จากนั้นนำส่วนผสมข้างต้นไปผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์ (Homogenization) ด้วยเครื่องปั่นผสม (Homogenizer, T50L, Sciencelab.com, Inc., USA) ที่ความเร็วรอบ 5,000 rpm นาน 10 นาที แล้วทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer, 3108 Mobile minor, GEA Process Engineering Inc., Denmark) โดยศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมจากการแปรค่าอุณหภูมิผสมเข้า (Inlet temperature) อัตราการป้อน (Feed flow rate) ตามแผนการทดลอง 2^3 Factorial design (ตารางที่ 3.2) จากนั้นนำไปวิเคราะห์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่ให้ปริมาณบีตาไซยานินสูงสุด

ตารางที่ 3.2 แผนการทดลองแบบ 2^3 Factorial design

ตัวแปร	สัญลักษณ์	-1	1
อัตราส่วนระหว่างสารยึดเหนี่ยวกับสารสกัด (%dry mass)	X_1	6	8
อุณหภูมิลมเข้า (Inlet temperature) ($^{\circ}\text{C}$)	X_2	140	160
อัตราการป้อน (Feed flow rate) (mL/min)	X_3	6	12
สิ่งทดลองที่	X_1	X_2	X_3
1	1	1	-1
2	1	-1	-1
3	-1	1	-1
4	1	1	1
5	-1	-1	1
6	1	-1	1
7	-1	1	1
8	-1	-1	-1

จากนั้นวัดค่าความชื้นตามข้อ 3.4.1.5 และปริมาณน้ำอิสระ (A_w) ตามข้อ 3.4.1.6 ของสีผสมอาหารที่ได้ นำสีที่ได้ทั้งหมดมาตรวจวัดค่าสีโดยเครื่องวัดสีตามข้อ 3.4.1.4 เทียบกับสีผสมอาหารสีแดงที่มีขายในตลาด เลือกสีผสมอาหารที่ใช้สารตัวกลางแต่ละชนิดที่มีปริมาณสารปีตาไซยานินมากที่สุดและมีค่าสีใกล้เคียงกับสีแดงที่ใช้เปรียบเทียบมากที่สุด นำตัวอย่างผงสีที่สกัดจากเปลือกแก้วมังกรที่ได้มาชั่งน้ำหนักประมาณ 0.4 กรัม แล้วละลายด้วยสาร McIlvaine's buffer (pH 5.6) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร จากนั้นนำมาทดสอบหาปริมาณปีตาไซยานินโดยใช้วิธีการตามข้อ 3.4.1.2 ดัดแปลงจากวิธีการของ Cai and Corke (2000) และ Stintzing et al. (2004), ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุดตามข้อ 3.4.1.3, วิเคราะห์ค่าสีในข้อ 3.4.1.4 และทดสอบสารปนเปื้อนประเภทโลหะหนักโดยใช้เครื่อง Inductive Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES) ในข้อ 3.4.6

3.4.4 การศึกษาคุณสมบัติในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน

นำตัวอย่างผงสีที่สกัดจากเปลือกแก้วมังกรแดงที่ผสมแป้ง AOS และมอลโตเดกตรินเข้ามาชั่งน้ำหนักประมาณ 1 กรัม แล้วละลายด้วยสาร McIlvaine's buffer (pH 5.6) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร แล้วนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันดังนี้

3.4.4.1 วิธี DPPH• radical scavenging activity คัดแปลงจากวิธีการของ Cai, Sun, and Corke (2003) Wu et al. (2006) และ Sumaya-Martínez et al. (2011)

นำสารละลาย DPPH• ความเข้มข้น 60 ไมโครโมลาร์ ที่ละลายด้วยเอทานอลร้อยละ 80 (3.9 มิลลิลิตร) ผสมกับสารละลายตัวอย่างผงสีที่สกัดจากเปลือกแก้วมังกรแดงที่ผสมแป้ง AOS และมอลโตเดกทรินซ์ (0.1 มิลลิลิตร) ที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน 6 ระดับ แล้วเขย่านาน 15 วินาที ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องนาน 180 นาที จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยง (Centrifugation) ที่ความเร็วรอบ 10,000 rpm ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที ก่อนนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 515 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ส่วนสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องนาน 1 นาที โดยใช้สารละลายเอทานอลร้อยละ 80 เป็นตัวควบคุม และใช้สารละลาย DPPH• ที่ไม่มีส่วนผสมของตัวอย่าง (DPPH• ปริมาณ 3.9 มิลลิลิตร ผสมกับเอทานอลร้อยละ 80 ปริมาณ 0.1 มิลลิลิตร) เป็นตัวควบคุม ทำการทดสอบจำนวน 3 ซ้ำ แล้วคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การขจัดขวางของค่าการดูดกลืนแสงของ DPPH• (Inhibition (%) of DPPH• absorbance) = $(A_{\text{control}} - A_{\text{test}}) \times 100 / A_{\text{control}}$ จากนั้นเขียนกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของ DPPH• กับค่าความเข้มข้นของค่าแอนติออกซิแดน แล้วคำนวณค่า IC₅₀ เมื่อค่า A_{control} เป็นค่าการดูดกลืนแสงของตัวควบคุม (สารละลาย DPPH• ที่ไม่มีส่วนผสมของตัวอย่าง) และค่า A_{test} เป็นค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง (สารละลาย DPPH• ผสมกับสารสกัดตัวอย่างปริมาณ 0.1 มิลลิลิตร) โดยใช้กรดแอสคอร์บิกเป็นสารมาตรฐานและวิเคราะห์ค่าโดยเทียบกับกรดแอสคอร์บิก

3.4.4.2 วิธีวิเคราะห์ ABTS^{•+} ตามวิธีการของ Wu et al. (2006)

เตรียมสารละลาย ABTS^{•+} radical cation โดยนำสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต (K₂S₂O₈) ความเข้มข้น 2.45 มิลลิโมลาร์ ผสมกับสารละลาย ABTS ความเข้มข้น 7 มิลลิโมลาร์ ในสารละลาย 0.01 โมลาร์ ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ที่ pH 7.4 นาน 16 ชั่วโมงในที่มืดอุณหภูมิห้อง แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 734 นาโนเมตร ให้มีค่าประมาณ 0.70 ± 0.02 แล้วนำสารมาตรฐานและสารละลายตัวอย่างผงสีที่สกัดจากเปลือกแก้วมังกรแดงที่ผสมแป้ง AOS และมอลโตเดกทรินซ์ที่เจือจางให้มีระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน 6 ระดับ (0.1 มิลลิลิตร) ผสมกับสารละลาย ABTS^{•+} (1.9 มิลลิลิตร) แล้วทิ้งไว้นาน 3 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตเมตริกที่ช่วงเวลาต่างกัน ตัวควบคุมที่ไม่มีสารมาตรฐานหรือตัวอย่างถูกใช้เป็น Blank และเติมสาร PBS ลงไปแทนตัวอย่างควบคุม สาร Trolox ซึ่งเป็นสารที่สามารถละลายน้ำและเป็นสาร α -tocopherol (วิตามินอี) ใช้เป็นสารมาตรฐาน

3.4.4.3 วิธีวิเคราะห์ Ferric-ion reducing antioxidant power (FRAP) ตามวิธีการ ของ Wootton-Beard, Moran, and Ryan (2010)

โดยทำการเตรียมสารละลาย FRAP จากสารละลาย Acetate และสารละลาย Glacial acetic acid buffer (pH 3.6) เข้มข้น 300 มิลลิโมลาร์ สารละลาย 4,6-tripyridyls-triazine (TPTZ) เข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ในกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์ และสารละลาย Ferrous chloride (FeCl_2) เข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ ในอัตราส่วน 10:1:1 (v/v) ตามลำดับ สารละลาย FRAP จะต้องเตรียมใหม่ทุกครั้งก่อนใช้งาน และนำน้ำกลั่นปราศจากไอออนปริมาณ 1 มิลลิลิตร ไปอุ่นในอ่างควบคุมที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ก่อนที่จะนำมาใช้ การทดสอบวิธีนี้ใช้สารละลายตัวอย่างผงสีที่สกัดจากเปลือกแก้วมังกรแดงที่ผสมแป้ง AOS และมอลโตเดคตรินซ์ที่เจือจางให้มีระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน 6 ระดับ (25 ไมโครลิตร) แล้วเติมสารละลาย FRAP (1 มิลลิลิตร) ผสมให้เข้ากัน เก็บไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 นาที นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 593 นาโนเมตร คำนวณค่า Total antioxidant capacity ของสารสกัดตัวอย่างโดยทำการเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลาย Ferric sulphate ที่มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0-1000 ไมโครโมลาร์ โดยทำการทดลองจำนวนสามซ้ำและหาค่าเฉลี่ย โดยใช้สารละลาย FRAP ที่อุ่นในอ่างควบคุมที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็น Blank

3.4.5 การศึกษาคุณสมบัติทางชีวภาพของสารสกัดแก้วมังกรแดงต่อความเป็นสารต้านการก่อกลายพันธุ์ (Antimutagenicity assay)

3.4.5.1 วิธีการเตรียมสารสกัดเปลือกแก้วมังกรแดง

นำเปลือกแก้วมังกรแดงแห้งบดหยาบมาละลายในน้ำปราศจากไอออน (pH 5.5) ในอัตราส่วน 6 กรัมต่อ 200 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยง (Centrifugation) ที่ 10000 g อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที และปรับปริมาตรจนครบ 200 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสแล้วทำการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบเยือกแข็ง (Freeze dryer, รุ่น LYOVAC GT2-S, GEA Process Engineering Inc., US) แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำไปวิเคราะห์ต่อไป

3.4.5.2 แบคทีเรียที่ใช้ทดสอบ

แบคทีเรีย *Salmonella typhimurium* สายพันธุ์ TA98 ได้รับความอนุเคราะห์มาจาก รองศาสตราจารย์แก้ว กังสดาลอำไพ สถาบันวิจัยโภชนาการมหาวิทยาลัยมหิดล มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา จังหวัดนครปฐม ประเทศไทย

3.4.5.3 วิธีการทดสอบฤทธิ์ก่อการกลายและฤทธิ์ต้านการกลายพันธุ์ในแบคทีเรีย

นำสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรแดงที่สกัดด้วยน้ำปราศจากไอออนมาทดสอบคุณสมบัติทางชีวภาพในการเป็นสารต้านการก่อกลายพันธุ์ (Antimutagenicity) โดยวิธี *Salmonella*

test (Ames test) คัดแปลงจากวิธีการของ Oonsivilai, Cheng, Bomser, Ferruzzi, and Ningsanond (2007) และสถาบันโภชนาการ ม.มหิดล (2555) โดยใช้แบคทีเรีย *Salmonella typhimurium* สายพันธุ์ TA98 (Moltox; Boone, NC, USA) ซึ่งเป็นการทดสอบการกลายพันธุ์จากการเลื่อนของเบส (Frameshift mutation) ในจานหลุม 6 หลุม ที่มีอาหารวุ้น Vogel-Bonner minimal glucose agar (5mL) ต่อหลุมและอาหารวุ้น Top agar (2%) ซึ่งได้มาจาก Moltox (Boone, NC, USA) นำเชื้อแบคทีเรียตัวอย่างที่เพาะไว้ไปใส่ลงในอาหารเหลว Oxoid#2 nutrient broth ปริมาณ 12 มิลลิลิตร แล้วบ่มในอ่างน้ำพร้อมเขย่าที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 16 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนด เจือจางเชื้อลง 8 เท่า ด้วย 0.9% Sodium chloride (NaCl) เพื่อวัดค่า OD อ่านค่าที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร จะได้ประมาณ 0.3-0.4 แล้วทำการเตรียมสารกระตุ้นด้วยเอนไซม์แบบ Mammalian microsomal activation system (S-9 mix), สารละลาย 2-amino-anthracence (2-AA) stock solution (40 - 200 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) เตรียมในสาร Dimethyl sulfoxide (DMSO) ในสภาวะปลอดเชื้อ จากนั้นนำสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรแดงมาละลายในสาร DMSO ร้อยละ 50 แล้วกรองแบบปลอดเชื้อ ทำการเจือจางที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 0.033 ถึง 0.522 mg GAE/mL แล้วทำการทดสอบการก่อกลายพันธุ์ (Mutagenicity assay)

ทำการทดสอบการเป็นสารก่อกลายพันธุ์ โดยนำ Eppendorf tube ขนาด 1.5 มิลลิลิตร แล้วเติม 25 ไมโครลิตรของสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรที่แต่ละความเข้มข้นหรือ DMSO (Blank) หรือ 2-AA แล้วเติม 50 ไมโครลิตร ของเชื้อ *Salmonella typhimurium* TA98 และเติม 0.1 มิลลิลิตร ของร้อยละ 4 ของ S-9 mix จากนั้นผสมให้เข้ากันด้วย Vortex แล้วนำไปบ่มในอ่างน้ำพร้อมเขย่าที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที แล้วเติม Molten top agar ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ก่อนเทใส่ในจานหลุม 6 หลุมที่มี Minimal glucose agar อยู่ โดยทำตัวอย่างละ 3 ซ้ำ แล้วนำไปบ่มที่ 37 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง นับจำนวนเชื้อที่เจริญเทียบกับตัวควบคุม (2-AA)

การทดสอบการเป็นสารต้านการก่อการกลายพันธุ์แบบ Microscreen ทำได้โดยนำสาร 2-AA (3.0 ไมโครกรัม) หรือสาร DMSO (Blank) ปริมาตร 25 ไมโครลิตร ผสมกับสาร S-9 mix ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร และเชื้อ *Salmonella typhimurium* TA98 ที่เพาะไว้ปริมาตร 50 ไมโครลิตร ลงใน Eppendorf tube ขนาด 1.5 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปบ่มที่ 37 องศาเซลเซียส 20 นาที แล้วนำมาผสมกับอาหารวุ้น Molten top agar ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วเทบนจานหลุม 6 หลุม จากนั้นนำมาเพาะไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง ในส่วนของสารสกัดแก้วมังกร นำสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรแต่ละความเข้มข้นปริมาตร 25 ไมโครลิตร มาผสมกับสาร 2-AA (3.0 ไมโครกรัม) แล้วเติมสาร S-9 mix ความเข้มข้นร้อยละ 4 ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร และเชื้อ *Salmonella typhimurium* TA98 ปริมาตร 50 ไมโครลิตร ลงใน Eppendorf tube ขนาด 1.5 มิลลิลิตร บ่มที่ 37 องศาเซลเซียส 20 นาที แล้วนำตัวอย่างที่ผ่านการบ่ม มาผสมกับอาหารวุ้น Molten top agar

ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วเทบนจานหลุม 6 หลุม จากนั้นบ่มไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนีที่สังเคราะห์ฮิสติดีน (his^+) โดยใช้ตัวควบคุมคือ DMSO แล้วแสดงผลเป็นค่าร้อยละของการยับยั้ง (%Inibition, PI หรือ %antimutagenicity) ซึ่งมีสูตรคำนวณดังสมการที่ 8

$$PI = \frac{A-B}{A-C} \times 100 \dots \dots \dots (8)$$

- เมื่อ A คือ จำนวนโคโลนีกลายพันธุ์ในหลอดทดลองที่มีแต่สารก่อการกลายพันธุ์มาตรฐาน
- B คือ จำนวนโคโลนีกลายพันธุ์ในหลอดทดลองที่มีสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรแดงกับสารก่อการกลายพันธุ์มาตรฐาน
- C คือ จำนวนโคโลนีกลายพันธุ์ที่เกิดตามธรรมชาติ (จำนวนโคโลนีควบคุม)

3.4.6 การศึกษาปริมาณโลหะหนักปนเปื้อนในผงสีจากสารสกัดเปลือกแก้วมังกรแดง

3.4.6.1 วิธีการเตรียมตัวอย่างโดยการย่อยตัวอย่าง ด้วยเครื่องย่อยตัวอย่างด้วย

ไมโครเวฟในภาชนะปิด (Closed vessel microwave digestion, Ethos EZ, Milestone Inc., US)

การย่อยตัวอย่างผงสีที่สกัดจากเปลือกแก้วมังกรแดงที่ผสมแป้ง AOS กับมอลโตเดกตรินซ์และสีผสมอาหารทางการค้า ได้แก่ สีแดง (Azorubine) และสีชมพู (Erythrosine) ดัดแปลงมาจากคู่มือการเตรียมตัวอย่างของบริษัท Milestone Helping Chemists (2010) มาซึ่งน้ำหนักประมาณ 0.2 กรัม ใส่ลงใน Vessel แล้วนำไปย่อยโดยการเติมสาร 65% HNO_3 ปริมาณ 10 มิลลิลิตร และสารละลายกรดไฮโดรคลอริกร้อยละ 37 ปริมาณ 2 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาทีก่อนนำไปในเครื่อง Microwave digestion (Ethos EZ, Milestone Inc., US) โดยใช้อุณหภูมิในการย่อย 200 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการย่อย 60 นาที ความดัน 25 บาร์ จากนั้นทิ้งไว้ในเครื่องข้ามคืนเพื่อลดอุณหภูมิตัวอย่างจนมีอุณหภูมิตั้งแต่อุณหภูมิห้อง แล้วนำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1#Whatman ก่อนนำมาปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร ใน Volumetric flask หลังจากนั้นนำไปเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสก่อนนำไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักปนเปื้อนด้วยเครื่อง Inductively Couple Plasma-Optical Emission Spectrometer (ICP-OES) ต่อไป

3.4.6.2 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักปนเปื้อนในตัวอย่าง ด้วยเครื่อง Inductively Couple Plasma-Optical Emission Spectrometer (ICP-OES, Optima 8000, PerkinElmer Inc., USA)

การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักปนเปื้อนในผงสีที่สกัดจากเปลือกแก้วมังกรแดงที่ผสมแป้ง AOS กับมอลโตเดกตรินซ์และสีผสมอาหารทางการค้า ได้แก่ สีแดง (Azorubine) และสีชมพู

(Erythrosine) ซึ่งโลหะหนักที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ ตะกั่ว (Lead, Pb) สังกะสี (Zinc, Zn) สารหนู (Arsenic, As) และปรอท (Mercury, Hg) เริ่มจากการทำกราฟมาตรฐานของสารโลหะหนักดังกล่าว โดยทำการเจือจางที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 0-50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ppm) สำหรับสารโลหะ ตะกั่ว สังกะสี และปรอท แล้วทำการเจือจางที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 0-25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ppm) สำหรับสารโลหะ As แล้วนำตัวอย่างผงสีที่สกัดจากเปลือกแก้วมังกรแดงที่ผสมแป้ง AOS กับ มอลโตเดคทรินซ์ และสีผสมอาหารทางการค้า ได้แก่ สีแดง (Azorubine) และสีชมพู (Erythrosine) ที่ผ่านการย่อยแล้วจากข้อ 3.4.6.1 มาเข้าเครื่อง ICP-OES และนำผลที่ได้มาคำนวณหาปริมาณโลหะหนักปนเปื้อนต่อไป

3.4.7 การวิเคราะห์คุณสมบัติการละลาย (Water Solubility Index: WSI) ดัดแปลงจาก วิธีการของ Ahmed, Akter, Lee, and Eun (2010)

นำตัวอย่าง (1.25 กรัม) และน้ำปราศจากไอออน (15 มิลลิลิตร) ผสมกันในหลอด Centrifuge tube ขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วนำไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า (Shaking water bath, Julabo SW22, Rose Scientific Ltd., Canada) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge, Legand Mach 1.6R, Sorvall, Germany) ที่ 2090 g อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที แล้วเทแยกส่วนใสลงในถ้วยสำหรับใส่ตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแล้ว ซึ่งน้ำหนักส่วนใสก่อนนำไปอบข้ามคืนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จากนั้นชั่งน้ำหนักของแข็งในส่วนใสที่ผ่านการอบแห้งแล้วคำนวณหาเปอร์เซ็นต์คุณสมบัติการละลายของแข็งแห้งทั้งหมดเทียบกับน้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น

3.4.8 การส่องตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning electron microscopy: SEM)

การสังเกตขนาดและรูปร่างลักษณะของตัวอย่างไมโครแคปซูล (Microcapsules) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning electron microscope, JSM-6010LV, JEOL USA, Inc., USA) โดยนำผงตัวอย่างเพียงเล็กน้อยมาวางบนผิวหน้าของเทปกาวคาร์บอนสองหน้าที่ติดอยู่บนสตัป (Stubs) จากนั้นนำไปเคลือบด้วยทองให้เป็นชั้นบาง ๆ ภายใต้สภาวะสุญญากาศด้วยเครื่อง ฉาบตัวอย่างด้วยไอออน (Ion sputtering device, JFC-1100E, JEOL, Tokyo, Japan) ประมาณ 8 นาที จากนั้นนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดที่กำลังขยาย 500x ที่ค่าความต่างศักย์เร่ง (Accelerating voltages) เท่ากับ 10 กิโลโวลต์

3.4.9 การวัดขนาดอนุภาคโดยใช้เลเซอร์

การกระจายตัวของขนาดอนุภาคตัวอย่างทำได้โดยใช้เครื่องวัดขนาดอนุภาคด้วยแสงเลเซอร์ (Laser diffraction particle size analysis, HORIBA LA 950 V2, HORIBA, Ltd., Japan) โดยการนำผงสีตัวอย่างผสมกับเอทานอลบริสุทธิ์ (เอทานอลร้อยละ 99.8) ให้อยู่ในรูปสารแขวนลอยจากนั้น

หยดตัวอย่างลงในคอลัมน์แก้วควอทซ์ที่บรรจุเอทานอลบริสุทธิ์จนค่าความความขุ่นของตัวอย่างที่ผสมเอทานอลที่ตรวจวัดด้วยเครื่อง (Obscuration) มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 10 ถึง 30 โดยระหว่างการหยดสารแขวนลอยลงในคอลัมน์จะมีการกวาดล้างด้วยแท่งแม่เหล็ก (Magnetic bar) ที่บรรจุอยู่ภายในตลอดเวลาเพื่อให้ตัวอย่างเกิดการกระจายตัวไม่ตกตะกอนจากนั้นวิเคราะห์การกระจายตัวของตัวอย่างด้วยโปรแกรม LA 950 for windows (E) โดยตั้งค่าดัชนีหักเห (Refractive index) ของผงสีแก้วมังกร มอลโตเดคทรินซ์แป้ง AOS และเอทานอลเป็น 1.366, 1.673, 1.500 และ 1.360 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานที่ใช้กับเครื่องวิเคราะห์ดังกล่าวนี้ และรายงานผลเป็นค่า D_{43} (Volume mean diameter) ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

3.4.10 การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์

3.4.10.1 การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์มาตรฐานด้วยวิธี Total plate count

ชั่งตัวอย่างผงสีที่สกัดจากเปลือกแก้วมังกรแดงรวมทั้งแป้ง AOS และมอลโตเดคทรินซ์ อย่างละ 25 กรัม ละลายในสารละลายเปปโตน (Peptone water) ปริมาตร 225 มิลลิลิตร เขย่าตัวอย่างให้เข้ากัน แล้วเจือจางตัวอย่าง 100 เท่า ด้วยสารละลายเปปโตน จากนั้นดูดตัวอย่าง 0.1 มิลลิลิตรลงบนอาหาร PCA แล้วทำการเกลี่ยตัวอย่างให้กระจายทั่วผิวน้ำอาหารด้วยแท่งแก้วสามเหลี่ยม (Sterile glass spreader) หลังจากนั้นนำตัวอย่างไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง อ่านผลโดยสังเกตลักษณะและนับจำนวนของจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตบนผิวน้ำอาหาร

3.4.10.2 การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อ *E.coli* และ *Coliform*

ชั่งตัวอย่างผงสีที่สกัดจากเปลือกแก้วมังกรแดงรวมทั้งแป้ง AOS และแป้ง MD อย่างละ 25 กรัม ละลายในสารละลายเปปโตน (Peptone water) ปริมาตร 225 มิลลิลิตร เขย่าตัวอย่างให้เข้ากัน แล้วเจือจางตัวอย่าง 100 เท่า ด้วยสารละลายเปปโตน จากนั้นดูดตัวอย่าง 1 มิลลิลิตรลงกลางแผ่นชุดทดสอบเชื้อจุลินทรีย์ 3MTM PetrifilmTM *E.coli/Coliform* count plates แล้วกดแผ่นทดสอบเชื้อจุลินทรีย์ให้ตัวอย่างกระจายตัว หลังจากนั้นนำตัวอย่างไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง อ่านผลโดยสังเกตจุดสีน้ำเงินที่มีฟองอากาศสำหรับเชื้อ *E.coli* และจุดสีแดงและสีน้ำเงินที่มีฟองอากาศสำหรับเชื้อ *Coliform*

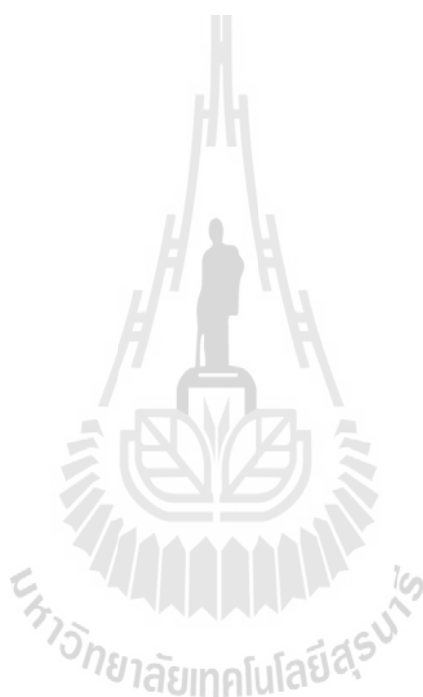
3.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

การหาสภาวะการสกัดที่เหมาะสมในข้อ 3.4.2 วางแผนการทดลองแบบ Box-Behnken design และการหาสูตรที่เหมาะสมในข้อ 3.4.3 วางแผนการทดลองแบบ 2³ Factorial design วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ Response Surface Methodology โดยใช้โปรแกรม Design-Expert Version 8.0.5 trial และ Version 6.0.10 ตามลำดับ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารสีแอนโทไซ-

ยานินและบีตาไซยานินจากเปลือกแก้วมังกรและสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตสีผสมอาหารจากเปลือกแก้วมังกร

3.6 สถานที่ทำการทดลองและเก็บข้อมูล

ห้องปฏิบัติการแปรรูปอาหาร ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมอาหาร ห้องปฏิบัติการเคมีอาหาร ห้องพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร ณ อาคารเครื่องมือ 3 และฝ่ายวิเคราะห์ด้วยเครื่องมืออาคารเครื่องมือ 1 และอาคารเครื่องมือ 10 ศูนย์เครื่องวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารแอนโทไซยานินและสารบีตาไซยานินในเปลือกแก้วมังกรทั้งชนิดพันธุ์เนื้อผลสีขาวและพันธุ์เนื้อผลสีแดง

แก้วมังกรทั้งพันธุ์เนื้อผลสีขาวและพันธุ์เนื้อผลสีแดงที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในงานวิจัยนี้ปลูกในสวนเขตอำเภอวังน้ำเขียว จังหวัดนครราชสีมา เมื่อนำมาทำการเตรียมตัวอย่างจากเปลือกแก้วมังกรทั้งสองสายพันธุ์นี้ เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของเปลือกแก้วมังกรสดและเปลือกแก้วมังกรที่ผ่านการอบแห้ง โดยเปลือกแก้วมังกรผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray dryer) ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมงแสดงในตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ค่าสี และปริมาณความชื้นของเปลือกแก้วมังกรในระหว่างการเตรียมตัวอย่าง

	แก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดง	แก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีขาว
ความชื้นเปลือกสด (%dry basis)	1,196.17 ± 121.03	1,091.56 ± 45.62
L* (ผิวเปลือกแก้วมังกรสด)	54.93 ± 1.87	70.37 ± 2.72
a* (ผิวเปลือกแก้วมังกรสด)	53.54 ± 1.19	46.44 ± 1.58
b* (ผิวเปลือกแก้วมังกรสด)	-7.47 ± 4.23	-29.52 ± 1.49
ค่า Chroma (ผิวเปลือกแก้วมังกรสด)	54.18 ± 1.21	55.06 ± 0.76
ค่า Hue angle (ผิวเปลือกแก้วมังกรสด)	7.92 ± 4.44	32.45 ± 2.11
ความชื้นหลังอบแห้ง (%dry basis)	3.73 ± 0.42	4.75 ± 0.46
ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)	0.358 ± 0.004	0.462 ± 0.003
L* (ผงเปลือกแก้วมังกร)	62.39 ± 0.31	62.62 ± 0.66
a* (ผงเปลือกแก้วมังกร)	46.87 ± 1.02	44.58 ± 0.54
b* (ผงเปลือกแก้วมังกร)	-24.89 ± 0.74	-26.51 ± 0.62
ค่า Chroma (ผงเปลือกแก้วมังกร)	53.07 ± 1.23	51.86 ± 0.74
ค่า Hue angle (ผงเปลือกแก้วมังกร)	27.97 ± 0.30	30.74 ± 0.40

ตารางที่ 4.2 ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบต่าง ๆ ของสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรสดทั้งพันธุ์เนื้อสีขาวและเนื้อสีแดงที่สกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 80 ของเปลือกสด

Analyzed item	Red dragon fruits	White dragon fruits	References	
			Red dragon fruits	White dragon fruits
Total anthocyanins (TA) ($\mu\text{g/g}$)	0	0	-	-
Coloured (ionized) anthocyanins (CA) ($\mu\text{g/g}$)	5.24 ± 0.17	10.48 ± 0.34	-	-
Total polyphenols of fresh peels (mg/100 g dry basis)	173.52 ± 27.11	188.61 ± 14.80	86.129 ± 17.016^a , 39.7 ± 5.39^b , 36.12^c	28.16^c
Betacyanins of fresh peels (mg/g of dry basis)	118.36 ± 26.15	84.10 ± 9.22	-	65 ± 2^d
L*	46.46 ± 0.06	46.75 ± 1.00	-	-
a*	74.89 ± 0.13	79.99 ± 0.16	-	-
b*	27.30 ± 0.15	-6.50 ± 2.25	-	-
Chroma	79.71 ± 0.17	80.28 ± 0.32	-	-
Hue angle	20.03 ± 0.07	4.64 ± 0.59	-	-

แหล่งที่มา: ^aRebecca et al. (2010), ^bWu et al. (2006), ^cNurliyana, Zahir, Suleiman, Aisyah, and Rahim (2010) และ ^dChaovanalikit, Techacheewapong, Tungcharernkit (2010)

จากการศึกษาปริมาณสารบีตาไซยานินและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total polyphenols) ในเปลือกแก้วมังกรสดพันธุ์เนื้อผลสีแดง (*Hylocereus polyrhizus*) และเปลือกแก้วมังกรพันธุ์ผลเนื้อสีขาว (*Hylocereus undatus*) พบว่าเปลือกแก้วมังกรสดพันธุ์เนื้อสีแดง (*Hylocereus polyrhizus*) มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดน้อยกว่าเปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีขาว (*Hylocereus undatus*) (ตารางที่ 4.2) โดยมีผลสอดคล้องกับการศึกษาของ Chinmueang, Kikobchai, Suwannatee, and Suntrnwat (2008) และ Nurliyana et al. (2010) นอกจากนี้จากการทดลอง (ตารางที่ 4.2) พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในเปลือกแก้วมังกรสดทั้งสองสายพันธุ์นี้มีค่ามากกว่าผลการศึกษาของ Rebecca et al. (2010), Wu et al. (2006) และ Nurliyana et al. (2010) ทั้งนี้เนื่องจากแก้วมังกรสายพันธุ์ *Hylocereus* spp. มีหลากหลายสายพันธุ์และปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีต่าง ๆ นั้นขึ้นอยู่กับสถานที่และวิธีการเพาะปลูกทำให้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารบีตาไซยานินและสารอื่น ๆ ไม่เท่ากัน (Bellec et al., 2006; Esquivel et al., 2007 และ Wybraniec and Mirahi, 2002) โดยจากการศึกษานี้พบว่าปริมาณบีตาไซยานินในเปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อผลสีแดงมีค่ามากกว่าเปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อผลสีขาว และสอดคล้องกับปริมาณบีตาเลนจากเปลือกแก้วมังกรทั้งสองสายพันธุ์ที่สกัดได้ในการศึกษาของ Chinmueang et al. (2008)

นอกจากนี้ค่าความสว่าง (L^*), ค่า a^* และค่า Chroma ของเปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดงมีค่าใกล้เคียงกับเปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีขาว ส่วนค่า b^* และค่า Hue angle ของเปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดงมีค่าแตกต่างกับเปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีขาว เนื่องจากแก้วมังกรสายพันธุ์ *Hylocereus* spp. มีหลายสายพันธุ์และปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับสถานที่และวิธีการเพาะปลูกทำให้มีปริมาณไม่เท่ากัน (Bellec et al., 2006; Esquivel et al., 2007; Wybraniec and Mirahi, 2002) นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ไม่พบปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (TA) ทั้งเปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดงและเปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีขาวแสดงว่าสารรงควัตถุสีม่วงแดงในแก้วมังกรเกิดจากสารบีตาไซยานินไม่ใช่สารแอนโทไซยานิน และเนื่องจากแอนโทไซยานินและบีตาไซยานินจะไม่เกิดขึ้นด้วยกันในธรรมชาติ (นิธิยา รัตนานนท์, 2549; Herbach et al., 2004; Moreno, García-Viguera, Gil, and Gil-Izquierdo, 2008; Rebecca et al., 2010 และ Wu et al., 2006) จึงทำให้ทราบว่ารงควัตถุสีม่วงแดงในเปลือกแก้วมังกรมาจากสารบีตาไซยานินเท่านั้น แต่จากการทดลองนี้กลับพบว่าสามารถวิเคราะห์ค่าปริมาณ Coloured (ionized) Anthocyanins (CA) ได้แม้ว่าสารสีแดงในสารสกัดเปลือกแก้วมังกรทั้งแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดงและแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีขาวคือสารบีตาไซยานินไม่ใช่สารแอนโทไซยานิน ซึ่งอาจเป็นผลมาจากสารบีตาไซยานินและสารแอนโทไซยานินเป็นสารโทนสีแดงเหมือนกันทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ซึ่งค่า CA นิยมใช้ในการประมาณค่าของสารแอนโทไซยานิน (Jackson, 2008; 2009) และเป็นค่าที่ใช้ในการทำนายอายุของไวน์แดงเนื่องจากสัดส่วนปริมาณของ

แอนโทไซยานินขึ้นอยู่กับอายุของไวน์ โดยเมื่อไวน์แดงมีอายุมากขึ้นจะสูญเสียสารสีแดงอย่างแอนโทไซยานินไปทำให้ไวน์มีสีคล้ำขึ้นส่งผลให้มีค่าปริมาณ CA เพิ่มขึ้น

4.2 การศึกษาสภาวะการสกัดสารแอนโทไซยานินและสารบีตาไซยานินที่เหมาะสมจากผลของความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัด

เมื่อนำเปลือกแก้วมังกรสดทั้งพันธุ์เนื้อผลสีขาวและเนื้อผลสีแดงมาอบแห้งด้วยตู้อบแห้งแบบใช้ลมร้อน (Tray dryer) ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นสุดท้ายของเปลือกแก้วมังกรทั้งพันธุ์เนื้อผลสีแดงและเนื้อผลสีขาวเท่ากับ 3.73 ± 0.42 และ 4.75 ± 0.46 (%dry basis) ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1) และมีค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของเปลือกแก้วมังกรทั้งพันธุ์เนื้อผลสีแดงและเนื้อผลสีขาวเท่ากับ 0.358 ± 0.004 และ 0.462 ± 0.003 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1) เพื่อเพิ่มความคงตัวให้แก่สารสีบีตาไซยานิน เนื่องจากสารสีบีตาเลนจะเกิดการเสื่อมสภาพได้ดีที่สุดในสภาวะที่มีค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) มีค่าเท่ากับ 0.64 (Herbach et al., 2006a) นอกจากนี้เปลือกแก้วมังกรที่มีค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ต่ำยังสามารถลดอัตราการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่ใช่เอนไซม์เป็นตัวเร่ง (Non-enzymatic browning reaction) ได้อีกด้วย (วิลโล รังสาตทอง, 2546) จากนั้นนำเปลือกแก้วมังกรมาบดก่อนนำไปเก็บรักษาในถุงอลูมิเนียมฟลอยด์ที่ปิดผนึกแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อลดปัจจัยเสี่ยงที่มีผลต่อการเสื่อมสภาพของสารสีบีตาไซยานิน อาทิเช่น อุณหภูมิแสง ออกซิเจน เป็นต้น (Herbach et al., 2006a)

การเตรียมตัวทำละลาย (Solvent) ได้แก่ น้ำปราศจากไอออน (DI water) และเอทานอล (EtOH) ร้อยละ 80 ด้วยการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ด้วยกรดซิตริก (Citric acid) ความเข้มข้น 1 โมลาร์ เพื่อเพิ่มความคงตัวให้แก่สารสีบีตาไซยานินระหว่างสภาวะการให้ความร้อนเนื่องจากกรดซิตริกจัดเป็น Chelating agent (Herbach et al., 2006a; 2006b; 2006c) เนื่องจากสารบีตาเลนเกิดปฏิกิริยาสะเทิน (Neutralization) ชนิดปฏิกิริยา Electrophilic (Pasch and Elbe Von, 1979) นอกจากนี้ยังพบว่า การปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างด้วย Chelating agent ก่อนให้ความร้อนสามารถป้องกันการเสื่อมสลายและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารสีบีตาไซยานินได้ดีกว่าหลังจากให้ความร้อนแล้ว

สารสีบีตาไซยานินจะคงตัวดีที่สุดในช่วง pH 4-6 นอกจากนี้ Herbach et al. (2006a) รายงานว่า ในสภาวะที่มีค่าความเป็นกรดต่ำมากๆ ส่งผลให้คาร์บอนตำแหน่งที่ 15 (C-15) ของบีตานิน (Betanin) และบีตานิดิน (Betanidin) เกิดปฏิกิริยา Isomerization กลายเป็นไอโซบีตานิน (Isobetanim) และไอโซบีตานิดิน (Isobetanimidin) ได้ ตามลำดับ และสารสียังคงมีสีม่วงแดงอยู่ แต่บางครั้งในสภาวะกรดก็ส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปของสารสีบีตาไซยานิน โดยเกิดเป็น 14,15-dehydrobetanim (หรือเรียกอีกอย่างว่า Neobetanim) หรือเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายด้วยกรด (Hydrolysis) กลายเป็น

กรดปีตาลามิก (Betalamic acid) ซึ่งเป็นสารสีเหลือง หลังจากนั้นนำเปลือกแก้วมังกรที่ผ่านการสกัดที่สภาวะต่างๆ มาวิเคราะห์ค่าทางกายภาพและเคมี ซึ่งจากการศึกษาได้ผลดังนี้

4.2.1 การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน (Anthocyanins)

จากการวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินซึ่งได้แบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ปริมาณความเข้มข้นของ Total Anthocyanins (TA) และ Coloured (ionized) Anthocyanins (CA) โดยคำนวณจากสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ (Bae and Suh, 2007) พบว่าทั้งสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อผลสีแดงและพันธุ์เนื้อผลสีขาวในทุกสภาวะการสกัดไม่มีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (TA) (ตารางที่ 4.2) แสดงว่าสารรงควัตถุที่ให้สีม่วงแดงในเปลือกแก้วมังกรเกิดจากสารปีตาไซยานินไม่ใช่สารแอนโทไซยานิน และเนื่องจากแอนโทไซยานินและปีตาไซยานินจะไม่เกิดขึ้นด้วยกันในธรรมชาติ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549; Herbach et al., 2004; Moreno et al., 2008; Rebecca et al., 2010; Wu et al., 2006) และให้ผลเช่นเดียวกันกับการทดลองของ Wu et al. (2006) ที่ศึกษากิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) และสารต้านการแบ่งเซลล์ (Antiproliferative) ในแก้วมังกรพันธุ์เนื้อผลสีแดง รายงานว่าสารสีที่พบทั้งในเปลือกและเนื้อแก้วมังกรพันธุ์เนื้อผลสีแดงเป็นสารปีตาไซยานิน ไม่ใช่สารแอนโทไซยานินเนื่องจากไม่พบปริมาณของสารแอนโทไซยานินทั้งในเปลือกและเนื้อแก้วมังกรพันธุ์เนื้อผลสีแดงเลย แต่จากการทดลองนี้ก็กลับพบว่าสามารถวิเคราะห์ค่าปริมาณ Coloured (ionized) Anthocyanins (CA) ได้บางสภาวะของการสกัดแม้ว่าสารสีแดงในสารสกัดเปลือกแก้วมังกรทั้งแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดงและแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีขาวคือสารปีตาไซยานิน ไม่ใช่สารแอนโทไซยานิน ซึ่งอาจเป็นผลมาจากสารปีตาไซยานินและสารแอนโทไซยานินเป็นสารโทนสีแดงเหมือนกันทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ซึ่งค่า CA นิยมใช้ในการประมาณค่าของสารแอนโทไซยานิน (Jackson, 2008; 2009) และเป็นค่าที่ใช้ในการทำนายอายุของไวน์แดงเนื่องจากสัดส่วนปริมาณของแอนโทไซยานินขึ้นอยู่กับอายุของไวน์ โดยเมื่อไวน์แดงมีอายุมากขึ้นจะสูญเสียสารสีแดงอย่างแอนโทไซยานินไปทำให้ไวน์มีสีคล้ำขึ้นส่งผลให้มีค่าปริมาณ CA เพิ่มขึ้น

4.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณปีตาไซยานิน (Betacyanins)

จากการวิเคราะห์ปริมาณปีตาไซยานินตามวิธีการวิเคราะห์ของ Wybraniec and Mizrahi (2002) แล้วนำมาคำนวณดังสมการที่ 3 (Wu et al., 2006) พบว่าปริมาณปีตาไซยานินที่สกัดได้จากเปลือกแก้วมังกรทั้งพันธุ์เนื้อผลสีแดงมีมากกว่าพันธุ์เนื้อผลสีขาว และปริมาณปีตาไซยานินในเปลือกแก้วมังกรทั้งพันธุ์เนื้อผลสีแดงและสีขาวที่สกัดด้วยน้ำปราศจากไอออนมีปริมาณมากกว่าเปลือกแก้วมังกรที่สกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 80 (ตารางที่ ก.1) แสดงว่าสารปีตาไซยานินละลายในน้ำได้ดีกว่าละลายในเอทานอลร้อยละ 80 เนื่องจากน้ำเป็นตัวทำละลายที่มีขั้วมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวทำละลายอื่น ๆ และมีขั้วมากกว่าเอทานอลร้อยละ 80 (Harjo, Wibowo, and NG,

2004) สารบีตาไซยานินเป็นสารที่มีขั้วซึ่งละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีขั้วมากกว่า และสอดคล้องกับการทดลองของ Casteller et al. (2003; 2006) ที่ทำการศึกษาคณสมบัติของสีและความคงตัวของสารบีตาไซยานินในผลไม้ตระกูล *Opuntia* รายงานว่าปริมาณรงควัตถุสารบีตาไซยานินจาก *Opuntia* ทั้งสามสายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ *Opuntia stricta*, *Opuntia undulata* และ *O. ficus-indica* ที่ได้จากการสกัดด้วยน้ำมีปริมาณสารบีตาไซยานินมากที่สุด รองลงมาคือการสกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 80 และสารละลายซีเตรตฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ตามลำดับ และการศึกษาของ Paseephol, Ruksakhen and Namhong (2012) ในการสกัดสารบีตาเลนจากผลผักปลัง (*Basella alba* Linn.) พบว่าปริมาณบีตาเลนสูงที่สุดได้จากการสกัดด้วยน้ำกลั่น รองลงมาคือ กรดไฮโดรคลอริก เมทานอลและเอทานอลตามลำดับ อย่างไรก็ตามแม้ว่าสารบีตาไซยานินจัดเป็นสารที่ละลายน้ำแต่ก็มีการศึกษาการสกัดสารบีตาไซยานินด้วยเอทานอลและเมทานอล อย่างเช่นการศึกษาของ Chaovanalikit et al. (2010) ซึ่งศึกษาความคงตัวของสารบีตาไซยานินจากเปลือกแก้วมังกร พบว่า เอทานอลเป็นตัวทำละลายที่ดีที่สุดในการสกัดสารบีตาไซยานิน รองลงมาคือ อะซิโตน และน้ำ ตามลำดับ และการศึกษาการสกัดสารบีตาเลนในผล *Garambullo* ของ García Barrera, Reynoso, and González de Mejía (1998) รายงานว่าการสกัดสารบีตาเลนด้วยสารละลายเอทานอลผสมกรดไฮโดรคลอริกอัตราส่วน (99:1 v/v) มีปริมาณสารบีตาเลนสูงกว่าการสกัดด้วยน้ำ นอกจากนี้ปริมาณบีตาไซยานินยังสัมพันธ์กับค่าสี โดยเมื่อสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรที่สกัดด้วยน้ำปราศจากไอออน มีสารบีตาไซยานินมากกว่าสารสกัดที่สกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 80 ทำให้ค่าความสว่าง (*L), ค่า Hue angle และค่า Total color difference ต่ำกว่าแต่มีค่า Chroma มากกว่า

ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ต่อการคงตัวของสารสีบีตาไซยานิน พบว่า สารสีบีตาไซยานินจะคงตัวดีที่สุดในช่วง pH 4-6 (กรรณิการ์ สอนโยธา และปราณี อานเป็รื่อง, 2552; Von Elbe et al., 1974; Huang and Von Elbe, 1987) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Herbach et al. (2006a) ที่พบว่าในสภาวะที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าต่ำมากจะส่งผลให้คาร์บอนตำแหน่งที่ 15 (C-15) ของบีตานิน (Betanin) และบีตานิดิน (Betanidin) เกิดปฏิกิริยา Isomerization กลายเป็นไอโซบีตานิน (Isobetanim) และไอโซบีตานิดิน (Isobetanimidin) ตามลำดับ แต่สารสียังคงมีสีม่วงแดงอยู่ อย่างไรก็ตามในสภาวะกรดอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปของสารบีตาไซยานินเป็น 14,15-dehydrobetanim (หรือเรียกอีกอย่างว่า Neobetanim) หรืออาจเกิดปฏิกิริยา Hydrolysis กลายเป็นกรดบีตาลามิก (Betalamic acid) ซึ่งมีลักษณะเป็นสารสีเหลืองได้ (Herbach et al., 2006a)

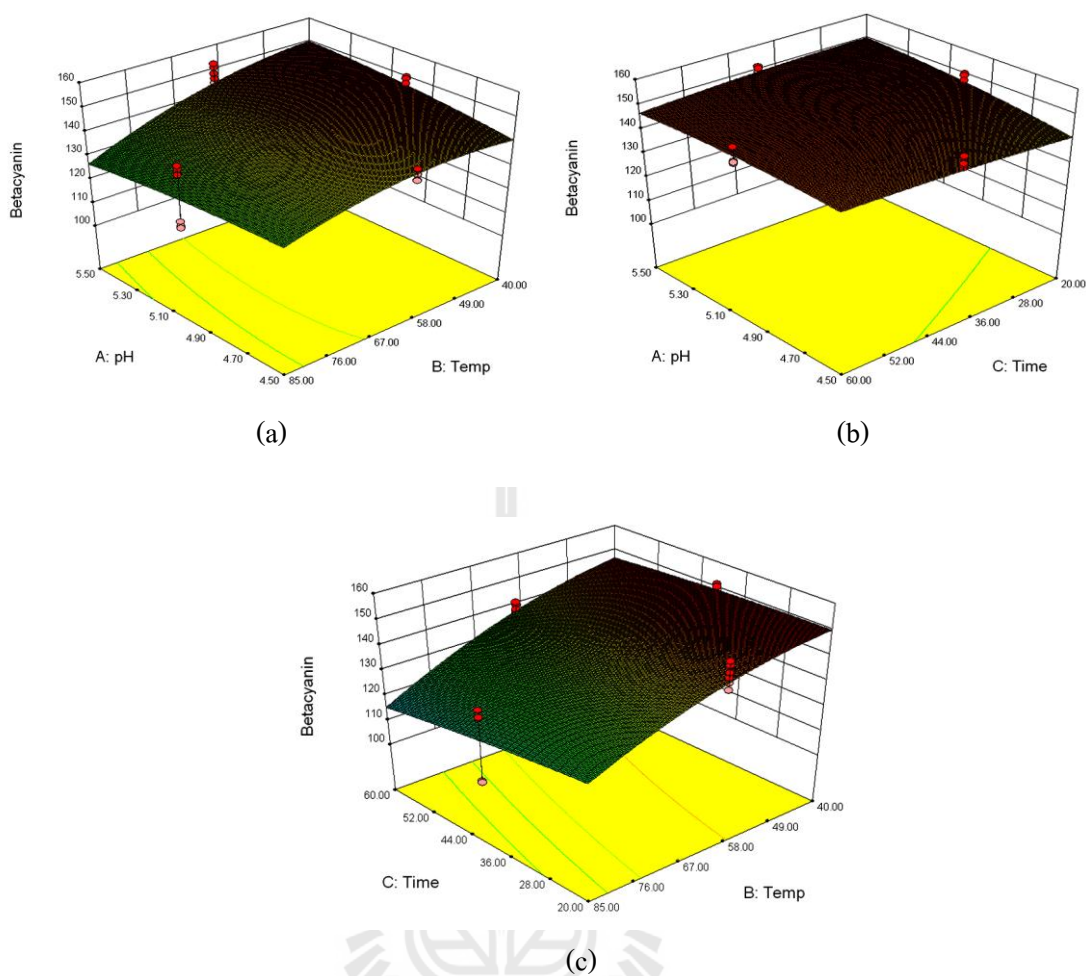
อุณหภูมิในการสกัดสารสีบีตาไซยานินถือว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่มีผลต่อความคงตัวของสารสีบีตาไซยานินเนื่องจากสารบีตาไซยานินเป็นรงควัตถุที่ไม่ทนร้อนและเสื่อมสลายง่ายจากความร้อน อีกทั้งยังส่งผลต่อค่าความคงตัวของสีอีกด้วย โดยในระหว่างการให้ความร้อนที่อุณหภูมิในการสกัดสูงมากกว่า 80 องศาเซลเซียส จะเกิดปฏิกิริยา Isomerization, Decarboxylation,

Hydrolysis และ/หรือ Dehydration ของสาร Phyllocactin และ Hylocerenin ซึ่งเป็นอนุพันธ์ส่วนหนึ่งของบีตาไซยานิน (Wybraniec and Mizrahi, 2005; Von Elbe, et al., 1974) โดยจากการทดลองพบว่าเมื่ออุณหภูมิในการสกัดเพิ่มขึ้น สารบีตาไซยานินจะลดลง ส่งผลทำให้ค่าความสว่าง (*L) และค่า Hue angle เพิ่มขึ้น แต่ค่า Chroma นั้นขึ้นอยู่กับรูปแบบโครงสร้างของอนุพันธ์สารบีตาไซยานิน โดยโครงสร้างของสารบีตาไซยานินจะเกิดการเปลี่ยนแปลงหลังจากถูกความร้อนในขั้นแรกของกระบวนการเสื่อมสลายของสารบีตาไซยานิน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Herbach et al. (2006a; 2006b) พบว่าสารบีตาไซยานินจะเกิดการสลายโครงสร้างเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูง 85 องศาเซลเซียส กลายเป็นกรดบีตาลามิก (Betalamic acid) ที่เป็นสารสีเหลืองกับสาร cyclo-dopa 5-O-β-glucoside ที่เป็นสารไม่มีสีหรือ 12, 15-decarboxybetanin ที่มีโทนสีแดง (Harivaindaran, Rebecca and Chandran, 2008) นอกจากนี้ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของสารบีตาไซยานินได้แก่ ปริมาณสารสีเริ่มต้น อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง แสง ออกซิเจน ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) เป็นต้น

และเมื่อนำมาหาความสัมพันธ์กับสภาวะการสกัดซึ่งได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) (X_1) อุณหภูมิในการสกัด (X_2) และระยะเวลาในการสกัด (X_3) โดย Stepwise regression analysis พบว่าปริมาณสารบีตาไซยานินมีความสัมพันธ์กับสภาวะการสกัดดังสมการที่ 9 ($R^2 = 0.6856$):

$$\begin{aligned} \text{Betacyanin content (mg/g dry basis)} = & - 6.09015 + 26.44521X_1 + 2.52394X_2 + 1.21725X_3 \\ & - 0.33408X_1X_2 - 0.20307X_1X_3 - 4.52680 \times 10^{-3}X_2X_3 \\ & - 8.86370 \times 10^{-3}X_2^2 \dots\dots\dots(9) \end{aligned}$$

เมื่อนำสมการที่ 9 มาหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimum) โดยวิธีการหาอนุพันธ์ (Differentiate) พบว่าสมการที่ 9 ให้สภาวะที่เหมาะสมแก่การสกัดสารจากเปลือกแก้วมังกรแดงที่สกัดด้วยน้ำปราศจากไอออน (DI water) คือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 5.5 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และใช้ระยะเวลาในการสกัด 20 นาที เมื่อนำสภาวะดังกล่าวไปสร้างภาพ Contour plot และ Response surface plot พบว่าให้ค่าปริมาณบีตาไซยานินมากที่สุด เท่ากับ 150.41 mg/g of dry peels (ภาพที่ 4.1 และภาพที่ 4.2) แสดงว่า เมื่อสกัดสารบีตาไซยานินจากเปลือกแก้วมังกรแดงด้วยน้ำปราศจากไอออนโดยใช้สภาวะที่เหมาะสม คือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 5.5 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และใช้ระยะเวลาในการสกัด 20 นาที จะได้ปริมาณสารบีตาไซยานินมากที่สุด (ภาพที่ 4.1 และภาพที่ 4.2) และปัจจัยที่มีผลต่อการหาสภาวะการสกัดมากที่สุดของการทดลองนี้คือ อุณหภูมิในการสกัด ซึ่งจากภาพที่ 4.1 และภาพที่ 4.2 พบว่าเมื่อมีการเปลี่ยนอุณหภูมิส่งผลทำให้ปริมาณสารบีตาไซยานินมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าปัจจัยอื่น ๆ (ค่าความเป็นกรด-ด่าง และระยะเวลาในการสกัด)

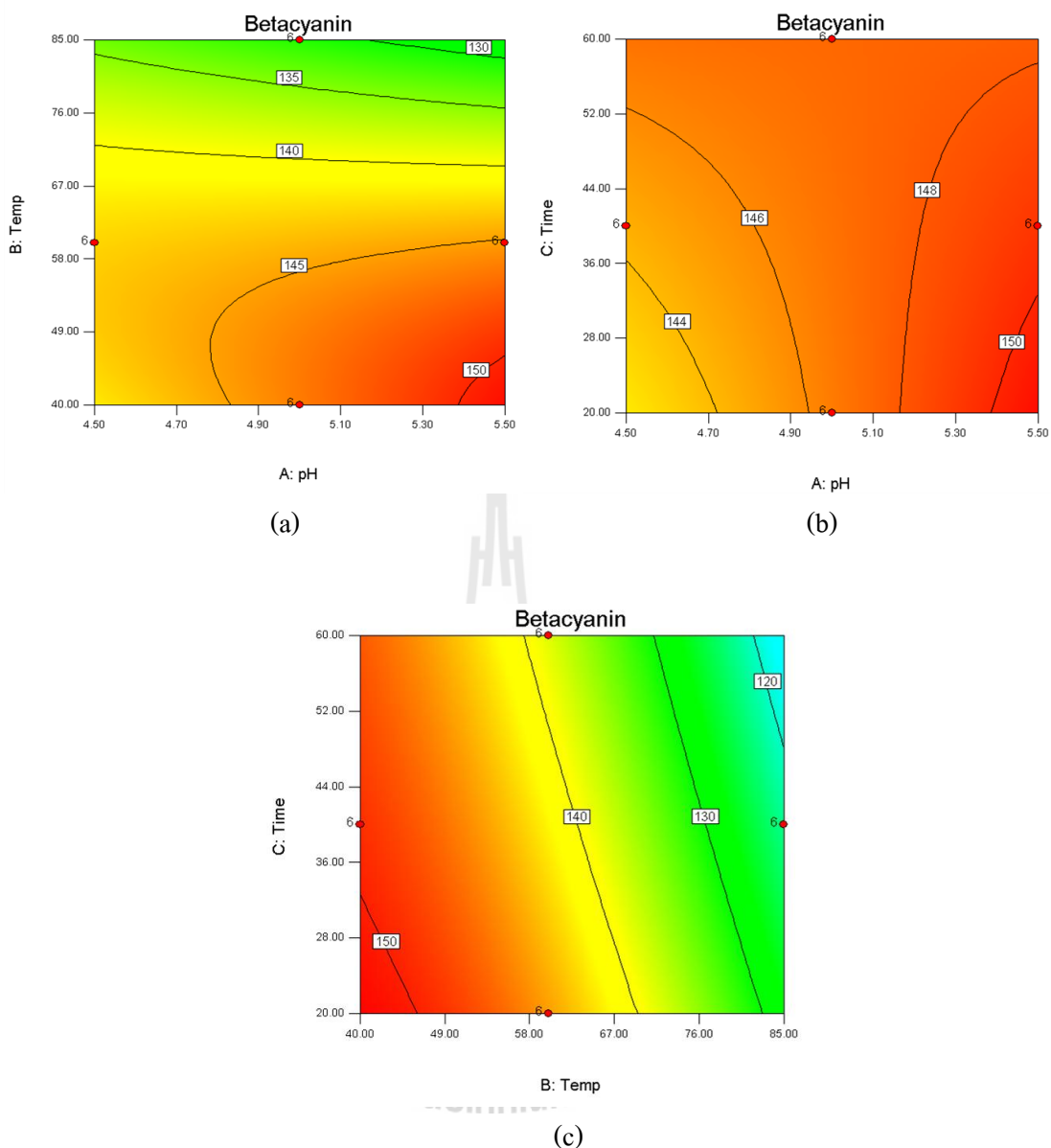


ภาพที่ 4.1 Response surface plot ของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารบีตาไซยานินในการศึกษา สภาวะที่สกัดที่เหมาะสม

(a) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) กับอุณหภูมิในระยะเวลา 20 นาที

(b) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) กับระยะเวลาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และ

(c) อุณหภูมิกับระยะเวลาที่ pH เท่ากับ 5.5 ในการศึกษาสภาวะที่สกัดที่เหมาะสม



ภาพที่ 4.2 Contour plot ของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารปีตาไซยานินในการศึกษาสภาวะที่สกัดที่เหมาะสม

- (a) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) กับอุณหภูมิในระยะเวลา 20 นาที
- (b) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) กับระยะเวลาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และ
- (c) อุณหภูมิกับระยะเวลาที่ pH เท่ากับ 5.5 ในการศึกษาสภาวะที่สกัดที่เหมาะสม

4.2.3 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด (Total polyphenols)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดที่ดัดแปลงจากวิธีการวิเคราะห์ของ Bae and Suh (2007) โดยการคำนวณตามวิธีการ Folin-Ciocalteu พบว่าสภาวะการสกัดสารปีตาไซยานิน

ที่เหมาะสมนั้นไม่ใช่สภาวะที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดสูงที่สุด โดยปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารบีตาไซยานินแบบแปรผกผัน เนื่องจากวิธีการ Folin-Ciocalteu นี้เป็นการหาปริมาณของฟีนอลิกทั่วไปที่อยู่ในอาหารจำพวกพืชโดยนิยามใช้สารมาตรฐานคือ Gallic acid ที่ไม่สามารถเฉพาะเจาะจงชนิดของสารประกอบฟีนอลิกได้อย่างชัดเจน (Naczka and Shahidi, 2004; Prior et al., 2007; Rebecca et al., 2010; Wu et al., 2006) สารประกอบฟีนอลที่พบในเปลือกแก้วมังกร นอกจากสารบีตาไซยานินแล้วยังประกอบไปด้วยสารบีตาแซนทิน กรดแอสคอร์บิก และสารอื่น ๆ ที่เกิดจากการเสียดสีของสารบีตาไซยานิน อาทิเช่น กรดบีตาลามิก cyclo-Dopa 5-O-Glycoside, นิโอบีทานิน (Neobetanin), บีทานิดิน (Betanidin) เป็นต้น (Stintzing and Carle, 2004; Herbach et al., 2006a; Bellec et al., 2006) จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสภาวะการสกัดที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดสูงอาจไม่ใช่สภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดสารบีตาไซยานิน นอกจากนี้ยังพบว่า การสกัดเปลือกแก้วมังกรแดงด้วยเอทานอลร้อยละ 80 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดสูงกว่าการสกัดด้วยน้ำ (ตารางที่ ก.2) เนื่องจากสารประกอบฟีนอลส่วนใหญ่ละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีขั้วประเภทกลุ่มแอลกอฮอล์ (Alcohols) อาทิเช่น เมทานอล เอทานอล (Stalikas, 2007)

4.2.4 การวิเคราะห์ค่าสี

เมื่อนำสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดงที่สภาวะการสกัดต่างๆ ด้วยเครื่องวัดสี (Hunter Lab) ระบบ CIE L*a*b* ตามวิธีของ Esquivel et al. (2007) มาวิเคราะห์ค่าสีพบว่า ปริมาณสารบีตาไซยานินมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับค่า a* (ค่าที่แสดงความเป็นสีแดงหรือสีเขียว) แต่มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับค่าความสว่าง (L*) ค่า b* (ค่าที่แสดงความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน) ค่า Hue angle ค่า Chroma และค่า Total color difference (ΔE) (ค่าความแตกต่างของค่าสีเมื่อเปรียบเทียบกับเปลือกแก้วมังกรสดพันธุ์เนื้อสีแดง) (ตารางที่ ก.3-ก.8) โดยเมื่อสภาวะสกัดมีอุณหภูมิสูงหรือใช้ระยะเวลาในการสกัดนาน ส่งผลให้สารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรแดงมีปริมาณสารบีตาไซยานินน้อย ทำให้ค่าความสว่าง ค่า Hue angle และค่า ΔE และค่า b* เพิ่มขึ้นหรือแสดงความเป็นสีเหลืองมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบค่าความสว่าง ค่า b* ค่า Hue angle ค่า Chroma และค่า ΔE ของสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดงที่สกัดด้วยน้ำปราศจากไอออนมีค่าต่ำกว่าสารที่สกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 80 แต่มีค่า a* สูงกว่าแสดงว่ามีความเป็นสีแดงมาก ส่วนสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรที่สกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 80 มีสีส้มเหลือง เนื่องจากสารที่สกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 80 มีปริมาณสารบีตาไซยานินน้อยกว่าการสกัดด้วยน้ำปราศจากไอออน ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Herbach et al. (2006b) ที่ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อความคงตัวและการเปลี่ยนแปลงค่าสีของสารบีทานิน (Betanin), สารไฟโลแคคทิน (Phyllocactin) และสารไฮโลเซเรนิน (Hylocererin) จากเนื้อแก้วมังกรแดง (*Hylocereus polyrhizus*) โดยพบว่าเมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนแก่

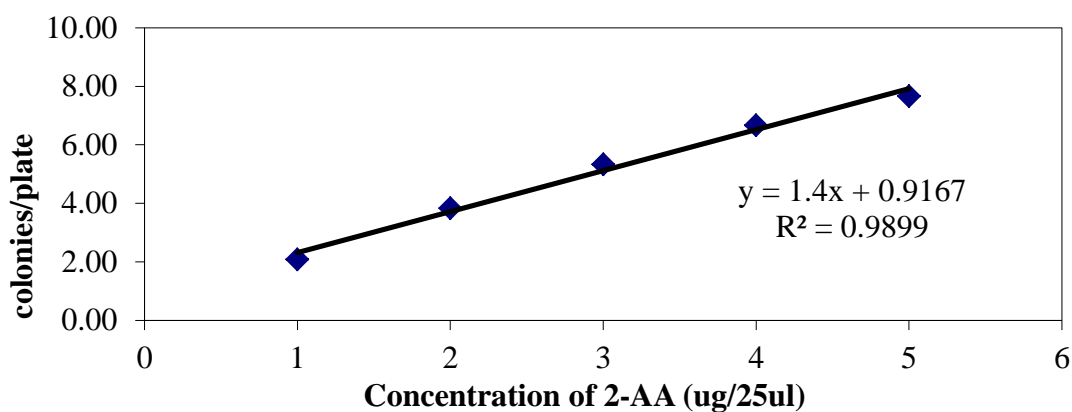
สารบีตานิน, สารไฟโลแคคทิน และสารไฮโลเซเลนินที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความสว่าง (L^*), ค่า Hue angle และค่า ΔE เพิ่มขึ้น แต่ค่า Chroma ลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของบีตาไซยานินเป็นสารสีเหลืองของกรดบีตาลามิก (Betalamic acid) กับสารไม่มีสีของ cyclo-dopa 5-O- β -glucoside หรือ 12, 15-decarboxybetanin ที่มีโทนสีแดง ตามกล่าวข้างต้น (Herbach et al., 2006a) จึงทำให้ผลการคำนวณหาปริมาณบีตาไซยานินในรูปของบีตานินมีค่าน้อย ส่วนค่า Hue angle พบว่าสารสกัดที่สกัดด้วยน้ำปราศจากไอออนจะมีค่าต่ำกว่าสารที่สกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 80 ผลที่ได้นี้ตรงกันข้ามกับค่า Chroma ส่วนค่า ΔE พบว่า สารสกัดที่สกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 80 มีค่าสูงกว่าสารสกัดที่ใช้ น้ำปราศจากไอออนสกัด ซึ่งหมายความว่า สารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรแดงที่ผ่านการสกัดที่สภาวะต่าง ๆ ด้วยเอทานอลร้อยละ 80 จะเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าสีมากกว่าสารสกัดที่ใช้ น้ำปราศจากไอออนสกัด แสดงว่าสารบีตาไซยานินในสารสกัดด้วยน้ำเกิดการเสื่อมสภาพหรือเปลี่ยนรูปอนุพันธ์เป็นสารอื่นน้อยกว่าหรืออาจเกิดการเปลี่ยนรูปอนุพันธ์เป็นสารอื่นที่มีโทนสีแดงได้ดีกว่าสารสกัดที่ได้จากการใช้เอทานอลร้อยละ 80 (Herbach et al., 2006b)

4.3 การศึกษาคุณสมบัติการศึกษาคุณสมบัติทางชีวภาพของสารสกัดแก้วมังกรแดงต่อความเป็นสารต้านการก่อการกลายพันธุ์ (Antimutagenicity assay)

เชื้อแบคทีเรีย *Salmonella typhimurium* สายพันธุ์ TA98 มีกรดอะมิโนฮิสติดีนคือ *hisD3052* ที่มีรูปแบบสายเบส DNA แบบ -C-G-C-G-C-G-C-G- และเกิดการกลายพันธุ์แบบเลื่อนสายเบส (Frameshifts) (Maron and Ames, 1983) โดยการก่อการกลายพันธุ์ของเชื้อแบคทีเรีย *Salmonella typhimurium* สายพันธุ์ TA98 ด้วยสารก่อการกลายพันธุ์มาตรฐาน (2-amino-anthracene: 2-AA) (ดังภาพที่ 4.3) พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสาร 2-AA แล้วปริมาณของเชื้อแบคทีเรีย *Salmonella typhimurium* TA98 เจริญได้มากขึ้น เนื่องจากสาร 2-AA สามารถทำปฏิกิริยากับ S-9 mix ซึ่งมีเอนไซม์ Cytochrome P450 แล้วสามารถกระตุ้นให้เชื้อแบคทีเรีย *Salmonella typhimurium* TA98 กลับมาสร้างกรดอะมิโนฮิสติดีน (His^+) ได้ (Maron and Ames, 1983)

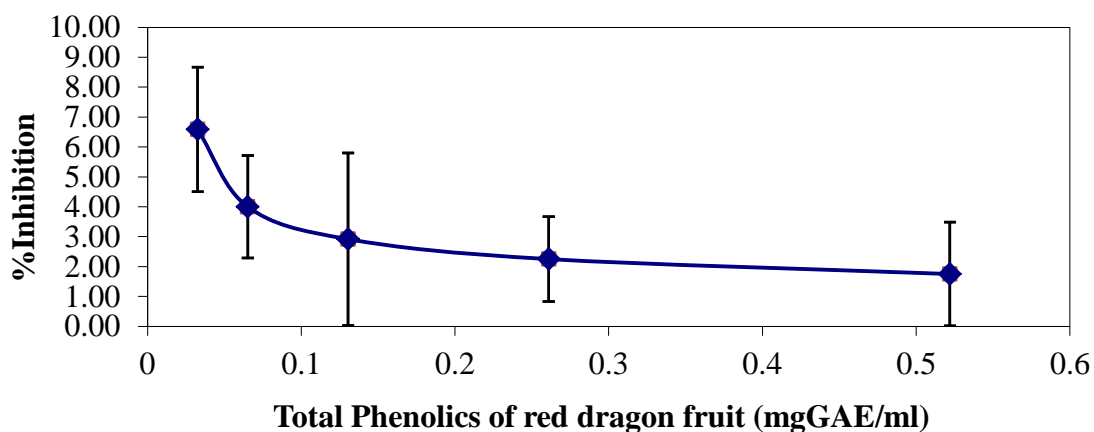
การทดสอบสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรแดงต่อการกลายพันธุ์ของเชื้อแบคทีเรีย *Salmonella typhimurium* สายพันธุ์ TA98 (ดังภาพที่ 4.4) พบว่า เมื่อระดับความเข้มข้นของสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรแดงเพิ่มขึ้น จำนวนโคโลนีของเชื้อแบคทีเรียดังกล่าวมีจำนวนลดลงแสดงว่าสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรแดงมีฤทธิ์ในการยับยั้งการสร้างฮิสติดีนที่พบในการเจริญเติบโตของเชื้อ ทำให้จำนวนโคโลนีของเชื้อดังกล่าวมีจำนวนลดลงหรือไม่เพิ่มขึ้น ซึ่งสรุปได้ว่าสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรแดงไม่มีผลต่อการกลายพันธุ์ของยีนของเชื้อแบคทีเรียดังกล่าว ซึ่งเป็นข้อมูล

เบื้องต้นที่แสดงให้เห็นถึงความปลอดภัยในเรื่องการกลายพันธุ์จากสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรแดงดังกล่าว



ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มข้นของสาร 2-AA (ug/25ul) กับ จำนวนของเชื้อแบคทีเรีย *Salmonella typhimurium* TA98 (colonies/plate)

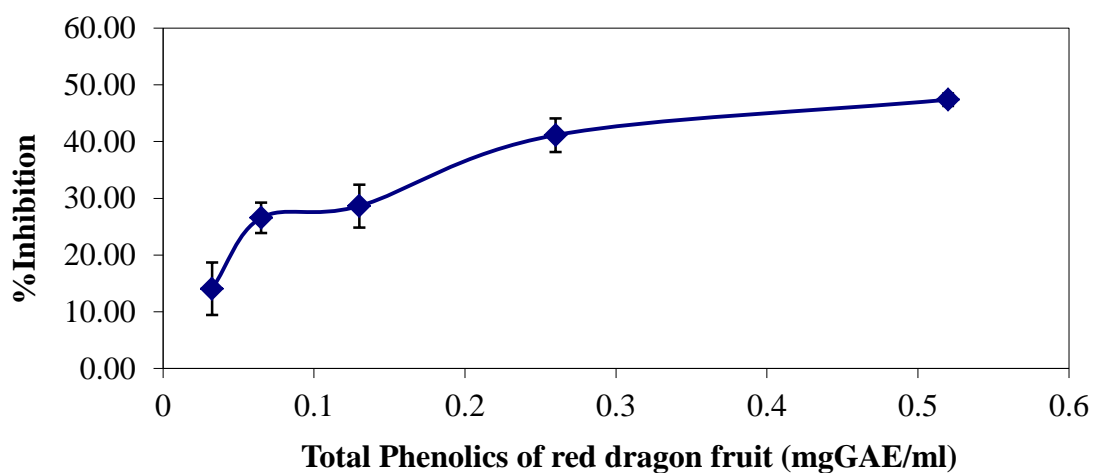
Mutagenic activity of Red dragon fruit



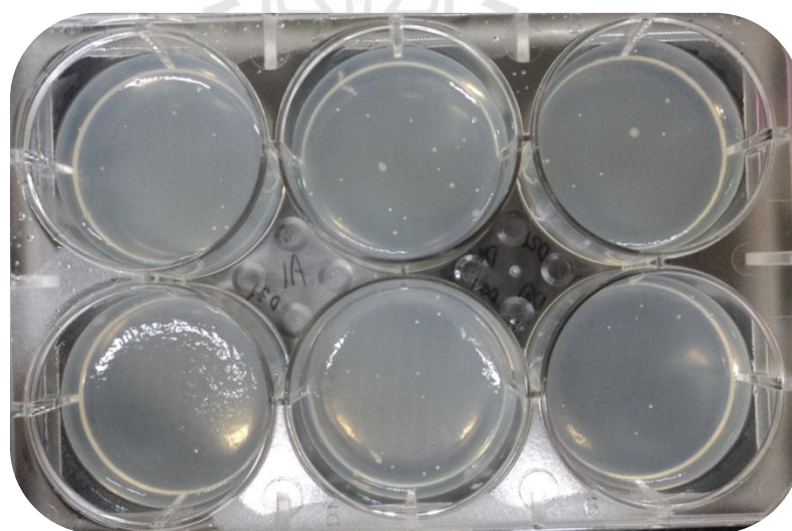
ภาพที่ 4.4 การก่อกลายพันธุ์ (Mutagenic activity) ของเชื้อแบคทีเรีย *Salmonella typhimurium* TA98 ด้วยสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรแดงที่สกัดด้วย DI water (ปริมาณฟีนอลิกสูงสุดเท่ากับ 0.522 mg GAE/mL)

เมื่อทดสอบสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรแดงต่อการต้านการก่อกลายพันธุ์ของเชื้อแบคทีเรีย *Salmonella typhimurium* สายพันธุ์ TA98 ด้วยสารก่อการกลายพันธุ์มาตรฐาน (2-AA) ตามวิธี Salmonella test (Ames test) โดยใช้เชื้อแบคทีเรีย *Salmonella typhimurium* สายพันธุ์ TA98 (ดังภาพที่ 4.5 และภาพที่ 4.6) ในสถานะที่มีเอนไซม์จากคัตหนูเป็นตัวกระตุ้น (S-9 mix) พบว่าสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรแดงสามารถยับยั้งการก่อกลายพันธุ์ได้โดยที่ปริมาณฟีนอลิกสูงสุดเท่ากับ 0.522 mg GAE/mL ซึ่งมีค่าในการยับยั้งการกลายพันธุ์เท่ากับร้อยละ 47.4 เทียบเท่ากับสารสกัดดังกล่าวมีความสามารถในการยับยั้งต่อการก่อการกลายพันธุ์ได้ในระดับปานกลางโดยความสามารถในการยับยั้งการก่อการกลายพันธุ์ของเชื้อแบคทีเรีย *Salmonella typhimurium* แบ่งออกเป็นระดับต่าง ๆ ดังนี้คือ ที่ร้อยละ 0-20 แสดงว่าไม่มีความสามารถในการยับยั้งการก่อการกลายพันธุ์ ที่ร้อยละ 20-40 แสดงว่ามีความสามารถในการยับยั้งการก่อการกลายพันธุ์ระดับต่ำ ที่ร้อยละ 40-60 แสดงว่ามีความสามารถในการยับยั้งการก่อการกลายพันธุ์ระดับปานกลางและที่ร้อยละ 60 ขึ้นไปแสดงว่ามีความสามารถในการยับยั้งการก่อการกลายพันธุ์ระดับสูง (Maron and Ames, 1983; Kruawan and Kangsadalampai, 2006) อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาพบว่า สารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรแดงไม่มีคุณสมบัติในการก่อกลายพันธุ์ต่อเชื้อแบคทีเรียดังกล่าวข้างต้น กลับมีความสามารถในการต้านการก่อการกลายพันธุ์ที่เกิดจากสารก่อการกลายพันธุ์มาตรฐาน 2-AA ต่อเชื้อแบคทีเรีย *Salmonella typhimurium* สายพันธุ์ TA98 ที่ระดับ IC 50 เท่ากับร้อยละ 47.40 เนื่องจากสารปีตาไซยานินเป็นสารฟีนอลิกในพืชที่รู้จักกันดีว่าเป็นสารต้านมะเร็ง (Anticarcinogens) ซึ่งมีฤทธิ์ในการยับยั้งสารตั้งต้นของสารก่อมะเร็งได้ ทำให้กระบวนการเกิดมะเร็งในเซลล์สิ่งมีชีวิตลดอัตราความเสี่ยงที่จะเกิดเป็นเซลล์มะเร็งลง (Hollman, 2001) ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบพืชและผลไม้หลายชนิดประกอบด้วยสารปีตาไซยานินและแอนโทไซยานินที่มีฤทธิ์ต้านการก่อการกลายพันธุ์ของเชื้อแบคทีเรีย *Salmonella typhimurium* สายพันธุ์ TA98 เช่น หัวบีททูท (Ishidate et al., 1984) ดอกคุณนายตื่นสาย (Wang and Yang, 2010) ฝลอบเชย (Jayaprakasha, Negi, Jena, and Jagan Mohan Rao, 2007) ข้าวโพดม่วง (Pedreschi and Cisneros-Zevallos, 2006) เปลือกหอมหัวใหญ่แดง (Singh et al., 2009) เปลือกทับทิม (Zahin et al., 2010) ฝล *Aronia melanocarpa* (Gasirowskia et al., 1997) แต่ในการทดลองนี้ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรแดงปลอดภัยต่ออินของคน ดังนั้นในการศึกษาเพิ่มเติมควรมีการทดลองโดยใช้อินของคนที่วิธี Chromosomal aberration assay (Ashby, 1986) เป็นต้นมาทำการทดสอบต่อไป ทั้งนี้การทดสอบนี้จัดเป็นการทดสอบเบื้องต้นที่ใช้ระยะเวลาในการทดสอบสั้นซึ่งสามารถนำผลการทดลองไปเป็นแนวทางวิจัยหาสารที่มีฤทธิ์ต้านหรือป้องกันการเกิดมะเร็งจากสารก่อมะเร็งได้ (McCann, Choi, Yamasaki, and Ames, 1975; Shelby and Zeiger, 1990)

Antimutagenic activity of Red dragon fruit



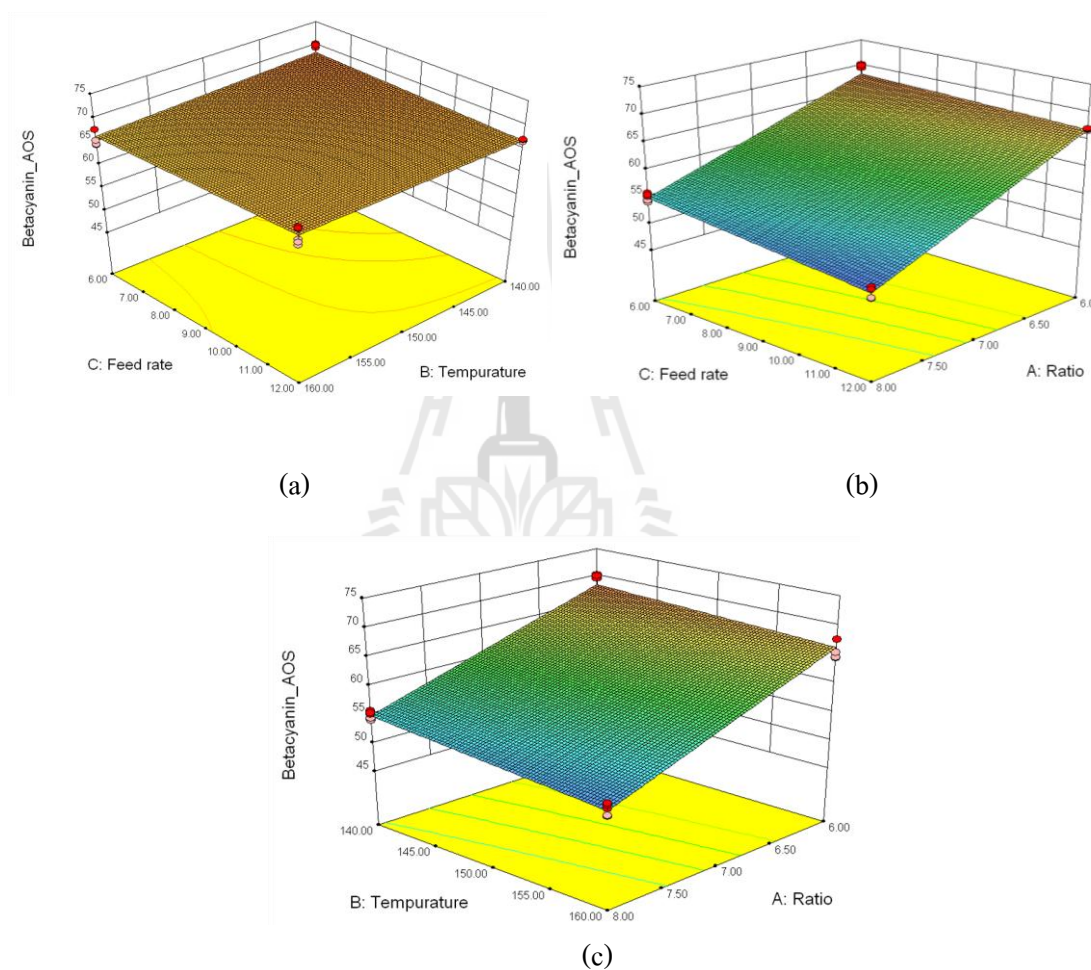
ภาพที่ 4.5 การต้านการก่อกลายพันธุ์ (Antimutagenic activity) ของเชื้อแบคทีเรีย *Salmonella typhimurium* สายพันธุ์ TA98 ด้วยสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรแดงที่สกัดด้วย DI water (ปริมาณฟีนอลิกสูงสุดเท่ากับ 0.522 mg GAE/mL)



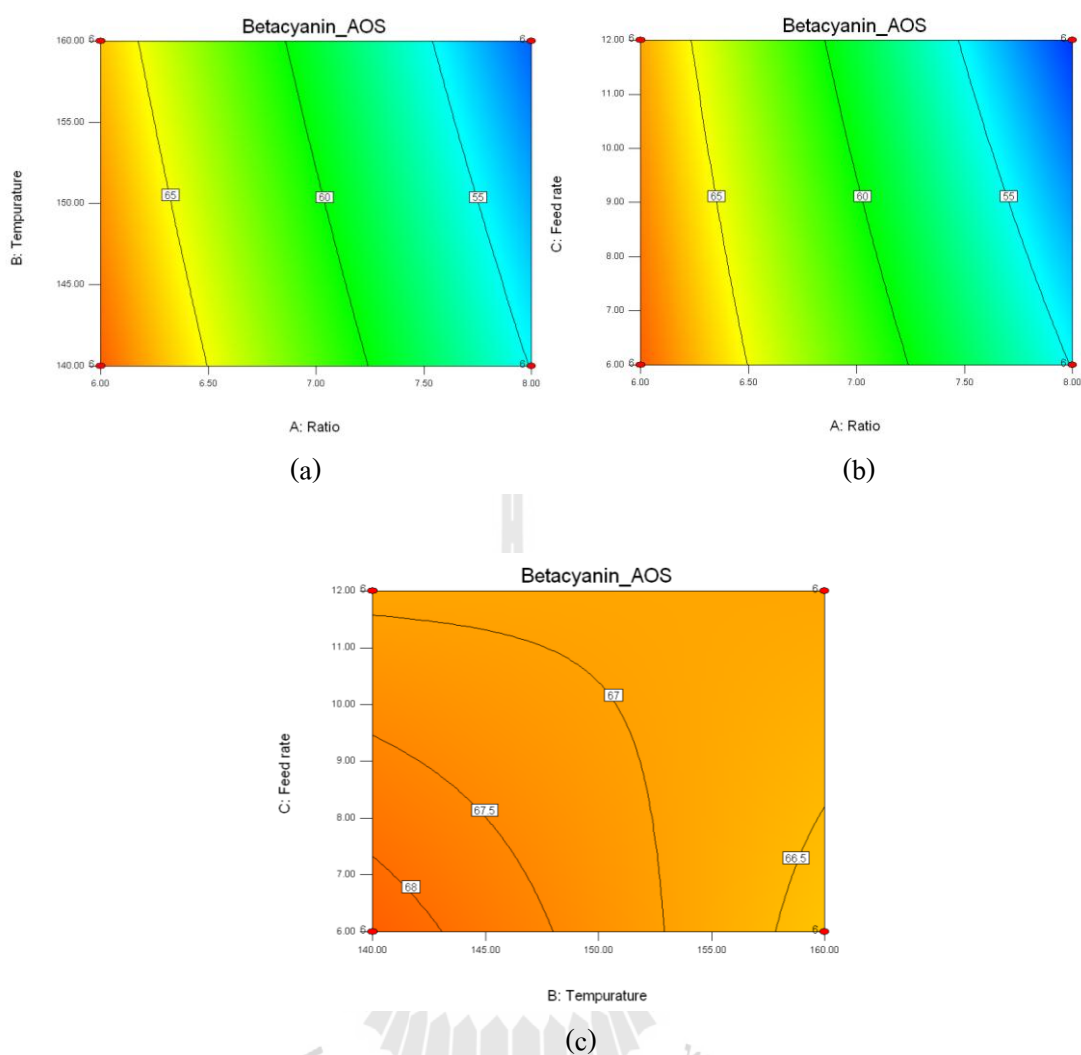
ภาพที่ 4.6 ลักษณะโคโลนีของเชื้อแบคทีเรีย *Salmonella typhimurium* สายพันธุ์ TA98 ต่อการต้านการก่อกลายพันธุ์ (Antimutagenic activity) ด้วยสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรแดงที่สกัดด้วย DI water ที่ปริมาณความเข้มข้นของฟีนอลิกเท่ากับ 0.033-0.522 mg GAE/mL

4.4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการผลิตสีผสมอาหารจากเปลือกแก้วมังกร

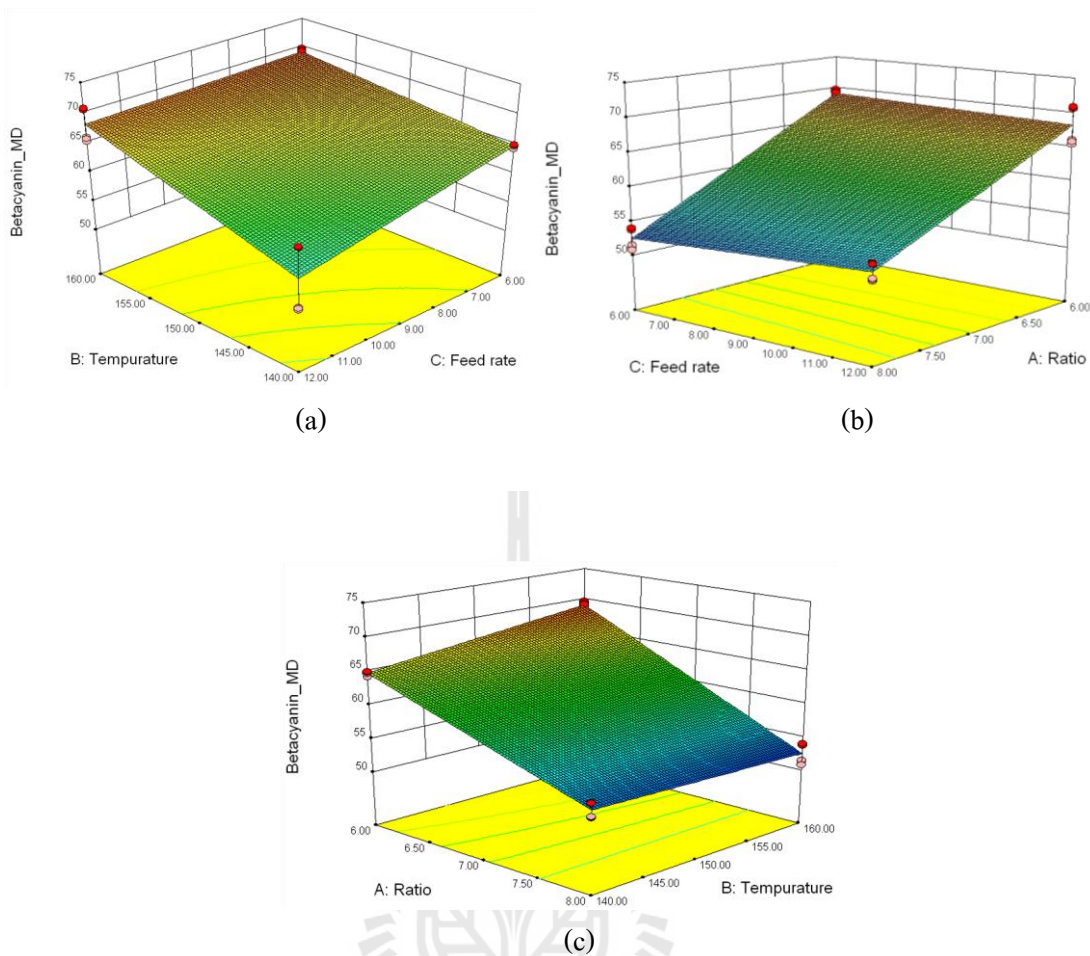
จากการวิเคราะห์ปริมาณบีตาไซยานิน สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และค่าสีที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยการนำเปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อผลสีแดงที่เลือกได้จากการศึกษาในข้อ 4.1 และสภาวะการสกัดที่เหมาะสมมากที่สุดที่เลือกได้ในข้อ 4.2 และนำมาผสมกับสารตัวกลางที่เลือกศึกษา ได้แก่ แป้งอะเซททิลเลทออกซิไดซ์ (Acetylated oxidized starch, AOS) และมอลโตเดกตรินซ์ (Maltodextrin: MD) โดยแปรสัดส่วนของสารสกัดกับสารตัวกลางเพื่อทำเป็นสีผสมอาหาร



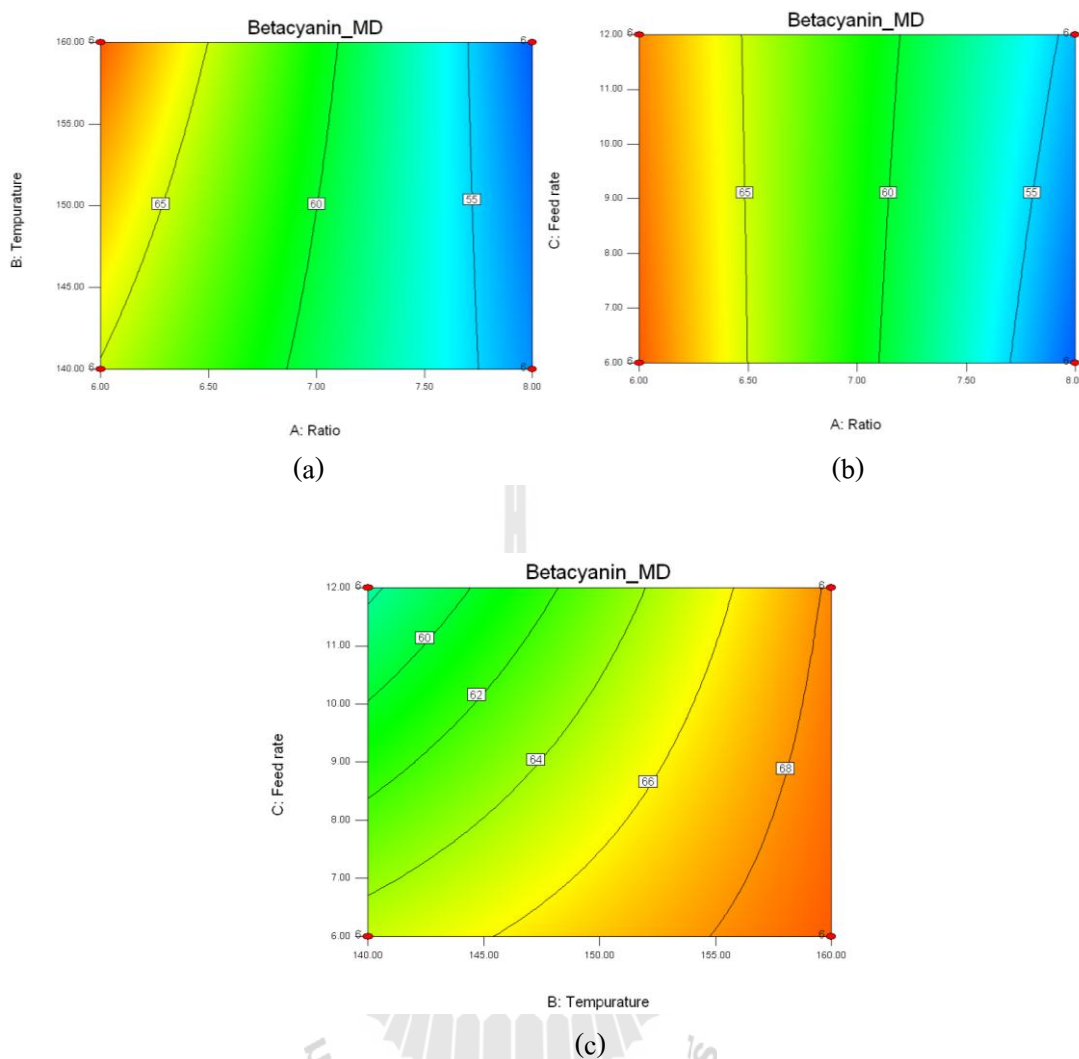
ภาพที่ 4.7 Response surface plot ของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารบีตาไซยานินกับแป้ง Acetylated oxidized starch (AOS) และ (a) อัตราส่วนระหว่างสารตัวกลางกับสารสกัด กับอุณหภูมิที่อัตราการป้อนเท่ากับ 6 mL/min (b) อัตราส่วนระหว่างสารตัวกลางกับสารสกัด กับอัตราการป้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส และ (c) อุณหภูมิกับอัตราการป้อน ที่อัตราส่วนระหว่างสารตัวกลางกับสารสกัดเท่ากับ 6% w/w ในการศึกษาสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่เหมาะสม



ภาพที่ 4.8 Contour plot ของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารบีตาไซยานินกับแป้ง Acetylated oxidized starch (AOS) และ (a) อัตราส่วนระหว่างสารตัวกลางกับสารสกัด กับอุณหภูมิที่อัตราการป้อนเท่ากับ 6 mL/min (b) อัตราส่วนระหว่างสารตัวกลางกับสารสกัด กับอัตราการป้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส และ (c) อุณหภูมิกับอัตราการป้อนที่อัตราส่วนระหว่างสารตัวกลางกับสารสกัดเท่ากับ 6% w/w ในการศึกษาสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่เหมาะสม



ภาพที่ 4.9 Response surface plot ของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารบีตาไซยานินกับมอลโตเด็กทรีนซ์ (MD) และ (a) อัตราส่วนระหว่างสารตัวกลางกับสารสกัด กับอุณหภูมิที่อัตราการป้อนเท่ากับ 6 mL/min (b) อัตราส่วนระหว่างสารตัวกลางกับสารสกัด กับอัตราการป้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส และ (c) อุณหภูมิกับอัตราการป้อนที่อัตราส่วนระหว่างสารตัวกลางกับสารสกัดเท่ากับ 6% w/w ในการศึกษาสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่เหมาะสม



ภาพที่ 4.10 Contour plot ของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารบีตาไซยานินกับมอลโตเด็คทรีนซ์ (MD) และ (a) อัตราส่วนระหว่างสารตัวกลางกับสารสกัด กับอุณหภูมิที่อัตราการป้อนเท่ากับ 6 mL/min (b) อัตราส่วนระหว่างสารตัวกลางกับสารสกัด กับอัตราการป้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส และ (c) อุณหภูมิกับอัตราการป้อนที่อัตราส่วนระหว่างสารตัวกลางกับสารสกัดเท่ากับ 6% w/w ในการศึกษาสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่เหมาะสม

เนื่องจากสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรมีปริมาณน้ำตาลและมีความเป็นกรดสูงจึงควรเติมสารตัวกลางก่อนการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Chik, Abdullah, Abdullah, and Mustapha, 2011) โดยในการศึกษานี้สารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อผลสีแดงที่เลือกได้จากสภาวะการสกัดที่เหมาะสมมากที่สุดจะถูกนำมาผสมกับสารตัวกลางที่เลือกศึกษา ได้แก่ แป้ง AOS และมอลโตเด็คทรีนซ์ โดยแปรสัดส่วนของสารสกัดกับสารตัวกลาง (ดังตารางที่ 3.2) เพื่อทำเป็นสัผสมอาหารต่อไป ทั้งนี้พบว่า

ทั้งแปง AOS และมอลโตเดคทรินส์สามารถใช้เป็นสารตัวกลางได้ดีและรวมเป็นเนื้อเดียวกันกับสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกร เมื่อวิเคราะห์ปริมาณบีตาไซยานิน สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และค่าสีของผงสีจากสารสกัดเปลือกแก้วมังกรที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่าผงสีจากสารสกัดเปลือกแก้วมังกรที่ใช้สารตัวกลางเป็นแปงต่างชนิดกันแสดงผลของปริมาณสารบีตาไซยานินและสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของแต่ละสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีค่าแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ดังตารางที่ 4.3 และ 4.4) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารบีตาไซยานินและสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยกับสภาวะการสกัดจากเปลือกแก้วมังกรพบว่า ปริมาณสารบีตาไซยานินหลังทำการอบแห้งแบบพ่นฝอยมีค่าลดลงแต่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเสียดสภาพของสารบีตาไซยานินเปลี่ยนไปเป็นกรดบีตาลามิก (Betalamic acid) กับสาร cyclo-dopa 5-O- β -glucoside ดังที่อธิบายแล้วข้างต้น (Stintzing and Carle, 2004; Herbach et al., 2006a; Bellec et al., 2006) แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าสีของสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรแดงที่ใช้สารตัวกลางเป็นแปงต่างชนิดกันกลับพบว่าสีผสมอาหารจากเปลือกแก้วมังกรแดงที่ผสมมอลโตเดคทรินส์มีค่าความสว่างน้อยกว่า และมีค่า a^* ค่า b^* และค่า Chroma มากกว่าแปง AOS ส่วนค่า Hue angle มีค่าแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ดังตารางที่ 4.1 และ 4.2) โดยอาจมีผลมาจากสีของแปงที่เลือกใช้เนื่องจากแปงสองชนิดนี้มีความสว่างแตกต่างกัน

นอกจากนี้ค่าสียังมีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนระหว่างสารสกัดกับสารตัวกลาง โดยจากการทดลองนี้พบว่า เมื่ออัตราส่วนระหว่างสารสกัดกับสารตัวกลางเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าสีมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไปโดยมีค่าความสว่างและค่า Hue angle เพิ่มขึ้น ส่วนค่า a^* และค่า Chroma ลดลงเช่นเดียวกับเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้งแบบพ่นฝอยเนื่องจากปริมาณสารบีตาไซยานินลดน้อยลงซึ่งผลสอดคล้องกับ Obón et al. (2009) ที่ศึกษาการผลิตสีม่วงแดงจากผล *Opuntia stricta* ด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้น้ำเชื่อมกลูโคสเป็นสารตัวกลาง โดยการใช้สารตัวกลางต่างชนิดกันก็มีผลทำให้ค่าสีของผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน เช่นเดียวกับการทดลองของ Saénz, Tapia, Chávez, and Robert (2009) ซึ่งใช้สารตัวกลาง คือ มอลโตเดคทรินส์และอินนูลิน (Inulin) และการศึกษาของ Ravichandran et al. (2012) แต่ไม่สอดคล้องกับผลการทดลองของ Azeredo et al. (2007) ที่ศึกษาความคงตัวของสารบีตาไซยานินในสารสกัดบีทรูทระหว่างกระบวนการผลิตและการเก็บรักษา ซึ่งพบว่าการเพิ่มอัตราส่วนปริมาณมอลโตเดคทรินส์ในระหว่างกระบวนการไมโครเอนแคปซูลชัน (Microencapsulation) ไม่มีผลต่อค่าความคงตัวของบีตาไซยานิน (Betacyanin retention) และค่าสี

เมื่อนำปริมาณสารบีตาไซยานินมาหาความสัมพันธ์กับสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยซึ่งได้แก่ ค่าการแปรสัดส่วนของสารสกัดกับสารตัวกลาง (X_1) อุณหภูมิลมเข้า (Inlet temperature) (X_2) และอัตราการป้อน (Feed flow rate) (X_3) โดย Stepwise regression analysis พบว่า ปริมาณสารบีตา-

ไซยานินที่ใช้แป็ง AOS เป็นสารตัวกลางมีความสัมพันธ์กับสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยดังสมการที่ 10 ($R^2 = 0.9782$) ส่วนในมอลโตเดคตรินซ์เป็นดังสมการที่ 11 ($R^2 = 0.8259$) ตามลำดับ

$$\begin{aligned} \text{Betacyanin content_AOS (mg/g dry basis)} = & - 1.945 + 33.34833333Y_1 + 0.739583333Y_2 \\ & + 16.41472222Y_3 - 0.314083333Y_1Y_2 - 6.335Y_1Y_3 \\ & - 0.109013889Y_2Y_3 + 0.041944444Y_1Y_2Y_3 \dots\dots(10) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Betacyanin content_MD (mg/g dry basis)} = & 303.4116667 - 72.41Y_1 - 1.094583333Y_2 - 57.8Y_3 \\ & + 0.331166667Y_1Y_2 + 16.42027778Y_1Y_3 \\ & + 0.351486111Y_2Y_3 - 0.099680556Y_1Y_2Y_3 \dots\dots(11) \end{aligned}$$

เมื่อนำสมการที่ 10 และ 11 มาหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยวิธีการหาอนุพันธ์ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมแก่การทำแห้งแบบพ่นฝอยของสัคตสารจากเปลือกแก้วมังกรแดง คือ ค่าอัตราส่วนของสารสัคตกับสารตัวกลาง เท่ากับร้อยละ 6 (w/w) อัตราการป้อน เท่ากับ 6 mL/min ที่อุณหภูมิลมเข้า เท่ากับ 140 องศาเซลเซียส สำหรับแป็ง AOS และที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส สำหรับมอลโตเดคตรินซ์ ดังนั้นเมื่อนำสภาวะดังกล่าวไปสร้างภาพ Contour plot และ Response surface plot พบว่าสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยนี้ให้ค่าปริมาณบีตาไซยานินมากที่สุด เท่ากับ 68.31 mg/g of dry peels สำหรับแป็ง AOS (ดังภาพที่ 4.7-4.8) และเท่ากับ 69.12 mg/g of dry peels สำหรับมอลโตเดคตรินซ์ (ดังภาพที่ 4.9-4.10) ตามลำดับ

นอกจากนี้ปัจจัยที่มีผลมากที่สุดต่อการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตสีผสมอาหารจากเปลือกแก้วมังกรทั้งสารตัวกลางมอลโตเดคตรินซ์และแป็ง AOS ของการทดลองนี้ คือ อัตราส่วนระหว่างสารสัคตเปลือกแก้วมังกรแดงกับสารตัวกลาง โดยจากภาพที่ 4.7-4.10 พบว่าเมื่อมีการเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างสารสัคตเปลือกแก้วมังกรแดงกับสารตัวกลางส่งผลทำให้ปริมาณสารบีตาไซยานินมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าปัจจัยอื่น ๆ (อุณหภูมิลมเข้า และอัตราการป้อน)

ตารางที่ 4.3 ปริมาณสารบีตาไซยานินและสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผงสีจากสารสกัดเปลือกแก้วมังกรของแต่ละสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอย

Treatment	MS:Extract (%w/w)	Inlet Temp (°C)	Feed flow rate (mL/min)	Betacyanin (mg/g dry basis)		Total polyphenols (mg/100g dry basis)	
				MD	AOS	MD	AOS
1	8 (+1)	160 (+1)	6 (-1)	52.53 ± 1.55 ^{ns, c}	51.63 ± 0.95 ^{ns, d}	545.82 ± 23.11 ^{ns, f}	529.62 ± 41.95 ^{ns, d}
2	8 (+1)	140 (-1)	6 (-1)	53.59 ± 1.08 ^{B, c}	54.91 ± 0.63 ^{A, c}	552.68 ± 24.20 ^{ns, ef}	545.86 ± 37.34 ^{ns, cd}
3	6 (-1)	160 (+1)	6 (-1)	69.12 ± 0.44 ^{A, a}	66.28 ± 1.58 ^{B, b}	742.90 ± 23.41 ^{A, a}	658.75 ± 24.31 ^{B, a}
4	8 (+1)	160 (+1)	12 (+1)	54.47 ± 1.18 ^{ns, c}	54.49 ± 0.83 ^{ns, c}	594.58 ± 22.82 ^{ns, d}	572.09 ± 50.71 ^{ns, bc}
5	6 (-1)	140 (-1)	12 (+1)	64.65 ± 2.17 ^{B, b}	66.90 ± 0.18 ^{A, ab}	712.26 ± 30.29 ^{A, b}	673.30 ± 18.02 ^{B, a}
6	8 (+1)	140 (-1)	12 (+1)	54.22 ± 1.72 ^{A, c}	50.72 ± 0.99 ^{B, d}	572.41 ± 16.90 ^{ns, e}	585.70 ± 37.53 ^{ns, b}
7	6 (-1)	160 (+1)	12 (+1)	68.23 ± 2.72 ^{ns, a}	66.88 ± 1.63 ^{ns, ab}	683.62 ± 21.18 ^{ns, c}	696.91 ± 60.47 ^{ns, a}
8	6 (-1)	140 (-1)	6 (-1)	64.85 ± 0.30 ^{B, b}	68.31 ± 1.72 ^{A, a}	715.22 ± 29.41 ^{ns, b}	686.98 ± 49.05 ^{ns, a}

หมายเหตุ: อักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่ที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ภายในสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยเดียวกัน

อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในแป่งชนิดเดียวกัน

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.4 ค่าสีของผงสีจากสารสกัดเปลือกแก้วมังกรแดงของแต่ละสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอย

Treatment	MS:Extract (%w/w)	Inlet Temp (°C)	Feed flow rate (mL/min)	L*		a*		b*	
				MD	OSA	MD	OSA	MD	OSA
				1	8 (+1)	160 (+1)	6 (-1)	58.08 ± 2.03 ^{a, B}	60.15 ± 0.61 ^{a, A}
2	8 (+1)	140 (-1)	6 (-1)	56.72 ± 0.45 ^{b, B}	58.54 ± 0.58 ^{c, A}	45.32 ± 0.67 ^{cd, A}	43.85 ± 0.54 ^{c, B}	3.63 ± 0.96 ^{cd, ns}	3.69 ± 0.36 ^{c, ns}
3	6 (-1)	160 (+1)	6 (-1)	54.78 ± 1.17 ^{c, B}	58.00 ± 0.43 ^{d, A}	45.43 ± 0.52 ^{bcd, A}	44.25 ± 0.41 ^{b, B}	3.84 ± 0.83 ^{bcd, B}	4.34 ± 0.31 ^{a, A}
4	8 (+1)	160 (+1)	12 (+1)	57.06 ± 2.80 ^{b, B}	59.14 ± 0.33 ^{b, A}	45.14 ± 1.76 ^{d, A}	43.56 ± 0.17 ^{cd, B}	3.20 ± 0.32 ^{d, A}	3.42 ± 0.10 ^{d, B}
5	6 (-1)	140 (-1)	12 (+1)	54.18 ± 0.99 ^{c, B}	56.24 ± 0.46 ^{f, A}	45.99 ± 1.26 ^{bc, ns}	45.45 ± 0.64 ^{a, ns}	2.43 ± 1.45 ^{c, A}	3.55 ± 0.32 ^{cd, B}
6	8 (+1)	140 (-1)	12 (+1)	56.40 ± 1.22 ^{b, B}	57.89 ± 0.69 ^{b, A}	46.12 ± 0.98 ^{b, A}	43.33 ± 0.33 ^{d, B}	3.52 ± 0.18 ^{d, A}	2.77 ± 0.23 ^{e, B}
7	6 (-1)	160 (+1)	12 (+1)	52.38 ± 0.77 ^{d, B}	56.59 ± 0.44 ^{d, A}	47.63 ± 0.68 ^{a, A}	44.21 ± 0.65 ^{b, B}	4.32 ± 1.30 ^{ab, A}	3.43 ± 0.14 ^{d, B}
8	6 (-1)	140 (-1)	6 (-1)	51.75 ± 1.26 ^{d, B}	42.47 ± 0.51 ^{e, A}	47.71 ± 0.31 ^{a, A}	45.32 ± 0.41 ^{a, B}	4.24 ± 1.20 ^{abc, ns}	3.86 ± 0.21 ^{b, ns}

หมายเหตุ: อักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่ที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ภายในสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยเดียวกัน

อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในแปรงชนิดเดียวกัน

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.4 ค่าสีของผงสีจากสารสกัดเปลือกแก้วมังกรแดงของแต่ละสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอย (ต่อ)

Treatment	MS:Extract (%w/w)	Inlet Temp (°C)	Feed flow rate (mL/min)	Chroma		Hue angle	
				MD	OSA	MD	OSA
1	8 (+1)	160 (+1)	6 (-1)	45.07 ± 1.81 ^{d, A}	42.65 ± 0.53 ^{e, B}	5.91 ± 0.70 ^{a, A}	5.26 ± 0.33 ^{b, B}
2	8 (+1)	140 (-1)	6 (-1)	45.47 ± 0.74 ^{cd, A}	44.01 ± 0.56 ^{c, B}	4.57 ± 1.14 ^{bc, ns}	4.80 ± 0.42 ^{c, ns}
3	6 (-1)	160 (+1)	6 (-1)	45.60 ± 0.53 ^{bcd, A}	44.46 ± 0.42 ^{b, B}	4.83 ± 1.04 ^{b, B}	5.60 ± 0.36 ^{a, A}
4	8 (+1)	160 (+1)	12 (+1)	45.25 ± 1.77 ^{d, A}	43.69 ± 0.17 ^{d, B}	4.05 ± 0.30 ^{c, B}	4.48 ± 0.12 ^{d, A}
5	6 (-1)	140 (-1)	12 (+1)	46.07 ± 1.32 ^{bc, ns}	45.59 ± 0.66 ^{a, ns}	2.98 ± 1.73 ^{d, B}	4.46 ± 0.35 ^{d, A}
6	8 (+1)	140 (-1)	12 (+1)	46.26 ± 0.97 ^{b, A}	43.42 ± 0.34 ^{d, B}	4.37 ± 0.29 ^{bc, A}	3.65 ± 0.29 ^{e, B}
7	6 (-1)	160 (+1)	12 (+1)	47.84 ± 0.78 ^{a, A}	44.35 ± 0.65 ^{b, B}	5.16 ± 1.50 ^{b, A}	4.43 ± 0.16 ^{d, B}
8	6 (-1)	140 (-1)	6 (-1)	47.91 ± 0.32 ^{a, A}	45.48 ± 0.42 ^{a, B}	5.07 ± 1.44 ^{b, ns}	4.87 ± 0.25 ^{c, ns}

หมายเหตุ: อักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่ที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ภายในสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยเดียวกัน

อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในแป่งชนิดเดียวกัน

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.5 การศึกษาคุณสมบัติในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน

จากการศึกษาคุณสมบัติในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของผงสีจากเปลือกแก้วมังกรแดง 3 วิธี ได้แก่ DPPH radical scavenging activity, ABTS assay และ Ferric-ion reducing antioxidant power (FRAP) (ตารางที่ 4.5) พบว่าค่า ABTS ของสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรแดงมีค่าน้อยกว่าค่า ABTS จากผงสีจากสารสกัดเปลือกแก้วมังกรแดงที่ใช้แป้ง AOS เป็นสารตัวกลางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างจากผงสีจากสารสกัดเปลือกแก้วมังกรแดงที่ใช้มอลโตเดคทรินซ์และสารมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก ทั้งนี้เนื่องจากค่าการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้นอยู่กับปริมาณสารบีตาไซยานินและสารประกอบฟีนอลิกในวัตถุดิบอาหาร (Ersus and Yurdagel, 2007) โดยการเติมแป้ง AOS ในการศึกษานี้อาจทำให้ปริมาณสารบีตาไซยานินลดลงและแป้ง AOS อาจไปห่อหุ้มผงสีทำให้ค่าการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Saénz et al. (2009) ที่พบว่าค่า ABTS ของสารสกัดผลแคคตัสทั้งที่สกัดด้วยน้ำและเอทานอลมีค่าน้อยกว่าผงสีจากผลแคคตัสที่ใช้สารตัวกลางเป็นมอลโตเดคทรินซ์และอินนูลิน แสดงว่าสารสกัดผลแคคตัสมีค่าการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันลดลงเมื่อผสมกับสารตัวกลางในการผลิตเป็นผงสี นอกจากนี้การศึกษากการผลิตและคุณสมบัติของสารบีตาไซยานินในผล *Amaranthus* ด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยของ Cai and Corke (2000) พบว่าการเติมสารตัวกลางผสมกับสารสกัดแล้วทำแห้งแบบพ่นฝอยส่งผลทำให้ค่าการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันลดลง และการศึกษาผลของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยของผงจากเนื้อผลผักข้าว (*Momordica cochinchinensis*) ของ Kha, Nguyen and Roach (2010) พบว่าการเติมมอลโตเดคทรินซ์น้อยกว่าร้อยละ 20 (w/v) ทำให้ค่าการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของผงจากเนื้อผลผักข้าวไม่แตกต่างกันกับสารสกัดจากเนื้อผลผักข้าว จึงอาจเป็นเหตุผลเดียวกับการทดลองนี้ที่ใช้มอลโตเดคทรินซ์เพียงร้อยละ 6 และร้อยละ 8 (w/w)

เมื่อพิจารณาค่า DPPH และ FRAP พบว่าสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรแดงและผงสีจากสารสกัดเปลือกแก้วมังกรแดงที่ใช้แป้ง AOS และมอลโตเดคทรินซ์เป็นสารตัวกลางไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่มีความแตกต่างจากสารมาตรฐาน (Trolox และกรดแอสคอร์บิก) (ตารางที่ 4.5) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเกิด Chain-breaking activity หรือทำให้ลูกโซ่ของการเกิดอนุมูลอิสระสั้นสุดลงในกระบวนการทำแห้งที่ทำให้เกิดลักษณะเป็นไมโครแคปซูล และการเกิด Redox potential ระหว่างสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรแดงและผงสีจากสารสกัดเปลือกแก้วมังกรแดงที่ใช้แป้ง AOS และมอลโตเดคทรินซ์ไม่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าการใช้แป้ง AOS และมอลโตเดคทรินซ์เป็นสารตัวกลางยังคงสภาพทำให้ผงสีจากสารสกัดเปลือกแก้วมังกรแดงแสดงคุณสมบัติการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ดี ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาคุณสมบัติการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของผงจาก *Rubus sp.* และผงบีทรูทหลังการทำแห้งแบบพ่นฝอยของ Jimenez, Azuara, Vernon-

Carter, Luna-Solano, and Beristain (2011) และ Pitalua, Jimenez, Vernon-Carter, and Beristain (2010) ที่พบว่าผงจากสารสกัดหลังจากผสมสารตัวกลางและการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีค่าการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันไม่แตกต่างกับสารสกัด นอกจากนี้การศึกษาของ Ersus and Yurdagel (2007) ในการวิเคราะห์ DPPH ของสารแอนโทไซยานินจากสารสกัดแครอทดำ (*Daucus carota* L.) พบว่ามีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน แต่มีค่าน้อยกว่าสารมาตรฐาน Trolox เช่นเดียวกับการศึกษาของ Kim, Lee, Lee, and Lee (2002), Wetwitayaklung, Phaechamud, and Keokitichai (2005) และ Stratil, Klejdus, and Kubáň (2006) ที่พบว่าสารสกัดจากผลแอปเปิ้ล, ฝรั่ง และผักชนิดต่างๆ มีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันน้อยกว่าสารมาตรฐาน Trolox และสารมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก

เมื่อเปรียบเทียบผลจากการใช้สารตัวกลางเป็นแป้ง AOS กับมอลโตเดคทรินซ์ พบว่า ผลการวิเคราะห์ ABTS, DPPH และ FRAP ของผงสีจากสารสกัดเปลือกแก้วมังกรแดงที่มีแป้ง AOS กับมอลโตเดคทรินซ์เป็นสารตัวกลางไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 4.5) นอกจากนี้จากการทดสอบ DPPH และ FRAP ของผงสีจากสารสกัดเปลือกแก้วมังกรแดงที่ใช้สารตัวกลางเป็นแป้ง AOS กับมอลโตเดคทรินซ์ พบว่าค่าการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของผงสีดังกล่าวมีค่าน้อยกว่าสารมาตรฐาน (Trolox และกรดแอสคอร์บิก) แต่จากการทดสอบ ABTS พบว่าทั้งผงสีจากสารสกัดเปลือกแก้วมังกรแดงที่ใช้สารตัวกลางเป็นแป้ง AOS กับมอลโตเดคทรินซ์มีค่าน้อยกว่าสารมาตรฐานกรดแอสคอร์บิกแต่ไม่มีความแตกต่างกับสารมาตรฐาน Trolox อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แสดงว่าชนิดของสารตัวกลางที่ใช้ในการทำแห้งแบบพ่นฝอยในการศึกษานี้ไม่มีผลต่อการทดสอบคุณสมบัติในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในอาหาร อย่างไรก็ตามผลของชนิดของสารตัวกลางในการผลิตผงสีที่มีต่อคุณสมบัติในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในอาหารสามารถพบได้ในการศึกษาของ Tonon, Brabet, and Hubinger (2010) และ Saénz et al. (2009)

นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันแต่ละวิธียังขึ้นอยู่กับค่าโมลาร์แอบซอร์ปทิวิตี (Molar absorptivity: ϵ) จำนวนของหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group: OH) โครงสร้างโมเลกุลของสารนั้นๆ (Stratil et al., 2006) และอะตอมของวงแหวนเบนซีนของสารประกอบฟีนอลิกซึ่งมีผลไปลดค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอน (Electron density) ของหมู่ไฮดรอกซิลอันส่งผลให้ค่าการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันเปลี่ยนแปลงไปได้ในแต่ละวิธีการทดสอบ อีกทั้งการวิเคราะห์คุณสมบัติในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารบีตาไซยานินเป็นการวัดค่าความสามารถในการให้อิเล็กตรอน (Electron-donor ability) ซึ่งขึ้นอยู่กับความแตกต่างของโครงสร้างของสารบีตาไซยานิน (Cai et al., 2003) ที่ประกอบด้วยกลุ่ม Imino และหมู่ไฮดรอกซิลที่มีผลต่อการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในผงสีจากสารสกัดเปลือกแก้วมังกรแดงด้วยเช่นกัน

(Wu et al., 2006) โดยปกติแล้วโครงสร้างของบีตาไซยานินจะมีจำนวนการเกิดปฏิกิริยาของหมู่ไฮดรอกซิลเท่ากับ 1 แต่ถ้าโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไปจะทำให้คุณสมบัติในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันเปลี่ยนแปลงไปด้วย ยกตัวอย่างเช่นถ้าโครงสร้างของบีตาไซยานินได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงหรืออยู่ในสภาวะที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำ โครงสร้างของบีตาไซยานินจะเกิดปฏิกิริยาดีไกลโคซิเลชัน (Deglycosylation) โดยสูญเสียโมเลกุลน้ำตาลออกไปจากโครงสร้างกลายเป็นสารบีตานิดิน (Betanidin) และทำให้มีจำนวนการเกิดปฏิกิริยาของหมู่ไฮดรอกซิลเท่ากับ 2 (Herbach, 2006a; Pedreño, and Escribano, 2001) Cuvelier, Esterbauer, and Berset (1992) Fukumoto and Mazza (2000) และ Son and Lewis (2002) อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันกับโครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานินและฟลาโวนอยด์ว่า คุณสมบัติในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยส่วนใหญ่แล้วจะมีค่าเพิ่มขึ้นถ้าโครงสร้างโมเลกุลของสารนั้นมีจำนวนของหมู่ไฮดรอกซิล หรือกลุ่มอื่น ๆ ที่สามารถให้โปรตอน (=NH หรือ -SH) เพิ่มขึ้น รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของหมู่ไฮดรอกซิลและการเกิดปฏิกิริยาไกลโคซิเลชัน (Glycosylation) ของอะไกลโคน นอกจากนี้ความแตกต่างของโครงสร้างโมเลกุลสารบีตาเลน (บีตาไซยานินและบีตาแซนทิน) ก็อาจส่งผลให้มีจำนวนหมู่ไฮดรอกซิลและหมู่เอมีนแตกต่างกัน โดยบีตาไซยานินประกอบด้วยไกลโคไซด์หรือเอซิลไกลโคไซด์ (Acylglycosides) ของอะไกลโคน (สารบีตานิดินหรือสารไอโซบีตานิดิน) ส่วนบีตาแซนทินจะอยู่ในรูปของกรดบีตาลามิครวมกับหมู่เอมีนและกรดอะมิโนต่าง ๆ โดยบีตาแซนทินจะมีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันมากกว่าบีตาไซยานิน เนื่องจากในโครงสร้างของบีตาแซนทินประกอบด้วยหมู่ Imino จำนวน 2-3 กลุ่มและหมู่ไฮดรอกซิลจำนวน 1-2 กลุ่ม ในขณะที่โครงสร้างของบีตาไซยานินประกอบด้วยหมู่ Imino และหมู่ไฮดรอกซิลเพียงอย่างละ 1 กลุ่มเท่านั้น ซึ่งไม่รวมหมู่ไฮดรอกซิลที่เกาะอยู่ตรงโครงสร้างน้ำตาลเนื่องจากไม่ใช่หมู่ที่ให้โปรตอนและไม่มีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน นอกจากนี้สารมาตรฐาน Trolox (α -tocopherol) และกรดแอสคอร์บิกจัดเป็น Plasma antioxidants ที่สามารถละลายได้ในน้ำ (Re et al., 1999) ซึ่งจากการศึกษานี้พบว่าสารมาตรฐาน Trolox (จำนวนการเกิดปฏิกิริยาของหมู่ไฮดรอกซิลเท่ากับ 1) มีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันน้อยกว่าสารมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก (จำนวนการเกิดปฏิกิริยาของหมู่ไฮดรอกซิลเท่ากับ 2) (ดังตารางที่ 4.5) เนื่องจาก Trolox มีจำนวนของหมู่ไฮดรอกซิลน้อยกว่ากรดแอสคอร์บิก (Stratil et al., 2006)

ตารางที่ 4.5 ปริมาณสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของผงสีจากสารสกัดเปลือกแก้วมังกรแดง

Sample/Standard	ABTS (IC ₅₀)	DPPH (IC ₅₀)	FRAP (mmol Fe ²⁺ /100 g)
Dragon fruit extract	4.85 ± 0.53 ^{bc} (mg GAE/100 mL)	10.47 ± 0.29 ^a (mg GAE/100 mL)	1.68 ± 0.06 ^c
Dragon fruit mix AOS	6.20 ± 0.87 ^a (mg GAE/100 mL)	11.52 ± 0.46 ^a (mg GAE/100 mL)	1.26 ± 0.32 ^c
Dragon fruit mix MD	5.63 ± 0.94 ^{ab} (mg GAE/100 mL)	11.24 ± 1.57 ^a (mg GAE/100 mL)	1.31 ± 0.41 ^c
Trolox	6.41 ± 0.54 ^a (mg/100 mL)	8.75 ± 0.60 ^b (mg/100 mL)	857.39 ± 80.43 ^b
Ascorbic acid	4.44 ± 0.24 ^c (mg/100 mL)	4.94 ± 0.45 ^c (mg/100 mL)	1,280.93 ± 15.84 ^a

หมายเหตุ: อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กแสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่มีการวิเคราะห์คุณสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



4.6 การศึกษาปริมาณโลหะหนักปนเปื้อนในผงสีจากสารสกัดเปลือกแก้วมังกรแดง

จากการศึกษาปริมาณโลหะหนักปนเปื้อนในผงสีจากสารสกัดเปลือกแก้วมังกรแดงที่ผสมแป้ง AOS หรือมอลโตเดคทรินซ์ และสีผสมอาหารทางการค้า ได้แก่ สีแดง (Azorubine) และสีชมพู (Erythrosine) ยี่ห้อห้างเรียงตาง ด้วยเทคนิค ICP-OES โดยเทียบกับข้อกำหนดของสำนักกรรมการอาหารและยา (อย.) เรื่องคุณภาพมาตรฐานของสีผสมอาหารที่มีการระบุไว้ในประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 21 (พ.ศ. 2522) (จูรีรัตน์, 2537) พบว่า ผงสีจากสารสกัดเปลือกแก้วมังกรแดงทั้งที่ผสมแป้ง AOS และมอลโตเดคทรินซ์ไม่พบการปนเปื้อนของโลหะหนักเลย แต่ในสีผสมอาหารทางการค้า ได้แก่ สีแดง (Azorubine) และสีชมพู (Erythrosine) ยี่ห้อห้างเรียงตาง พบการปนเปื้อนของโลหะรวมมากกว่า 50 ppm (ดังตารางที่ 4.6) ซึ่งถือว่าเกินข้อกำหนดของ อย. แสดงว่า ผงสีจากสารสกัดเปลือกแก้วมังกรแดงทั้งที่ผสมแป้ง AOS และมอลโตเดคทรินซ์มีความปลอดภัยจากการปนเปื้อนสารโลหะหนัก อย่างไรก็ตามควรมีการทดสอบความปลอดภัยทางด้านจุลินทรีย์ร่วมด้วยเพื่อยืนยันความปลอดภัยในการบริโภคมากยิ่งขึ้น

4.7 การศึกษาคุณสมบัติการละลาย โครงสร้างระดับจุลภาค และการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของผงสีจากสารสกัดเปลือกแก้วมังกรแดง

ในการศึกษาคุณสมบัติในการละลายของแป้ง AOS และมอลโตเดคทรินซ์ในสภาวะทั้งก่อนและหลังกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย และผงสีจากเปลือกแก้วมังกรแดงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยในสภาวะต่าง ๆ ที่ใช้สารตัวกลางทั้งสอง (ตารางที่ 4.7) พบว่า ค่าการละลายของตัวอย่างมีการละลายเรียงลำดับจากมากที่สุดไปหาน้อยที่สุดดังนี้ คือ มอลโตเดคทรินซ์ในสภาวะก่อนการทำแห้งแบบพ่นฝอย แป้ง AOS ในสภาวะหลังการทำแห้งแบบพ่นฝอย และแป้ง AOS ในสภาวะหลังการทำแห้งแบบพ่นฝอย และผงสีจากเปลือกแก้วมังกรแดงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยในสภาวะต่าง ๆ ที่ใช้สารตัวกลางทั้งสอง ตามลำดับ

ทั้งนี้เมื่อพิจารณาผลของสารตัวกลางที่ต่างชนิดกัน พบว่าคุณสมบัติการละลายของมอลโตเดคทรินซ์ (ก่อนและหลังกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย) และตัวอย่างที่ใช้มอลโตเดคทรินซ์เป็นสารตัวกลางมีค่ามากกว่าแป้ง AOS (ก่อนและหลังกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย) และตัวอย่างที่ใช้แป้ง AOS เป็นสารตัวกลางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากสารตัวกลางทั้งสองมีลักษณะโครงสร้างที่แตกต่างกัน โดยมอลโตเดคทรินซ์เป็นโพลีแซคคาไรด์ (Polysaccharide) ที่ได้จากการย่อยโมเลกุลของสตาร์ช (Starch) บางส่วนให้เป็นสายสั้น ๆ ของน้ำตาลกลูโคส ส่วนแป้ง AOS เป็นสตาร์ชที่ถูกตัดแปลงโครงสร้างบางส่วนทำให้อาจมีผลต่อขนาดอนุภาคที่ได้ โดยมอลโตเดคทรินซ์จะมีขนาดเล็กทำให้การละลายดีกว่า AOS ที่มีขนาดใหญ่กว่า (ตารางที่ 4.8) ซึ่งสอดคล้อง

กับการศึกษาลักษณะของการเอนแคปซูลเส้นสารบีตาแคโรทีนด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยของ Loksuan (2007) พบว่าการใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปร (Modified tapioca starch) แป้งมันสำปะหลังดิบ (Native tapioca starch) และมอลโตเดคทรีนซ์เป็นสารตัวกลางส่งผลให้คุณสมบัติการละลายของผงบีตาแคโรทีนมีค่าแตกต่างกัน โดยการใช้สารตัวกลางเป็นมอลโตเดคทรีนซ์ทำให้มีคุณสมบัติการละลายมากที่สุด รองลงมาคือแป้งมันสำปะหลังดัดแปรและแป้งมันสำปะหลังดิบ ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้สารตัวกลางชนิดเดียวกัน พบว่าคุณสมบัติการละลายของผงสีจากเปลือกแก้วมังกรแดงที่ใช้สารตัวกลางเป็นแป้ง AOS และมอลโตเดคทรีนซ์ที่สภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่าง ๆ ในการศึกษาครั้งนี้ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากในการทดลองนี้ปัจจัยในสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอย เช่น อัตราการป้อน ขนาดของหยดตัวอย่าง และอุณหภูมิในระหว่างกระบวนการทำแห้ง ไม่มีผลต่อขนาดและการกระจายตัวของอนุภาค (Alamilla-Beltrán, Chanona-Pérez, Jiménez-Aparicio, and Gutiérrez-López, 2005; Handscomb and Kraft, 2010; Bustos-Garza, Yáñez-Fernández, and Barragán-Huerta, 2013) หรือเนื่องจากผงสีจากเปลือกแก้วมังกรแดงมีสารเมือกที่อยู่ในสารสกัดแก้วมังกรแดงซึ่งจัดเป็นสารโพลีแซคคาไรด์ สามารถละลายได้ในน้ำมีลักษณะเหนียวหนืดและทนความร้อนได้สูง (Iqbal, 2009) สารเมือกเหล่านี้เมื่อผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเป็นโครงสร้างร่างแห (Cross-link) ส่งผลให้ผงสีดังกล่าวมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นความชื้นต่ำลง และมีโครงสร้างแข็งแรงมากขึ้นจนมีลักษณะคล้ายแผ่นฟิล์มบาง ๆ ทำให้การดูดซับน้ำกลับ (Rehydration) ของตัวอย่างเกิดได้น้อยลง (Femeniaa, Garcia-Pascual, Simala, and Rosselló, 2003; Abadio et al., 2004; León-Martínez, Méndez-Lagunas, Rodríguez-Ramírez, 2010; Muñoz, Aguilera, Rodriguez-Turienzoa, Cobos, and Diaz, 2012) ทำให้คุณสมบัติการละลายของผงสีจากเปลือกแก้วมังกรแดงมีค่าน้อยกว่าสารตัวกลาง (มอลโตเดคทรีนซ์และแป้ง AOS) ในสภาวะก่อนและหลังการทำแห้งแบบพ่นฝอย เช่นเดียวกับการศึกษาผลของใยอาหารชนิดละลายน้ำ (Soluble fiber) ในผลของแคคตัส (*Opuntia ficus indica*) ต่อคุณสมบัติทางกายภาพเคมีในการผลิตผงแคคตัสด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยของ Ruiz-Gutiérrez et al. (2014) ที่พบว่าลักษณะโครงสร้างของใยอาหารชนิดละลายน้ำหลังการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยแปรค่าอุณหภูมิลมเข้าที่ 160-200 องศาเซลเซียส เกิดการจับตัวกันแน่นขึ้นทำให้คุณสมบัติการละลายของผงแคคตัสในแต่ละสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์โลหะหนักปนเปื้อนในสีผสมอาหารแก้วมังกรและสีผสมอาหารทางการค้า (สีแดงและสีชมพู)

ธาตุที่วิเคราะห์	ข้อกำหนดของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.) ^๑			ผลการทดลอง			
	Azorubine (CI Food Red 3)	Erythrosine (CI Food Red 14)	Beet red Power Colour	Azorubine (CI Food Red 3)	Erythrosine (CI Food Red 14)	Dragon Fruit mix AOS	Dragon Fruit mix MD
Lead (Pb)	≤ 2 mg/kg (ppm)	≤ 2 mg/kg (ppm)	≤10 mg/kg (ppm)	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Zinc (Zn)	ไม่ได้กำหนด	≤ 50 mg/kg (ppm)	ไม่ได้กำหนด	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Arsenic (As)	≤5 mg/kg (ppm)	≤5 mg/kg (ppm)	≤1 mg/kg (ppm)	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Mercury (Hg)	≤1 mg/kg (ppm)	≤1 mg/kg (ppm)	≤1 mg/kg (ppm)	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
All heavy metals except Lead (Pb)	≤20 mg/kg (ppm)	≤20 mg/kg (ppm)	≤20 mg/kg (ppm)	>50 mg/kg (ppm)	>50 mg/kg (ppm)	ไม่พบ	ไม่พบ

หมายเหตุ: ^๑ อ้างอิงมาจากจอร์เจีย (2537)

ตารางที่ 4.7 คุณสมบัติการละลาย (WSI) ของผงสีจากสารสกัดเปลือกแก้วมังกรในแต่ละสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอย, มอลโตเด็กทรีนซ์ และแป้ง AOS ทั้งก่อนและหลังการทำแห้งแบบพ่นฝอย

Treatment	MS:Extract (%w/w)	Inlet Temp (°C)	Feed flow rate (mL/min)	Solubility (%)	
				R-MD	R-AOS
1	8 (+1)	160 (+1)	6 (-1)	91.25 ± 0.33 ^{c, A}	84.98 ± 0.41 ^{cd, B}
2	8 (+1)	140 (-1)	6 (-1)	90.68 ± 0.46 ^{cd, A}	84.60 ± 0.22 ^{cd, B}
3	6 (-1)	160 (+1)	6 (-1)	89.89 ± 0.22 ^{cde, A}	86.37 ± 0.53 ^{c, B}
4	8 (+1)	160 (+1)	12 (+1)	90.72 ± 0.65 ^{cd, A}	86.42 ± 0.16 ^{c, B}
5	6 (-1)	140 (-1)	12 (+1)	89.43 ± 0.27 ^{cde, A}	86.29 ± 0.20 ^{c, B}
6	8 (+1)	140 (-1)	12 (+1)	89.94 ± 0.27 ^{cde, A}	83.23 ± 0.22 ^{d, B}
7	6 (-1)	160 (+1)	12 (+1)	88.72 ± 0.24 ^{de, A}	85.68 ± 0.71 ^{c, B}
8	6 (-1)	140 (-1)	6 (-1)	88.06 ± 0.50 ^{e, ns}	86.96 ± 1.13 ^{c, ns}
	Starch before spray drying			93.51 ± 0.14 ^{b, A}	92.22 ± 0.40 ^{a, B}
	Starch after spray drying			96.43 ± 0.48 ^{a, A}	93.87 ± 0.16 ^{a, B}
	Red colorant			57.55 ± 4.05 ^f	57.55 ± 4.05 ^e
	Pink colorant			90.05 ± 0.12 ^{cde}	90.05 ± 0.12 ^b

หมายเหตุ: อักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่ที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ภายในสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยเดียวกัน อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในแป้งชนิดเดียวกัน ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

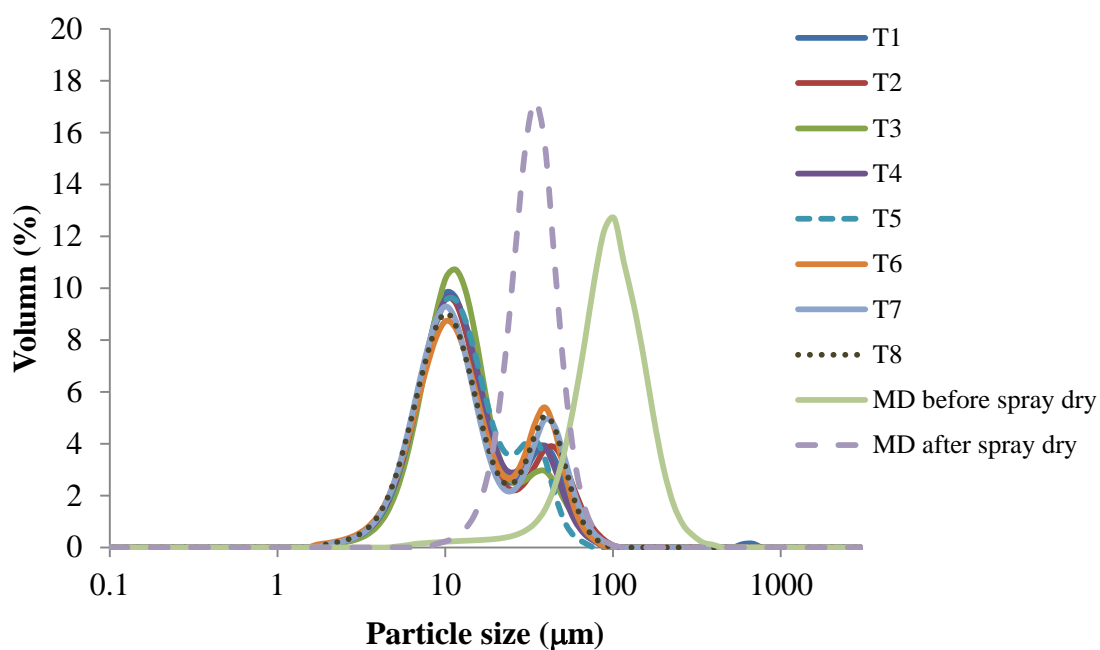
เมื่อทำการศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคของแป้ง AOS และมอลโตเด็กทรีนซ์ในสภาวะทั้งก่อนและหลังกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย และผงสีจากเปลือกแก้วมังกรแดงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยในสภาวะต่าง ๆ ที่ใช้สารตัวกลางทั้งสอง (ดังตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.11, 4.12) พบว่าขนาดอนุภาคเฉลี่ยของแป้ง AOS และมอลโตเด็กทรีนซ์ในสภาวะก่อนการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ สารตัวกลางทั้งสองในสภาวะหลังการทำแห้งแบบพ่นฝอย และผงสีจากเปลือกแก้วมังกรแดงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยในสภาวะต่าง ๆ ที่ใช้

สารตัวกลางทั้งสอง ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับคุณสมบัติการละลายโดยพบว่าถ้าขนาดอนุภาคมีขนาดเล็กกลง จะทำให้การละลายดีขึ้นเช่นในตัวอย่างของมอลโตเด็คทรีนซ์ในสภาวะหลังการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่พบว่าละลายได้ดีกว่ามอลโตเด็คทรีนซ์ในสภาวะก่อนการทำแห้งแบบพ่นฝอย ทั้งนี้จากการทดลองพบว่าคุณสมบัติการละลายของอนุภาค (ตารางที่ 4.7) สอดคล้องกับลักษณะการกระจายตัวและขนาดเฉลี่ยของอนุภาค (ตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.11, 4.12)

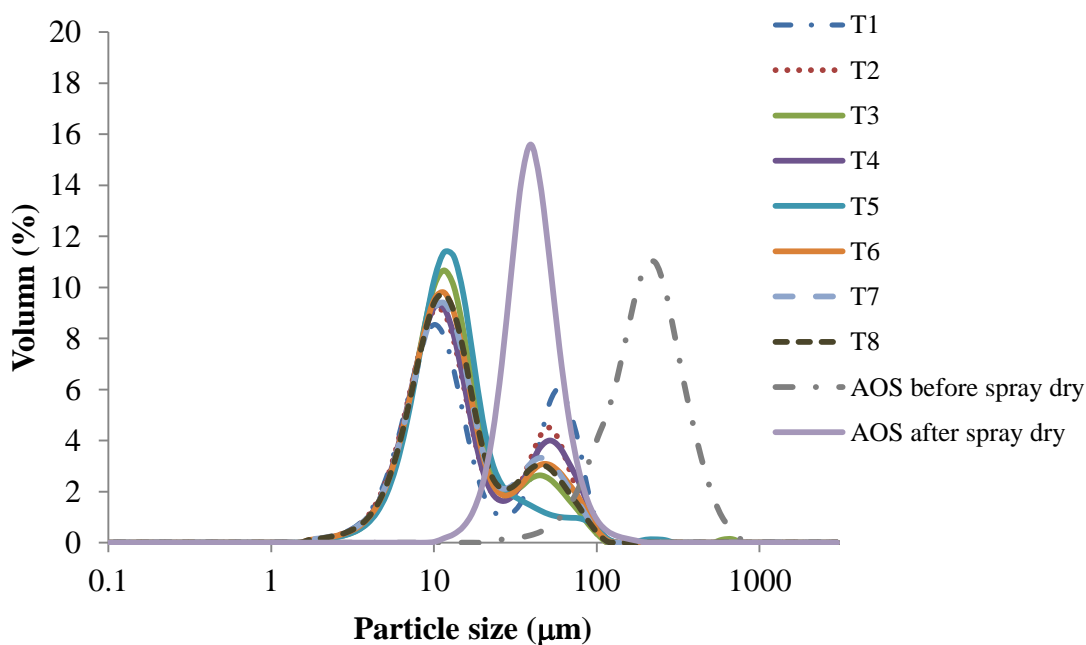
ตารางที่ 4.8 ค่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของผงสีจากสารสกัดเปลือกแก้วมังกรในแต่ละสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอย, มอลโตเด็คทรีนซ์ และแป้ง AOS ทั้งก่อนและหลังการทำแห้งแบบพ่นฝอย

Treatment	MS:Extract (%w/w)	Inlet Temp (°C)	Feed flow rate (mL/min)	Average diameter (mm)	
				R-MD	R-AOS
1	8 (+1)	160 (+1)	6 (-1)	11.28 ± 0.05 ^{c, B}	12.07 ± 0.07 ^{c, A}
2	8 (+1)	140 (-1)	6 (-1)	11.35 ± 0.04 ^{c, B}	11.75 ± 0.03 ^{c, A}
3	6 (-1)	160 (+1)	6 (-1)	11.36 ± 0.08 ^{c, B}	11.67 ± 0.06 ^{c, A}
4	8 (+1)	160 (+1)	12 (+1)	11.37 ± 0.08 ^{c, B}	11.87 ± 0.02 ^{c, A}
5	6 (-1)	140 (-1)	12 (+1)	11.39 ± 0.04 ^{c, B}	11.65 ± 0.07 ^{c, A}
6	8 (+1)	140 (-1)	12 (+1)	11.69 ± 0.05 ^{c, ns}	11.70 ± 0.06 ^{c, ns}
7	6 (-1)	160 (+1)	12 (+1)	11.26 ± 0.03 ^{c, B}	11.87 ± 0.09 ^{c, A}
8	6 (-1)	140 (-1)	6 (-1)	11.39 ± 0.02 ^{c, B}	11.76 ± 0.04 ^{c, A}
Starch before spray drying				90.33 ± 2.10 ^{a, B}	190.79 ± 03.46 ^{a, A}
Starch afer spray drying				31.41 ± 0.22 ^{b, B}	37.19 ± 0.31 ^{b, A}

หมายเหตุ: อักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่ที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ภายในสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยเดียวกัน
อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในแป้งชนิดเดียวกัน
ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



ภาพที่ 4.11 การกระจายตัวของอนุภาคตัวอย่างผงสีจากเปลือกแก้วมังกรแดงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยในสภาวะต่าง ๆ ที่ผสมมอลโตเดคตรินซ์ (T1-8) และมอลโตเดคตรินซ์ในสภาวะก่อนและหลังการทำแห้งแบบพ่นฝอย

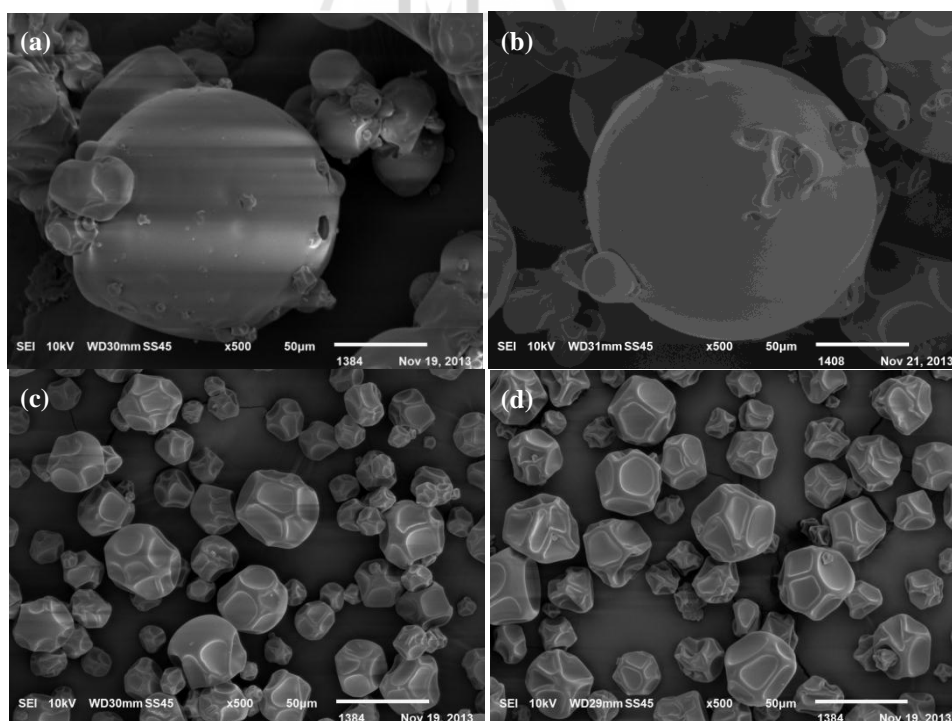


ภาพที่ 4.12 การกระจายตัวของอนุภาคตัวอย่างผงสีจากเปลือกแก้วมังกรแดงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยในสภาวะต่าง ๆ ที่ผสมแป้ง AOS (T1-8) และแป้ง AOS ในสภาวะก่อนและหลังการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ทั้งนี้เมื่อพิจารณาผลของสารตัวกลางที่ต่างชนิดกัน พบว่า ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของมอลโตเดคทรินซ์ (ก่อนและหลังกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย) และตัวอย่างที่ใช้มอลโตเดคทรินซ์เป็นสารตัวกลางมีค่าน้อยกว่าแป้ง AOS (ก่อนและหลังกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย) และตัวอย่างที่ใช้แป้ง AOS เป็นสารตัวกลางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ดังตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.11, 4.12) แสดงว่าชนิดของสารตัวกลางมีผลต่อขนาดของอนุภาคเฉลี่ยโดยมอลโตเดคทรินซ์มีขนาดโมเลกุลหรือความยาวของสายโซ่ (Chain length) ที่น้อยกว่าและมีค่าระดับการย่อยสลาย (Degree of hydrolysis) มากกว่าแป้ง AOS ทำให้ตัวอย่างที่ใช้มอลโตเดคทรินซ์เป็นตัวกลางมีค่าคุณสมบัติการละลายมากกว่าตัวอย่างที่ใช้ AOS เป็นตัวกลาง ผลที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาการผลิตแอนโทไซยานินผงจาก açai (*Euterpe oleracea* Mart.) ของ Tonon et al. (2010) ที่พบว่าตัวอย่างที่ใช้แป้งมันสำปะหลังดิบเป็นสารตัวกลางมีขนาดเฉลี่ยของอนุภาคสูงที่สุด รองลงมาคือ มอลโตเดคทรินซ์ 10DE กัมอะราบิก และมอลโตเดคทรินซ์ 20DE ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้สารตัวกลางชนิดเดียวกัน พบว่าขนาดอนุภาคเฉลี่ยของผงสีจากเปลือกแก้วมังกรแดงที่สภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่าง ๆ ทั้งที่ใช้มอลโตเดคทรินซ์และแป้ง AOS เป็นสารตัวกลางในการศึกษานี้ไม่มีความแตกต่างของขนาดอนุภาคเฉลี่ยในแต่ละสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอย ($p > 0.05$) (ดังตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.11, 4.12) แสดงว่าสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยและอัตราส่วนระหว่างสารสกัดและสารตัวกลางไม่มีผลต่อขนาดอนุภาค ซึ่งสอดคล้องกับผลของคุณสมบัติการละลาย โดยพบว่าถ้าขนาดอนุภาคมีขนาดเฉลี่ยใกล้เคียงกันจะทำให้การละลายไม่แตกต่างกันเช่นในตัวอย่างที่ใช้มอลโตเดคทรินซ์เป็นสารตัวกลางพบว่ามีความสามารถในการละลายไม่แตกต่างกันที่สภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่าง ๆ เช่นเดียวกับการศึกษาการผลิตผงสีจากองุ่นแดง (*Vitis labrusca*) ของ Souza, Thomazini, Balieiro, and Fávoro-Trindade (2013) ที่พบว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างกันแต่ใช้สารตัวกลางชนิดเดียวกันทำให้ขนาดอนุภาคเฉลี่ยและคุณสมบัติการละลายของผงสีจากองุ่นแดงไม่แตกต่างกัน และสอดคล้องกับการศึกษาการทำแห้งแบบพ่นฝอยสารเมือกจากผลแคคตัส (*Opuntia ficus indica*) ของ Medina-Torres et al. (2013) ที่พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้งแบบพ่นฝอยไม่มีผลต่อการกระจายของขนาดอนุภาคตัวอย่างแต่ขึ้นอยู่กับความหนืดของสารสกัดตัวอย่างก่อนการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยตัวอย่างที่ทำการโฮโมจิไนซ์ก่อนการทำแห้งแบบพ่นฝอยด้วยความเร็วที่สูงกว่าจะมีความหนืดที่น้อยกว่าส่งผลให้ขนาดของอนุภาคเล็กลง เนื่องจากการกระจายตัวของขนาดอนุภาคขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกระแสวิทยาที่แสดงผลเป็นค่าความหนืด อีกทั้งการใช้หัวเหวี่ยงแบบโรตารีทำให้เกิดขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่าการใช้หัวฉีดแบบใช้ความดัน รวมถึงอัตราการหมุนของหัวเหวี่ยงอีกด้วย (Walton and Mumford, 1999)

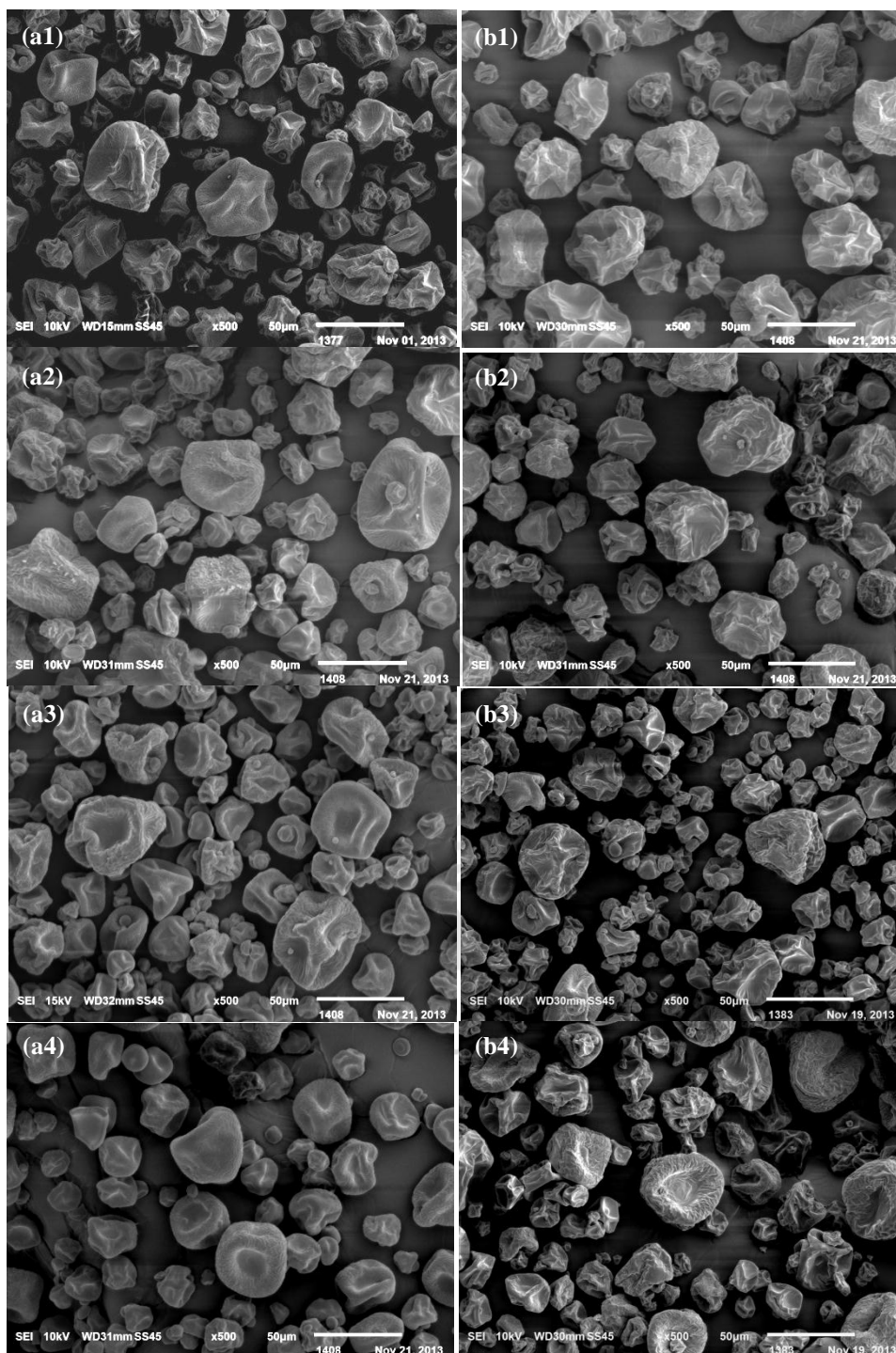
ส่วนผลของโครงสร้างระดับจุลภาคของแป้ง AOS และมอลโตเดคทรินซ์ในสภาวะทั้งก่อนและหลังกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย และโครงสร้างจุลภาคของผงสีจากเปลือกแก้วมังกรแดงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยในสภาวะต่าง ๆ ที่ใช้สารตัวกลางทั้งสอง (ดังภาพที่ 4.13 และภาพที่ 4.14) พบว่าลักษณะโครงสร้างของทั้งมอลโตเดคทรินซ์และแป้ง AOS ก่อนเข้าสู่กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย (ดังภาพที่ 4.13a, b) มีลักษณะเป็นเม็ดแป้งทรงกลมมีขนาดใหญ่ ผิวเรียบแต่เมื่อผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยแล้วลักษณะโครงสร้างของสารตัวกลางทั้งสองมีขนาดอนุภาคเล็กลง ผิวเรียบ มีผิวสัมผัสกับน้ำเพิ่มขึ้น และมีลักษณะทรงกลมที่มีเหลี่ยมมุมมากมาย (ดังภาพ 4.13c, d) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากอนุภาคแป้งเกิดการหดตัวเพราะเกิดการสูญเสียความชื้นสูงและการเย็นตัวอย่างรวดเร็วในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Saénz et al., 2009; Tonon, 2009; Osorio et al., 2010; Silva, Stringheta, Teófilo, and Oliveira, 2013) ส่วนผงสีจากเปลือกแก้วมังกรแดงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยในสภาวะต่าง ๆ ที่ใช้สารตัวกลางทั้งสองมีขนาดใกล้เคียงกับสารตัวกลางทั้งสองหลังการทำแห้งแบบพ่นฝอยแต่มีลักษณะผิวหน้าที่ขรุขระกว่า มีรอยหยักเป็นทรงกลมผิวหน้าเป็นหลุมที่มีเหลี่ยมมุมซึ่งผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีผลต่อโครงสร้างระดับจุลภาคของตัวอย่างซึ่งจะส่งผลต่อเนื่องไปถึงสมบัติในการละลายของตัวอย่างหลังจากการทำแห้งด้วย



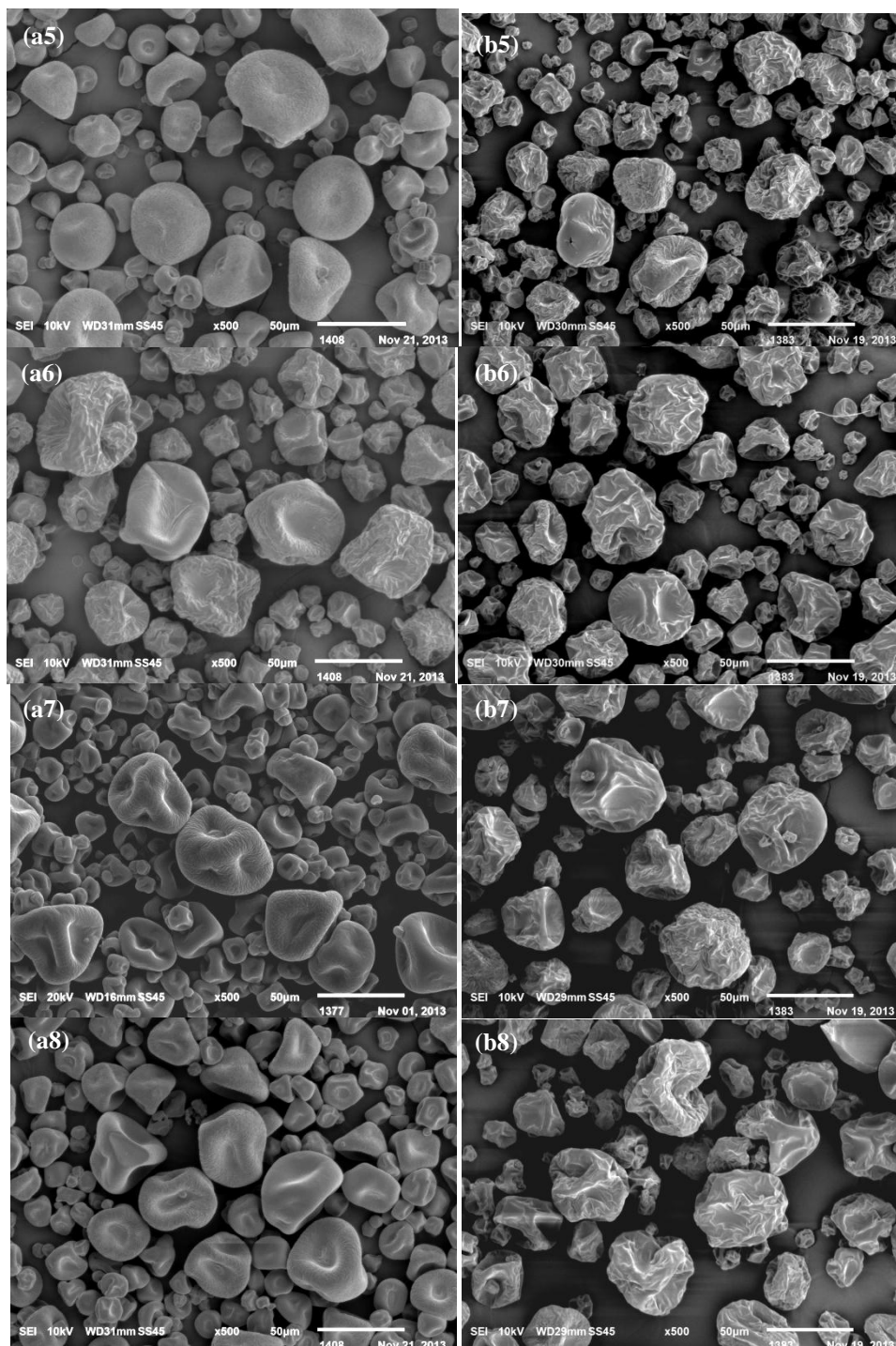
ภาพที่ 4.13 ภาพ SEM ของ (a) มอลโตเดคทรินซ์และ (b) แป้ง AOS ก่อนทำการอบแห้งแบบพ่นฝอย และ (c) มอลโตเดคทรินซ์และ (d) แป้ง AOS หลังทำการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ กำลังขยาย 500x

เมื่อพิจารณาผลของสารตัวกลางที่ต่างกันต่อลักษณะ โครงสร้างระดับจุลภาค พบว่าผงสีจากเปลือกแก้วมังกรแดงที่ใช้สารตัวกลางเป็นมอลโตเดคทรินจะมีลักษณะเป็นทรงกลมที่มีเหลี่ยมมุมน้อย มีรอยหยักน้อยกว่าและผิวหน้าเรียบมากกว่าแต่มีรูหรือร่องลึกกว่าผงสีจากเปลือกแก้วมังกรแดงที่ใช้สารตัวกลางเป็นแป้ง AOS (ภาพที่ 4.14) ซึ่งสอดคล้องกับผลของคุณสมบัติการละลายโดยถ้าอนุภาคมีลักษณะพื้นผิวเป็นอย่างผงสีที่ใช้มอลโตเดคทรินดังกล่าวจะทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่าส่งผลให้มีการละลายที่ดีขึ้นประกอบกับมอลโตเดคทรินซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลน้ำตาลในโครงสร้างน้อยกว่าแป้ง AOS ที่อาจมีผลต่อการขัดขวางการหดตัวในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยได้ เนื่องจากการเกิดลักษณะปรากฏของรูปร่างอนุภาคหลังการทำแห้งแบบพ่นฝอยเกิดจากกระบวนการ Agglomeration หรือการรวมตัวกันเป็นก้อนของตัวอย่างซึ่งเกิดจากแรง Electrostatic และ Van der Waals ในการเกิด Polyelectrolyte ของโมเลกุล (Walton and Mumford, 1999; Cervantes-Martínez et al., 2014) โดยการเกิด Agglomeration ของอนุภาคขึ้นอยู่กับคุณสมบัติ โครงสร้างทางเคมีกายภาพของสารตัวกลางและสารสกัดที่ทำการศึกษา อีกทั้งในการศึกษานี้สารเมือกในสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรยังมีผลต่อลักษณะปรากฏของรูปร่างอนุภาคโดยทำให้เพิ่มความต้านทานต่อการไหล (Flow resistance) (García-Cruz, Rodríguez-Ramírez, Méndez-Lagunas, and Medina-Torres, 2013; León-Martínez et al., 2010) ซึ่งจะทำให้อนุภาคที่ได้มีลักษณะเป็นทรงกลมมากขึ้นและจับตัวกันน้อยลง เช่นเดียวกับการศึกษาของ Loksawan (2007) ที่ทำผงสีบีตาแคโรทีนและพบว่าผงตัวอย่างที่ผสมมอลโตเดคทรินจะมีลักษณะผิวเรียบและทรงกลมมากกว่าตัวอย่างที่ผสมแป้งมันสำปะหลังธรรมดาและแป้งมันสำปะหลังดัดแปลง และการศึกษาของ Zhang, Ping and Xiao (2000) พบว่าชนิดของแป้งมีผลต่อลักษณะรูปร่างและลักษณะความเรียบของผิวหน้าอนุภาคในการไมโครแคปซูล

ทั้งนี้เมื่อพิจารณาสถานะการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้สารตัวกลางชนิดเดียวกัน พบว่าผงสีจากเปลือกแก้วมังกรแดงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยในสถานะต่าง ๆ มีลักษณะการกระจายตัวขนาดของอนุภาคและมีลักษณะ โครงสร้างไม่แตกต่างกัน (ภาพที่ 4.14) โดยอนุภาคที่ได้หลังการทำแห้งมีลักษณะผิวหน้าที่ขรุขระ เป็นทรงกลมผิวหน้าเป็นหลุมที่มีเหลี่ยมมุมเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการทดลองนี้ปัจจัยในสถานะการทำแห้งแบบพ่นฝอย เช่น อัตราการป้อน ขนาดของหยดตัวอย่าง และอุณหภูมิในระหว่างกระบวนการทำแห้ง ไม่มีผลต่อขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

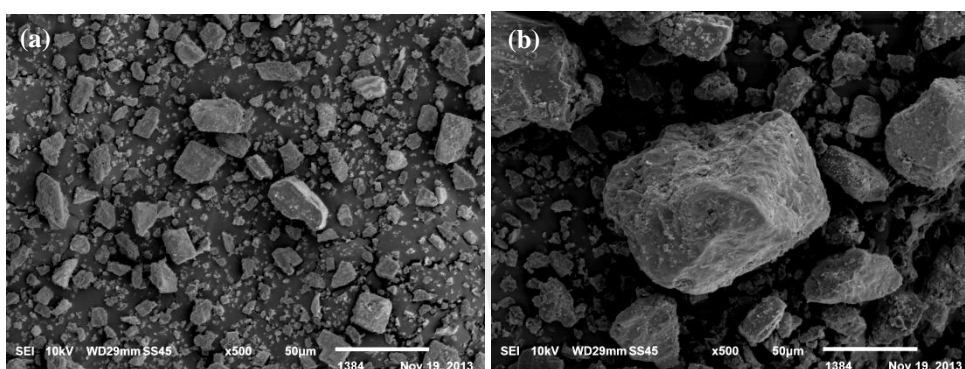


ภาพที่ 4.14 ภาพ SEM ของผงสีจากเปลือกแก้วมังกรแดงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยในสถานะต่าง ๆ ที่ผสม (a1-8) โมลโตเดคทรินซ์และ (b1-8) แป้ง AOS ที่กำลังขยาย 500x



ภาพที่ 4.14 ภาพ SEM ของผงสีจากเปลือกแก้วมังกรแดงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยในสถานะต่าง ๆ ที่ผสม (a1-8) โมลโตเดคตรินซ์และ (b1-8) แป้ง AOS ที่กำลังขยาย 500x (ต่อ)

อย่างไรก็ตามผลของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยในการผลิตผงสีที่มีต่อคุณสมบัติการละลาย ลักษณะโครงสร้างระดับจุลภาคและการกระจายตัวของอนุภาคในอาหารสามารถพบได้ในการศึกษาของ Abadio, Domingues, Borges, and Oliveira (2004), Cano-Chauca et al. (2005), Nijdam and Langrish (2006), Goula and Adamopoulos (2008), Tonon, Brabet, and Hubinger (2008), Phoungchandang and Sertwasana (2010), Nadeem, Torun, and Ozdemir (2011), Fazaeli, Emam-Djomeh, Ashtari, and Omid (2012), Caliskan and Dirim (2013), Janiszewska and Włodarczyk (2013) และ Mishra et al. (2013)



ภาพที่ 4.15 ภาพ SEM ของผงสีผสมอาหารทางการค้า (a) สีแดงและ (b) สีชมพู ที่กำลังขยาย 500x

การศึกษาคูณสมบัติการละลายระหว่างสีผสมอาหารทางการค้าทั้งสีแดงและสีชมพู เมื่อเปรียบเทียบกับผงสีจากเปลือกแก้วมังกรแดงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยในสภาวะต่าง ๆ ที่ผสมกับแป้ง AOS และมอลโตเดคทรินรวมทั้งแป้ง AOS และมอลโตเดคทรินในสภาวะทั้งก่อนและหลังกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่าคุณสมบัติการละลายของสีผสมอาหารสีแดงมีค่าน้อยที่สุดแสดงว่าละลายยากที่สุด แต่คุณสมบัติการละลายของสีผสมอาหารสีชมพูมีค่ามากกว่าผงสีจากเปลือกแก้วมังกรแดงที่ใช้แป้ง AOS ($p \leq 0.05$) แต่ไม่แตกต่างกับผงสีจากเปลือกแก้วมังกรแดงที่ใช้มอลโตเดคทริน ($p > 0.05$) (ดังตารางที่ 4.7) และเมื่อสังเกตลักษณะของสีผสมอาหารทางการค้าทั้งสีแดงและสีชมพู (ดังภาพที่ 4.13) พบว่าสีผสมอาหารทางการค้าทั้งสองมีลักษณะเป็นผลึกทรงสี่เหลี่ยมโดยสีผสมอาหารทางการค้าสีแดงมีลักษณะผลึกที่ใหญ่กว่าสีผสมอาหารทางการค้าสีชมพู

4.8 ผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์

หลังจากการสุ่มตัวอย่างผงสีจากเปลือกแก้วมังกรแดงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยเทียบกับแป้ง AOS และมอลโตเดคทรินก่อนกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อทดสอบการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์โดยเทียบกับข้อกำหนดของสำนักกรรมการอาหารและยา (อย.) เรื่อง

คุณภาพมาตรฐานของสปีสมอาหารที่มีการระบุไว้ในประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 21 (พ.ศ. 2522) (จूरรัตน์, 2537) เพื่อทดสอบความปลอดภัยทางด้านจุลินทรีย์ พบว่า ตัวอย่างผงสีจากเปลือกแก้วมังกรแดงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์จำพวกเชื้อแบคทีเรีย (ตารางที่ 4.9) แต่มีจำนวนน้อยกว่าข้อกำหนดของ อย. นอกจากนี้แป้ง AOS และมอลโตเดคทรินซ์ไม่พบการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ เช่นเดียวกับตัวอย่างผงสีจากเปลือกแก้วมังกรแดงรวมทั้งแป้ง AOS และมอลโตเดคทรินซ์ ซึ่งตรงตามข้อกำหนดของ อย. แสดงว่าทั้งตัวอย่างผงสีจากเปลือกแก้วมังกรแดงรวมทั้งแป้ง AOS และมอลโตเดคทรินซ์มีความปลอดภัยในคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์

ตารางที่ 4.9 ผลการตรวจการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์

	อย.	R-MD	R-AOS	MD	AOS
Total plate count (CFU/g)	<1,000/g	981	864	0	0
Coliform (CFU/g)	-	0	0	0	0
E.coli (CFU/g)	ไม่พบ/g	0	0	0	0

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารแอนโทไซยานินและสารบีตาไซยานินจากเปลือกแก้วมังกรทั้งสองพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์เนื้อสีแดง (*Hylocercus polyrhizus*) และเนื้อสีขาว (*Hylocereus undatus*) พบว่าเปลือกแก้วมังกรทั้งสองพันธุ์ไม่มีปริมาณสารแอนโทไซยานิน แต่เปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดงมีปริมาณสารบีตาไซยานินมากกว่าเปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีขาว โดยสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารบีตาไซยานินจากเปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อผลสีแดงที่ให้ปริมาณสารบีตาไซยานินมากที่สุด คือ สภาวะที่สกัดด้วยน้ำปราศจากไอออนที่ปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เป็น 5.5 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการสกัดเท่ากับ 20 นาที และเมื่อศึกษาคุณสมบัติทางชีวภาพต่อความเป็นสารต้านการก่อกลายพันธุ์ (Antimutagenicity assay: Ames) พบว่าสารสกัดนี้มีฤทธิ์ต้านการก่อกลายพันธุ์ของ 2 Amino-anthracene ของเชื้อแบคทีเรีย *Salmonella typhimurium* สายพันธุ์ TA98 เท่ากับร้อยละ 47.4 ที่ค่าปริมาณฟีนอลิกสูงสุดเท่ากับ 0.522 mg GAE/ml แสดงว่ามีฤทธิ์ในการยับยั้งการก่อการกลายพันธุ์ได้ปานกลาง

การผลิตสีผสมอาหารจากสารสกัดบีตาไซยานินจากเปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อผลสีแดงโดยใช้การอบแห้งแบบพ่นฝอย รวมทั้งการศึกษาคุณสมบัติทางชีวภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์สีผสมอาหารที่ได้ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมของการผลิตผงสีที่ให้ปริมาณสารบีตาไซยานินมากที่สุด คือ การใช้สารตัวกลางเป็นแป้ง AOS หรือมอลโตเดคตรินส์ ร้อยละ 6 (w/w) อัตราการป้อนตัวอย่างเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยเท่ากับ 6 มิลลิลิตรต่อนาที แต่อุณหภูมิลมเข้าสำหรับแป้ง AOS และมอลโตเดคตรินส์ เท่ากับ 140 และ 160 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

การทดสอบคุณสมบัติในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยผงสีจากเปลือกแก้วมังกรแดงที่ใช้สารตัวกลางเป็นแป้ง AOS หรือมอลโตเดคตรินส์มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันที่วิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH assay, วิธี ABTS assay และวิธี FRAP assay ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

เมื่อศึกษาลักษณะของอนุภาค พบว่าผงสีจากเปลือกแก้วมังกรที่ใช้สารตัวกลางเป็นมอลโตเดคตรินส์มีลักษณะอนุภาคเป็นทรงกลมมากกว่าและผิวหน้าเรียบกว่า และมีรูหรือร่องเล็กกว่าผงสีจากเปลือกแก้วมังกรที่ใช้สารตัวกลางเป็นแป้ง AOS อีกทั้งผงสีจากเปลือกแก้วมังกรที่ใช้สารตัวกลางเป็นมอลโตเดคตรินส์ยังมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยน้อยกว่าผงสีจากเปลือกแก้วมังกรที่ใช้สารตัวกลางเป็นแป้ง AOS แต่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคใกล้เคียงกัน ทำให้คุณสมบัติในการ

ละลายของผงสีจากเปลือกแก้วมังกรที่ใช้สารตัวกลางเป็นมอลโตเดคทรินส์มีค่ามากกว่าผงสีจากเปลือกแก้วมังกรที่ใช้สารตัวกลางเป็นแป้ง AOS อย่างไรก็ตามที่สภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่างๆ ที่ใช้สารตัวกลางชนิดเดียวกันพบว่าไม่มีผลต่อคุณสมบัติในการละลายของผงสี นอกจากนี้ผงสีจากเปลือกแก้วมังกรทั้งที่ใช้สารตัวกลางเป็นแป้ง AOS และมอลโตเดคทรินส์มีความปลอดภัยทางด้านจุลินทรีย์ และไม่พบสารปนเปื้อนประเภทโลหะหนัก

จากการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าสารบีตาไซยานินในผงสีแดงจากเปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อผลสีแดงมีความสามารถในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน และน่าจะสามารถนำมาผลิตเป็นสีผสมอาหารในผลิตภัณฑ์อาหารต่อไปได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การผลิตผงสีจากเปลือกแก้วมังกร อาจใช้วิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying) เพื่อให้ได้ผงสีจากเปลือกแก้วมังกรที่มีคุณภาพที่ดีขึ้นแต่อย่างไรก็ตามควรคำนึงถึงต้นทุนการผลิตร่วมด้วย

5.2.2 ควรมีการวิจัยต่อยอดในเรื่องฤทธิ์ของผงสีหรือสารสกัดดังกล่าวต่อการต้านมะเร็ง (Anticancer test)

5.2.3 การหาสภาวะในการผลิตสีผสมอาหารจากเปลือกแก้วมังกรนี้เป็นเพียงการวิจัยในระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการขยายการผลิต การศึกษาการยอมรับในผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค (Consumer test) การทดสอบอายุการเก็บรักษาโดยดูปัจจัยทางด้านอุณหภูมิ ความชื้น สัมพันธ์ที่มีผลต่อการเสถียรภาพของสารบีตาไซยานิน การคำนวณราคาต้นทุน และการทดสอบคุณภาพทางด้านความปลอดภัยอาจต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมตามข้อกำหนดของกฎหมายอาหารในเรื่องวัตถุเจือปนอาหาร ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 281) พ.ศ. 2547

5.2.4 งานวิจัยนี้อาจนำไปศึกษาต่อทางด้าน การนำไปใช้ประโยชน์กับผลิตภัณฑ์อาหารที่มีรสเปรี้ยวและเก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำ อาทิเช่น นมเปรี้ยว โยเกิร์ต ไอศกรีม น้ำผลไม้ ฯลฯ เป็นต้น



รายการอ้างอิง

รายการอ้างอิง

- กรรณิการ์ สอนโยธา และปราณี อ่านเปรื่อง. (2552). สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและความคงตัวของเบต้าไซยานินจากเปลือกและเนื้อแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 40(1): 15-18.
- กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. (2546). เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กองบรรณาธิการหนังสือพิมพ์ผู้จัดการ. (2550). 25 มิถุนายน 2550 [ออนไลน์].ได้จาก: <http://blog.spu.ac.th/>
- แก้ว กังสดาลอำไพ. (2537). การทดสอบเอมส์ [ออนไลน์]. ได้จาก:<http://th.wikipedia.org/wiki/การทดสอบเอมส์>.
- จุรีรัตน์ ห่อเกียรติ. (2537). การใช้สีผสมอาหารอย่างปลอดภัย. กรุงเทพฯ: ห้องสมุดสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา.
- ฉันทรา พูนศิริ. (ม.ป.ป.). เทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชัน. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. หน้า 57-60.
- นิตดา หงส์วิวัฒน์ และทวีทอง หงส์วิวัฒน์. (2550). แก้วมังกรในผลไม้ 111 ชนิด: คุณค่าอาหารและการกิน. กรุงเทพฯ:สำนักพิมพ์แสงแดด. หน้า 37-39.
- นิชิยา รัตนาปนนท์. (2549). เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โอ. เอส. พรีนติ้ง เฮ้าส์.
- วิภาวี ขำวิจิตร และวารินทร์ ยางเค็ม. (2550). การสกัดสีจากเปลือกแก้วมังกรและการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรสโคปี.การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17.
- วิลัย รัตนาทอง. (2546). เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร.ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตรคณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. พิมพ์ครั้งที่ 3.
- สถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล. (2555). การทดสอบฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์และฤทธิ์ต้านการก่อกลายพันธุ์ด้วยวิธี Ames' test. มหาวิทยาลัยมหิดล. (เอกสารที่ไม่ได้พิมพ์เผยแพร่)
- สมชัยยา สุริฉินท์. (2540). Ames test [ออนไลน์].ได้จาก: http://www.gpo.or.th/rdi/html/ames_test.html
- สมบัติ ขอทวีวัฒนา. (2529). กรรมวิธีการอบแห้ง. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 287 หน้า.

- สุเมธ บุญเกิด. (2552). การทำงานของ **Spray Dryer** เบื้องต้น. วิทยุอุตสาหกรรมเกษตรและผลิตภัณฑ์
 ธรรมชาติ. [ออนไลน์]. ได้จาก: <http://www.gpo.or.th/rdi/html/spray.html>
- สุทธิศักดิ์ บุญยาคูมานนท์. (2553). **ประวัติต้นแก้วมังกร**. [ออนไลน์]. ได้จาก: <http://www.kennydragonfruit.com/aboutdragonfruit.html#dragonprofile>.
- สุรพงษ์ โกสิยะจินดา. (2545). **แก้วมังกรพืชเศรษฐกิจผลไม้สุขภาพ**. วารสารเคหการเกษตร.
- ศิวาพร ศิวเวช. (2529). **วัตถุเจือปนอาหาร 2**. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารคณะ
 อุตสาหกรรมเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 182 หน้า.
- ศูนย์วิทยบริการ สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. (2544). **สีผสมอาหารจากธรรมชาติ**.
 [ออนไลน์]. ได้จาก: http://elib.fda.moph.go.th/library/default.asp?page2=subdetail&id_L1=27&id_L2=15565&id_L3=451.
- อุษณีย์ วินิจเขตคำนวณ, รวิวรรณ พัชานาโชคชัย, อรัญญา มโนสร้อย และจิระเดช มโนสร้อย.
 (2544). ฤทธิ์ก่อการกลายและฤทธิ์ต้านการกลายของสารสกัดสมุนไพรนนาง, สันโศก
 และหญ้าหวานในการทดสอบเอมส์. **เชียงใหม่วารสาร** 40(3): 147-153.
- AOAC. (1990). **Official method of analysis of the association of official analytical chemists**.
 Washington. USA: DC.
- Abadio, F. D. B., Domingues, A. M., Borges, S. V., and Oliveira, V. M., (2004). Physical
 properties of powdered pineapple (*Ananas comosus*) juice: effect of maltodextrin
 concentration and atomization speed. **Journal of Food Engineering**. 64: 285-287.
- Ahmed, M., Akter, M. S., Lee, J.-C., and Eun, J.-C. (2010). Encapsulation by spray drying of
 bioactive components, physicochemical and morphological properties from purple sweet
 potato. **Food Science and Technology**. 43: 1307-1312.
- Alamilla-Beltrán, L., Chanona-Pérez, J. J., Jiménez-Aparicio, A. R., and Gutiérrez-López, G. F.
 (2005). Description of morphological changes of particles along spray drying. **Journal of
 Food Engineering**. 67: 179-184.
- Apeldoorn von, M. E., Speijers, G. J. A., Baines, J. and Sinhaseni, P. (2000). **Acetylated oxidized
 starch (WHO Food Additives Series 48)**. [On-line]. Available: [http://www.inchem.org/
 documents/jecfa/jecmono/v48je09.htm#1.0](http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v48je09.htm#1.0).
- Ashby, J. (1986). The prospect for a simplified internationally harmonized approach to the
 detection of possible human carcinogens and mutagens. **Mutagenesis**. 1:3-16.

- Azeredo, H. M. C., Santos, A. N., Souza, A. C. R., Mendes, K. C. B., and Andrade, M. I. R. (2007). Betacyanin stability during processing and storage of a microencapsulated red beetroot extract. **American Journal of Food Technology**. 2(4): 307-312.
- Azeredo, H. M. C. (2009). Betalains: properties, sources, applications, and stability – a review. **International Journal of Food Science and Technology**. 44: 2365-2376.
- Bae, S., and Suh, H. (2007). Antioxidant activities of five different mulberry cultivars in Korea. **LWT-Food Science and Technology**. 40: 955-962.
- Bellec, F. L., Vaillant, F., and Imbert, E. (2006). Pitahaya (*Hylocereus* spp.) a new fruit crop, a market with a future. **Fruits**. 61:237-250.
- Brockington, S. F., Walker, R. H., Glover, B. J., Soltis, P. S., and Soltis, D. E. (2011). Complex pigment evolution in the Caryophyllales. **New Phytologist**. 190(4): 854-864.
- Bustos-Garza, C., Yáñez-Fernández, J., and Barragán-Huerta, B. E. (2013). Thermal and pH stability of spray-dried encapsulated astaxanthin oleoresin from *Haematococcus pluvialis* using several encapsulation wall materials. **Food Research International**. 54: 641-649.
- Cai, Y. Z., and Corke, H. (2000). Production and properties of spray-dried *Amaranthus* betacyanin pigments. **Journal of Food Science**. 65: 1248-1252.
- Cai, Y. Z., Sun, M., and Corke, H. (2001). Identification and distribution of sample and acetylated betacyanins in the Amaranthaceae. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 49: 1971-1978.
- Cai, Y. Z., Sun, M., and Corke, H. (2003). Antioxidant activity of betalains from plants of the *Amaranthaceae*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 51: 2288-2294.
- Caliskan, G., and Dirim, S. N. (2013). The effects of the different drying conditions and the amounts of maltodextrin addition during spray drying of sumac extract. **Food and Bioprocess Technology**. 91(4): 539-548.
- Cano-Chauca, M., Stringheta, P. C., Ramos, A. M., and Cal-Vidal, J. (2005). Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**. 6: 420-428.
- Castaneda-Ovando, A., Pacheco-Hernandez, M. D. L., Paez-Hernandez, M. E., Rodriguez, J. A., and Galan-Vidal, C. A. (2009). Chemical studies of anthocyanins: A review. **Food Chemistry** 113:859-871.

- Castellar, M. R., Obón, J. M., Alacid, M., and Fernández-López, J. A. (2003). Color properties and stability of betacyanins from *Opuntis* fruits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 51: 2772-2776.
- Castellar, M.R., Obón, J.M.,andFernández-López, J.A. (2006). The isolation and properties of a concentrated red-purple betacyanin food colourant from *Opuntia stricta* fruits. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 86: 122-128.
- Cervantes-Martínez, C. V., Medina-Torres, L., González-Laredo, R. F., Calderas, F., Sánchez-Olivares, G., Herrera-Valencia, E. E., Gallegos Infante, J. A., Rocha-Guzman, N. E., and Rodríguez-Ramírez, J. (2014). Study of spray drying of the Aloe vera mucilage (*Aloe verabarbadensis* Miller) as a function of its rheological properties. **Food Science and Technology**. 55: 426-435.
- Chaovanalikit, A., Techacheewapong, P., and Tungcharernkit, P. (2010). Stability of betacyanin form pitaya peel. **The Journal of Agricultural Science**. 41:409-412.
- Chen, X. D., and Patel, K. C. (2008). Manufacturing better quality foodpowders from spray drying and subsequent treatments. **Drying Technology**. 26: 1313-1318.
- Chik, C. T., Abdullah, A., Abdullah, N., and Mustapha, W. A. W. (2011). The effect of maltodextrin and additive added towards pitaya juice powder total phenolic content and antioxidant activity. **International Conference on Food Engineering and Biotechnology**. 9:224-228.
- Chinmueang, W., Kikobchai, P., Suwannatee, H., and Suntrnwat, O. (2008).Betain from two species of dragon fruits (*Hylocereus undatus* and *Hylocereus polyrhizus*). **The Journal of Agricultural Science**. 39(3):182-186.
- Comunian, T. A., Monterrey-Quintero, E. S., Thomazini, M., Balieiro J. C. C., Piccone, P., Pittia, P., and Favaro-Trindade, C. S. (2011).Assessment of production efficiency, physicochemical properties and storage stability of spray-dried chlorophyllide, a natural food colourant, using gum Arabic, maltodextrin and soy protein isolate-based carrier systems. **International Journal of Food Science and Technology**. 46: 1259-1265.
- Cuvelier, S. P., Esterbauer, H., and Berset, C. (1992). Comparison of the antioxidative activity of some acid-phenols: structure-activity relationship. **Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry**. 56: 324-325.

- Delgado-Vargas, F., and Paredes-Lopez, O. (2003). **Natural Colorants for Food and Nutraceutical Uses**. CRC Press, Boca Raton: New York.
- Einbond, L. S., Reynertson, K. A., Luo, X. D., Basile, M. J., and Kennelly, E. J. (2003). Anthocyanin antioxidants from edible fruits. **Food Chemistry**. 84: 23-28.
- Ersus, S., and Yurdagel, U. (2007). Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucuscarota* L.) by spray drier. **Journal of Food Engineering**. 80: 805-812.
- Esquivel, P., Stintzing, F. C., and Carle, R. (2007). Pigment pattern and expression of colour in fruits from different *Hylocereus* sp. genotypes. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**. 8: 451-457.
- Fang, Y., Selomulya, C., and Chen, X.D. (2008). On measurement of food powder reconstitution properties. **Drying Technology**. 26: 3-14.
- Fazaeli, M., Emam-Djomeh, Z., Ashtari, K. A., and Omid, M. (2012). Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. **Food and Bioproducts Processing**. 90: 667-675.
- Femeniaa, A., Garcí'a-Pascual, P., Simala, S., and Rosselló, C. (2003). Effects of heat treatment and dehydration on bioactive polysaccharide acemannan and cell wall polymers from *Aloe barbadensis* Miller. **Carbohydrate Polymers**. 51: 397-405.
- Fukumoto, L. R., and Mazza, G. (2000). Assessing antioxidant and prooxidant activities of phenolic compounds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 48: 3597-3604.
- Gao, L., and Mazza, G. (1996). Extraction of anthocyanin pigments from purple sunflower hulls. **Journal of Food Science**. 61: 600-603.
- García Barrera, F. A., Reynoso, C. R., and González de Mejía, E. (1998). Estabilidad de las betalaínas extraídas del garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*). **Food Science and Technology International**. 4: 115-120.
- García-Cruz, E. E., Rodríguez-Ramírez, J., Méndez-Lagunas, L. L., and Medina-Torres, L. (2013). Rheological and physical properties of spray-dried mucilage obtained from *Hylocereus undatus* cladodes. **Carbohydrate Polymers**. 91: 394-402.
- Gasiorowska, K., Szyba, K., Brokos, B., Kolaczyńska, B., Jankowiak-Włodarczyk, M., and Oszmiański, J. (1997). Antimutagenic activity of anthocyanins isolated from *Aroniamelanocarpa* fruits. **Cancer Letters**. 119: 37-46.

- Goula, A. M., and Adamopoulos, K. G. (2008). Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air II Powder properties. **Drying Technology**. 26(6): 726-737.
- Guisti, M. M., and Wrolstad, R. E. (2003). Acylated anthocyanins from edible sources and their applications in food systems. **Journal of Biochemical Engineering**. 14: 217-225.
- Han, X. H., Gao, Z. J., and Xiao, X. G. (2009). Enzymes and genes involved in the betalain biosynthesis in higher plants. **African Journal of Biotechnology**. 8(24):6735-6744.
- Handscomb, C. S., and Kraft, M. (2010). Simulating the structural evolution of droplets following shell formation. **Chemical Engineering Science**. 65: 713-725.
- Harivaindaran, K. V., Rebecca, O. P., and Chandran S. (2008). Study of optimal temperature, pH and stability of dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) peel for use as potential natural colorant. **Pakistan Journal of Biological Sciences**. 11(18): 2259-2263.
- Harjo, B., Wibowo, C. and NG, K. M. (2004). Development of natural product manufacturing processes. **Institution of Chemical Engineers**. 82(8):1010-1028.
- Hendry, B.S. (1996). Natural Food Colours. In G.A.F. Hendry and J.D. Houghton (eds.). **Natural Food Colorants**. (pp. 40-117). Blackie; Glasgow.
- Herbach, K.M., Stintzing, F.C., and Carle, R. (2004). Thermal degradation of betacyanins in juices from purple pitaya (*Hylocereus polyrhizus* [Weber] Britton & Rose) monitored by high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometric analyses. **European Food Research and Technology**. 219:377-385.
- Herbach, K. M., Stintzing, F. C., and Carle, R. (2006a). Betalain Stability and Degradation – Structural and Chromatic Aspects. **Journal of Food Science**. 71(4): 41-50.
- Herbach, K. M., Stintzing, F. C., and Carle, R. (2006b). Stability and Color Changes of Thermally Treated Betanin, Phylloactin, and Hylocerinin Solutions. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 54: 390-398.
- Herbach, K. M., Rohe, M., Stintzing, F. C., and Carle, R. (2006c). Structural and chromatic stability of purple pitaya (*Hylocereus polyrhizus* [Weber] Britton & Rose) betacyanins as affected by the juice matrix and selected additives. **Food Research International**. 39:667-677.

- Horikawa, K., Mohri, T., Tanaka, Y., and Tokiwa, H. (1994). Moderate inhibition of carcinogenicity of benzo[a]pyrene, 1,6-dinitropyrene and 3,9-dinitrofluoranthene by Chinese medicinal herbs. **Mutagenesis**. 9: 523-526.
- Hollman, P. C. H. (2001). Evidence for health benefits of plant phenols: local or systemic effects. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 81:842-852.
- Huang, S.A., and von Elbe, J.H. (1987). Effect of pH on the Degradation and Regeneration of Betanine. **Journal of Food Science**. 52: 1689-1693.
- Iqbal, A. (2009). **Presence of oligosaccharides in seed-coat mucilage of *Lepidium sativum*: role in allelopathy**. Ph.D. Dissertation, The University of Edinburgh, UK.
- Ishidate, M., Sofuni, T., Yoshikawa, K., Hayashi, M., Nohmi, T., Sawada, M., and Matsuoka, A. (1984). Primary mutagenicity screening of food additives currently used in Japan. **Food and Chemical Toxicology**. 22: 623-639.
- Jackman, R. L., and Smith, J. L. (1996). Anthocyanins and betalains. In G.A.F. Hendry and J. D. Houghton (eds.). **Natural Food Colorant**. UK: Chapman and Hall.
- Jackson, R.S. (2008). **Wine science: Principle and applications**. 3rd ed. Elsevier-Academic Press:Oxford, UK. pp. 287-295.
- Jackson, R.S. (2009). **Wine tasting: A professional handbook**. 2nd ed. Elsevier-Academic Press: Oxford, UK. pp. 27-40.
- Janiszewska, E., and Włodarczyk, J. (2013). Influence of spray drying conditions on beetroot pigments retention after microencapsulation process. **Acta Agrophysica**. 20(2): 343-356
- Janiszewska, E. (2014). Microencapsulated beetroot juice as a potential source of betalain. **Powder Technology**. 264: 190-196.
- Jayaprakasha, G. K., Negi, P. S., Jena, B. S., and Jagan Mohan Rao, L. (2007). Antioxidant and antimutagenic activities of *Cinnamomum zeylanicum* fruit extracts. **Journal of Food Composition and Analysis**. 20: 330–336.
- Jimenez, M., Azuara, E., Vernon-Carter, J., Luna-Solano, G., and Beristain, C. I. (2011). Antioxidant activity of microcapsules of *Rubus sp.* juice using spray drying. **11th ICEF.Food Process Engineering in a Changing World**.3: 1-4.
- Kanner, K., Harel, S., and Granit, R. (2001). Betalains -A new class of dietary cationized antioxidants. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 49: 5178-5185.

- Kaur, S., Arora, S., Kaur, K., and Kumar, S. (2002). The *in vitro* antimutagenicity activity of Triphala-an Indian herbal drug. **Food and Chemical Toxicology**. 40: 527-534.
- Kha, T. C., Nguyen, M. H., and Roach, P. D. (2010). Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. **Journal of Food Engineering**. 98: 385-392.
- Kim, D. O., Lee, K. W., Lee, H. J., and Lee, C. Y. (2002). Vitamin C Equivalent Antioxidant Capacity (VCEAC) of phenolic phytochemicals. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 50(13):3713-3717.
- Kruawan, K., and Kangsadalampai, K. (2006). Antioxidant activity, phenolic compound contents and antimutagenic activity of some water extract of herbs. **Thai Journal of Pharmaceutical Sciences**. 30:28-35.
- León-Martínez, F. M., Méndez-Lagunas, L. L., and Rodríguez-Ramírez, J. (2010). Spray drying of nopal mucilage (*Opuntia ficus-indica*): Effects on powder properties and characterization. **Carbohydrate Polymers**. 81: 864-870.
- Liaotrakoon, W. (2013). Characterization of dragon fruit (*Hylocereus spp.*) components with valorization potential. **Dissertation Abstracts International**. 18: 217.
- Loksuwan, J. (2007). Characteristics of microencapsulated b-carotene formed by spray drying with modified tapioca starch, native tapioca starch and maltodextrin. **Food Hydrocolloids**. 21: 928-935.
- Madene, A., Jacquot, M., Scher, J., and Desobry, S. (2006). Flavour encapsulation and controlled release – a review. **International Journal of Food Science and Technology**. 41:1-21.
- Maron, D. M., and Ames, B. N. (1983). Revised method for the *Salmonella* mutagenicity test. **Mutation Research**. 113: 173-215.
- McCann, J. E., Choi, E., Yamasaki, E., and Ames, B. N. (1975). Detection of carcinogens as mutagens in the Salmonella/microsome test. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. 72: 5135-5139.
- Medina-Torres, L., García-Cruz, E. E., Calderas, F., González Laredo, R. F., Sánchez-Olivares, G., Gallegos-Infante, J. A., Rocha-Guzmán, N. E., and Rodríguez-Ramírez, J. (2013). Microencapsulation by spray drying of gallic acid with nopal mucilage (*Opuntia ficus indica*). **Food Science and Technology**. 50: 642-650.
- Milestone Srl. (2010). **User Manual**. Milestone Srl:Italy.

- Mishra, P., Mishra S., and Mahanta C. L. (2013). Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature during spray drying on physicochemical and antioxidant properties of amla (*Emblica officinalis*) juice powder. **Food and Bioproducts Processing**. 92(3): 252-258.
- Moßhammer, M. R., Stintzing, F. C., and Carle, R. (2005). Colour studies of fruit juice blends from *Opuntia* and *Hylocereus* cacti and betalain-containing model solutions derived therefrom. **Food Research International**. 38: 975-981.
- Moreno, D. A., García-Viguera, C., Gil, J. I., and Gil-Izquierdo, A. (2008). Betalains in the era of global agri-food science, technology and nutritional health. **Phytochemistry**. 7:261-280.
- Muñoz, L. A., Aguilera, J. M., Rodriguez-Turienzo, L., Cobos, A., and Diaz, O. (2012). Characterization and microstructure of films made from mucilage of *Salvia hispanica* and whey protein concentrate. **Journal of Food Engineering**. 111: 511-518.
- Muntha, R. K., Ruby, L., Lindo, A., and Muraleed-haran, N. G. (2005). Relative inhibition of lipid peroxidation, cyclooxygenase enzymes and human tumor cell proliferation by natural food colors. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 53: 9268-9273.
- Naczki, M., and Shahidi, F. (2004). Extraction and analysis of phenolics in food. **Journal of Chromatography**. 1054:95-111.
- Nadeem, H. S., Torun, M., and Ozdemir, F. (2011). Spray drying of the mountain tea (*Sideritis strica*) water extract by using different hydrocolloid carriers. **LWT Food Science and Technology**. 44: 1626-1635.
- Netzel, M., Netzel, G., Kammerer, D. K., Schiebe, A., Carle, R., Simons, L., Bitsch, I., Bitsch, R., and Konczak, I. (2007). Cancer cell antiproliferation activity and metabolism of black carrot anthocyanins. **Innovation Food Science and Emerging Technology**. 8: 365-372.
- Nielson, L. R., and Harley, S. M. (2004). Chemotaxonomy: Simple tests for distinguishing between anthocyanins and betacyanins. **Journal of Biological Education**. 30(2): 88-92.
- Nijdam, J. J., and Langrish, T. A. J. (2006). The effect of surface composition on the functional properties of milk powders. **Journal of Food Engineering**. 77(4): 919-925.
- Nurliyana, R., Zahir, I. S., Suleiman, K. M., Aisyah, M. R., and Rahim, K. K. (2010). Antioxidant study of pulps and peels of dragon fruits: a comparative study. **International Food Research Journal**. 17: 367-375.

- Odukoya, O. I., and Odukoya, O. A. (2005). Hibiscus sabdarifa and Sorghum bicolor as natural colorants. **Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry**. 4: 858-862.
- Obón, J. M., Castellar, M. R., Alacid, M., and Fernández-López, J. A. (2009). Production of a red-purple food colorant from *Opuntia stricta* fruits by spray drying and its application in food model systems. **Journal of Food Engineering**. 90: 471-479.
- Oonsivilai, R., Cheng, C., Bomser, J. A., Ferruzzi, M. G., and Ningsanond, S. (2007). Phytochemical profiling and phase II enzyme-inducing properties of *Thunbergia laurifolia* Linn. (Rang Chute) extracts. **Journal of Ethnopharmacology**. 114: 300-306.
- Osorio, C., Acevedo, B., Hillebrand, S., Carriazo, J., Winterhalter, P., and Morales, A. L. (2010). Microencapsulation by spray-drying of anthocyanin pigments from Corozo (*Bactris guineensis*) fruit. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 58: 6977-6985.
- Pasch, J. H., and Elbe, Von, J. H. (1979). Betanine stability in buffered solutions containing organic acids, metal cations, antioxidants or sequestrants. **Journal of Food Science**. 44:72-74.
- Pasephol, T., Ruksakhen, Y., and Namhong, S. (2012). Extraction of Betalain from Ceylon Spinach Fruits. **Journal of Agricultural Science**. 43(3):368-371.
- Pedreño, M. A., and Escribano, J. (2001). Correlation between antiradical activity and stability of betanine from *Beta vulgaris* L roots under different pH, temperature and light conditions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 81:627-631.
- Pedreschi, R., and Cisneros-Zevallos, L. (2006). Antimutagenic and Antioxidant Properties of Phenolic Fractions from Andean Purple Corn (*Zea mays* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 54: 4557-4567.
- Peters, R. D., and Noble, S. D. (2012). Using Spectral Measurements to Differentiate Between Anthocyanin and Betacyanin Containing Plant Species. CIGR-AGENG 2012 [Online]. Available: http://www2.atb-potsdam.de/cigrimageanalysis/images/images12/tabla_137_C1775.pdf
- Phoungchandang S., and Sertwasana, A. (2010). Spray-drying of ginger juice and physicochemical properties of ginger powders. **ScienceAsia**. 36: 40-45.

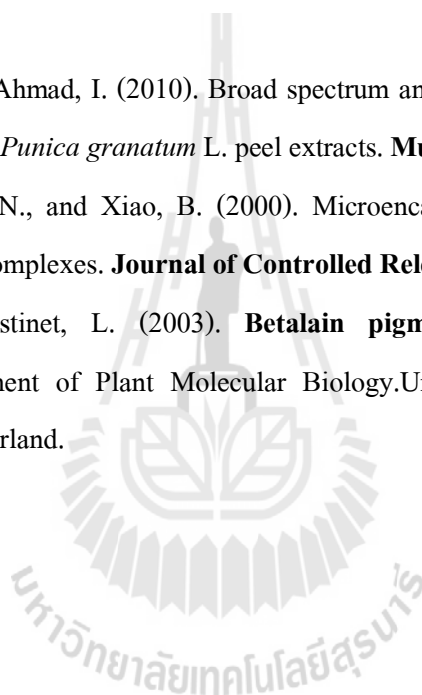
- Pitalua, E., Jimenez, M., Vernon-Carter, E. J., and Beristain, C. I. (2010). Antioxidative activity of microcapsules with beetroot juice using gum Arabic as wall material. **Food and Bioproducts Processing**, 88: 253-258.
- Prior, R. L., Cao, G., Martin, A., Sofic, E., McEwen, J., and O'Brien, C. (2007). Antioxidant capacity as influenced by total phenolic and anthocyanin content maturity and variety of *Vaccinium* species. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 46: 2686-2693.
- Ratchadaporn Oonsivilai.(2006). **Functional and nutraceutical Properties of rang Chuet (*Thunbergia laurifolia* Lindl.) extracts**. A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy in Food Technology Suranaree University of Technology.
- Ravichandran, K., Palaniraj, R., Saw, N. M. M. T., Gabr, A. M. M., Ahmed, A. R., Knorr D., and Smetanska, I. (2012). Effects of different encapsulation agents and drying process on stability of betalains extract. **Journal of Food Science and Technology**.(in press).
- Re, R., Pellebrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., and Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying and improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, 26:1231-1237.
- Rebecca, O. P. S., Boyce, A. N., and Chandran, S. (2010). Pigment identification and antioxidant properties of red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*). **African Journal of Biotechnology**, 9(10): 1450-1454.
- Risch, S. J., and Reineccius, G. A. (1998). **Flavor Encapsulation**. American Chemical Society, Washington, DC.194 p.
- Rodriguez-Saona, L. E., Giusti, M. M., Durst, R. W., and Wrolstad, R. E. (2001). Development and process optimization of red radish concentrate extraction as potential natural red colorant. **Journal of Food Processing Preservation**, 25: 165-182.
- Ruiz-Gutiérrez, M. G., Amaya-Guerra, C. A., Quintero-Ramos, A., de Jesús Ruiz-Anchondo, T., Gutiérrez-Uribe, J. A., Baez-González, J. G.,Lardizabal-Gutiérrez, D., Campos-Venegas, K. (2014). Effect of soluble fiber on the physicochemical properties of cactus pear (*Opuntia ficusindica*) encapsulated using spray drying. **Food Science and Biotechnology**, 23(3): 755-763.

- Saénz, C., Tapia, S., Chávez, J., and Robert, P. (2009). Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). **Food Chemistry**. 114:616-622.
- Shelby, M. D., and Zeiger, E. (1990). Activity of human carcinogens in the Salmonella and rodent bone marrow cytogenetics tests. **Mutation Research**. 234: 257-261.
- Silva, P. I., Stringheta, P. C., Teófilo, R. F., and Oliveira, I. R. N. (2013). Parameter optimization for spray-drying microencapsulation of jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) peel extracts using simultaneous analysis of responses. **Journal of Food Engineering**. 117: 538-544.
- Singh, B. N., Singh, B. R., Singh, R. L., Prakash, D., Singh, D. P., Sarma, B. K., Upadhyay, G., and Singh, H. B. (2009). Polyphenolics from various extracts/fractions of red onion (*Allium cepa*) peel with potent antioxidant and antimutagenic activities. **Food and Chemical Toxicology**. 47: 1161-1167
- Skrede, G., Wrolstad, R. E., Lea, P., and Enersen, G. (1992). Color stability of strawberry and blackcurrant syrups. **Journal of Food Science**. 57(1):172-177.
- Skrede, G., and Wrolstad, R. E. (2002). Chapter 3: Flavonoids from berries and grapes. In J. Shi, G. Mazza, and M. L. Maguer (eds.), **Functional foods: Biochemical and processing aspects** (pp. 71-133). New York: CRC Press LLC.
- Son, S., and Lewis, B. A. (2002). Free radical scavenging and antioxidative activity of caffeic acid amide and ester analogues: Structure-activity relationship. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 50: 468-472.
- Sousa, A. S. D., Borges, S. V., Magalhães, N. F., Ricardo, H. V., and Azevedo, A.D. (2008). Spray-dried tomato powder: reconstitution properties and colour. **Brazilian Archives of Biology and Technology**. 51 (4): 807-817.
- Souza, V. B., Thomazini, M., Balieiro, J. C. C., and Fávoro-Trindade, C. S. (2013). Effect of spray drying on the physicochemical properties and color stability of the powdered pigment obtained from vinification byproducts of the Bordo grape (*Vitis labrusca*). **Food and Bioproducts Processing**. (in press).
- Stalikas, C. D. (2007). Extraction, separation, and detection methods for phenolic acids and flavonoids. **Journal of Separation Science**. 30:3268-3295.
- Stintzing, F.C., Schieber, A., and Carle, R. (2002). Betacyanins in fruits from red-purple pitaya, *Hylocereus polyrhizus* (weber) Britt & Rose. **Food Chemistry**. 77:101-106.

- Stintzing, F. C., and Carle, R. (2004). Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition. **Trends in Food Science and Technology**. 15:19-38.
- Stratil, P., Klejdus, B., and Kubáň, V. (2006). Determination of total content of phenolic compounds and their antioxidant activity in vegetables-evaluation of spectrophotometric methods. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 54:607-616.
- Sumaya-Martínez, M. T., Cruz-Jaime, S., Madrigal-Santillán, E., García-Paredes, J. D., Cariño-Cortés, R., Cruz-Cansino, N., Valadez-Vega, C., Martínez-Cardenas, L., and Alanís-García, E. (2011). Betalain, acid ascorbic, phenolic contents and antioxidant properties of purple, red, yellow and white cactus pears. **International Journal of Molecular Sciences**. 12(10): 6452-6468.
- Tsai, P. J., Sheu, C. H., Wu, P. H., and Sun, Y. F. (2010). Thermal and pH stability of betacyanin pigment of Djulis (*Chenopodium formosanum*) in Taiwan and their relation to antioxidant activity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 58: 1020-1025.
- To, L. V., Ngu, N., Duc, N. D., Trinh, D. T. K., Thanh, N. C., Mien, D. V. H., Hai, C. N., and Long, T. N. (2000). Quality assurance system for dragon fruit. **ACIAR Proceedings**. 100:101-114.
- Tongyongk, L., Tunsaringkarn, T., Palanuvej, C., Rungsiyothin, A., Issaravanich, S., Chuthaputti, A., and Ruangrunsi, N. (2549). Mutagenicity and anti-mutagenicity of thai traditional medicine: Ya-Rid-Si-Duang-Mahakal. **Thai Journal of Health Research**. 20(2): 155-170.
- Tonon, V. R., Brabet, C., and Hubinger, D. M. (2008). Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe Oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. **Journal of Food Engineering**. 88: 411-418.
- Tonon, R.V. (2009). Secagem por atomização do suco de açai influência das variáveis de processo, qualidade e estabilidade do produto. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Doutoradoem Engenharia de Alimentos.
- Tonon, R. T., Brabet, C., and Hubinger, M. D. (2010). Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice produced with different carrier agents. **Food Research International**. 43: 907-914.

- Türker, N., and Erdogdu, F. (2006). Effect of pH and temperature of extraction medium on effective diffusion coefficient of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucus carotavar. L.*). **Jouranal of Food Engineering**. 76: 579-583.
- Von Elbe, J. H., Maing, I.-Y., and Amundson, C. H. (1974). Color stability of betanin. **Journal of Food Science**. 38:334-337.
- Walton, D. E., and Mumford, C. J. (1999). Spray dried products-characterization of particle morphology. **Institution of Chemical Engineers**. 77: 21-38.
- Walton, D. E., and Mumford, C. J. (2000). The morphology of spray dried particles a quantitative view. **Drying Technology**. 18: 1945-1986.
- Wang, C.-Q., and Yang, G.-Q. (2010). Betacyanins from *Portulaca oleracea* L. ameliorate cognition deficits and attenuate oxidative damage induced by D-galactose in the brains of senescent mice. **Phytomedicine**. 17(7): 527-532.
- Wetwitayaklung, P., Phaechamud, T., and Keokitichai, S. (2005). The Antioxidant Activity of *Caesalpinia sappan* L. Heartwood in Various Ages. **Naresuan University Journal**.13(2):43-52.
- Wikipedia. (2013a). *Hylocercus megalanthus* [ออนไลน์]. ได้จาก: http://en.wikipedia.org/wiki/Hylocereus_megalanthus.
- Wikipedia. (2013b). *Hylocereus polyrhizus* [ออนไลน์]. ได้จาก: http://en.wikipedia.org/wiki/Hylocereus_costaricensis.
- Wikipedia. (2013c). *Hylocercu sundatus* [ออนไลน์]. ได้จาก: http://en.wikipedia.org/wiki/Hylocereus_undatus.
- Wikipedia. (2013d). **Mucilage** [ออนไลน์]. ได้จาก: <http://en.wikipedia.org/wiki/Mucilage>.
- Wikipedia. (2013e). **Pitaya** [ออนไลน์]. ได้จาก: <http://en.wikipedia.org/wiki/Pitaya>.
- Wootton-Beard, P. C., Moran, A., and Ryan, L. (2010). Stability of the total antioxidant capacity and total polyphenol content of 23 commercially available vegetable juices before and after in vitro digestion measured by FRAP, DPPH, ABTS and Folin–Ciocalteu methods. **Food Research International**. 44(1): 217-224.
- Wu, L., Hsu, H. W., Chen, Y. C., Chiu, C. C., Lin, Y. I., and Ho, J. A. (2006). Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya. **Food Chemistry**. 95: 319-327.

- Wybraniec, S., Platzner, I., Gerash, S., Gottlieb, H.E., Haimberg, M., Mogilinitzki, M., and Mizrahi, Y. (2001). Betacyanin from vine cactus *Hylocereus polyrhizus*. **Phytochemistry**. 58:1209-1212.
- Wybraniec, S., and Mirrahi, Y. (2002). Fruit flesh betacyanin pigments in *Hylocereus* Cacti. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 50:6086-6089.
- Wybraniec, S., and Mizrahi, Y. (2005). Generation of decarboxylated and dehydrogenated betacyanins in thermally treated purified fruit extract from purple pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) monitored by LC-MS/MS. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 53:6704-6712.
- Zahin, M., Aqil, F., and Ahmad, I. (2010). Broad spectrum antimutagenic activity of antioxidant active fraction of *Punica granatum* L. peel extracts. **Mutation Research**. 703: 99-107.
- Zhang, Z. Y., Ping, Q. N., and Xiao, B. (2000). Microencapsulation and characterization of tramadol–resin complexes. **Journal of Controlled Release**. 66: 107-113.
- Zryd, J. P., and Christinet, L. (2003). **Betalain pigment**. Laboratory of Plant Cell Genetics. Department of Plant Molecular Biology. University de Lausanne, CH 1015 Lausanne, Switzerland.



ภาคผนวก ก
ผลการทดลอง



ตารางที่ ก.1 ปริมาณสารบีตาไซยานิน (Betacyanins) ของสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรของแต่ละสภาวะการสกัด

Treatment	pH	Temp (°C)	Time (min)	Betacyanin (mg/g dry basis)			
				White-80%EtOH	Red-80%EtOH	White-DI water	Red-DI water
1	5.0	40	20	5.60 ± 0.15 ^{D, g}	11.83 ± 1.05 ^{C, f}	75.72 ± 1.16 ^{B, abc}	143.66 ± 5.95 ^{A, abc}
2	5.0	85	20	24.47 ± 0.16 ^{D, a}	42.62 ± 1.87 ^{C, c}	70.06 ± 1.56 ^{B, d}	131.98 ± 12.30 ^{A, de}
3	5.0	40	60	5.51 ± 1.09 ^{D, g}	8.73 ± 0.26 ^{C, h}	77.25 ± 1.57 ^{B, a}	147.14 ± 2.96 ^{A, ab}
4	5.0	85	60	19.51 ± 0.51 ^{D, b}	33.92 ± 1.30 ^{C, d}	56.54 ± 1.21 ^{B, g}	126.78 ± 3.05 ^{A, e}
5	4.5	40	40	6.44 ± 0.19 ^{D, f}	10.26 ± 0.57 ^{C, g}	76.38 ± 4.54 ^{B, ab}	147.81 ± 2.00 ^{A, ab}
6	4.5	85	40	19.72 ± 0.61 ^{D, b}	55.48 ± 0.89 ^{C, b}	63.93 ± 1.08 ^{B, e}	131.78 ± 2.91 ^{A, de}
7	5.5	40	40	6.82 ± 0.01 ^{D, f}	9.73 ± 0.22 ^{C, gh}	75.94 ± 1.07 ^{B, abc}	149.11 ± 1.59 ^{A, a}
8	5.5	85	40	23.91 ± 0.28 ^{C, a}	60.47 ± 1.62 ^{B, a}	59.57 ± 1.54 ^{B, f}	118.79 ± 14.55 ^{A, f}

หมายเหตุ: อักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่แตกต่างกันตาม

แนวนอนภายในสภาวะการสกัดเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กเป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง ภายในชนิดสารสกัดและพันธุ์แก้วมังกรเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ก.1 ปริมาณสารบีตาไซยานิน (Betacyanins) ของสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรของแต่ละสภาวะการสกัด (ต่อ)

Treatment	pH	Temp (°C)	Time (min)	Betacyanin (mg/g dry basis)			
				White-80%EtOH	Red-80%EtOH	White-DI water	Red-DI water
9	4.5	60	20	8.79 ± 0.39 ^{D, e}	12.67 ± 2.17 ^{C, f}	76.40 ± 1.97 ^{B, ab}	141.55 ± 2.02 ^{A, abc}
10	4.5	60	60	11.17 ± 0.58 ^{D, d}	15.80 ± 0.54 ^{C, e}	75.75 ± 1.60 ^{B, abc}	140.43 ± 2.92 ^{A, bc}
11	5.5	60	20	8.94 ± 0.79 ^{C, e}	9.21 ± 0.33 ^{C, gh}	73.45 ± 0.47 ^{B, c}	147.18 ± 3.97 ^{A, ab}
12	5.5	60	60	12.34 ± 1.16 ^{D, c}	16.13 ± 1.42 ^{C, e}	75.37 ± 2.15 ^{B, abc}	137.94 ± 2.28 ^{A, cd}
13	5.0	60	40	11.61 ± 0.98 ^{D, cd}	15.95 ± 0.47 ^{C, e}	75.93 ± 1.60 ^{B, abc}	146.18 ± 1.41 ^{A, ab}
14	5.0	60	40	12.38 ± 0.77 ^{D, c}	16.01 ± 0.56 ^{C, e}	75.54 ± 3.13 ^{B, abc}	141.59 ± 4.51 ^{A, abc}
15	5.0	60	40	12.28 ± 0.09 ^{D, c}	16.03 ± 0.28 ^{C, e}	73.98 ± 0.93 ^{B, bc}	143.70 ± 1.83 ^{A, abc}

หมายเหตุ: อักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่แตกต่างกันตาม

แนวนอนภายในสภาวะการสกัดเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กเป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง ภายในชนิดสารสกัดและพันธุ์แก้วมังกรเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ก.2 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรของแต่ละสถานะการสกัด

Treatment	pH	Temp (°C)	Time (min)	Total Polyphenols (mg/100 g dry basis)			
				White-80%EtOH	Red-80%EtOH	White-DI water	Red-DI water
1	5.0	40	20	441.6 ± 15.16 ^{A, cd}	434.53 ± 8.45 ^{A, g}	413.03 ± 14.70 ^{B, b}	358.73 ± 3.68 ^{C, c}
2	5.0	85	20	452.08 ± 5.39 ^{B, c}	517.74 ± 17.78 ^{A, bc}	412.70 ± 14.59 ^{C, b}	388.46 ± 5.70 ^{D, ab}
3	5.0	40	60	421.17 ± 27.14 ^{AB, def}	431.02 ± 15.61 ^{A, g}	409.59 ± 4.70 ^{B, bc}	337.84 ± 5.83 ^{C, e}
4	5.0	85	60	671.37 ± 25.28 ^{A, a}	556.95 ± 7.31 ^{B, a}	396.39 ± 15.47 ^{C, bcde}	390.85 ± 14.72 ^{C, ab}
5	4.5	40	40	426.54 ± 6.69 ^{B, de}	462.05 ± 22.91 ^{A, ef}	435.49 ± 20.75 ^{B, a}	353.41 ± 10.68 ^{C, cd}
6	4.5	85	40	534.98 ± 7.84 ^{A, b}	512.47 ± 15.23 ^{B, c}	414.33 ± 10.14 ^{C, b}	400.06 ± 23.17 ^{C, a}
7	5.5	40	40	378.35 ± 13.26 ^{B, g}	434.60 ± 11.03 ^{A, g}	380.96 ± 8.47 ^{B, ef}	360.82 ± 19.93 ^{C, c}
8	5.5	85	40	514.68 ± 39.82 ^{A, b}	535.02 ± 29.71 ^{A, b}	386.45 ± 16.40 ^{B, def}	357.84 ± 5.06 ^{B, c}

หมายเหตุ: อักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอนภายในสถานะการสกัดเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กเป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งภายในชนิดสารสกัดและพันธุ์แก้วมังกรเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ก.2 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรของแต่ละสถานะการสกัด (ต่อ)

Treatment	pH	Temp (°C)	Time (min)	Total Polyphenols (mg/100 g dry basis)			
				White-80%EtOH	Red-80%EtOH	White-DI water	Red-DI water
9	4.5	60	20	417.39 ± 6.92 ^{B, ef}	444.28 ± 31.49 ^{A, fg}	402.36 ± 16.16 ^{BC, bcd}	381.09 ± 4.46 ^{C, b}
10	4.5	60	60	360.39 ± 21.28 ^{C, g}	442.61 ± 12.12 ^{A, fg}	360.35 ± 25.34 ^{C, g}	392.31 ± 3.72 ^{B, ab}
11	5.5	60	20	368.14 ± 14.95 ^{B, g}	436.06 ± 9.97 ^{A, g}	375.78 ± 6.16 ^{B, fg}	348.82 ± 20.86 ^{C, cde}
12	5.5	60	60	368.27 ± 5.72 ^{B, g}	430.39 ± 8.09 ^{A, g}	359.33 ± 21.03 ^{B, g}	341.75 ± 4.63 ^{C, de}
13	5.0	60	40	402.12 ± 15.22 ^{B, f}	482.01 ± 7.86 ^{A, de}	401.40 ± 6.03 ^{B, bcd}	353.75 ± 10.02 ^{C, cd}
14	5.0	60	40	366.95 ± 4.89 ^{C, g}	483.88 ± 10.60 ^{A, d}	404.59 ± 13.54 ^{B, bcd}	350.30 ± 6.79 ^{D, cde}
15	5.0	60	40	406.44 ± 18.20 ^{B, ef}	434.75 ± 29.28 ^{A, g}	392.61 ± 4.99 ^{B, cdef}	342.10 ± 7.58 ^{C, de}

หมายเหตุ: อักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอนภายในสถานะการสกัดเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
 อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กเป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งภายในชนิดสารสกัดและพันธุ์แก้วมังกรเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ก.3 ค่าความสว่าง (L*) ของสารสกัดของเปลือกแก้วมังกรของแต่ละสภาวะการสกัด

Treatment	pH	Temp (°C)	Time (min)	L*			
				White-80%EtOH	Red-80%EtOH	White-DI water	Red-DI water
1	5.0	40	20	89.11 ± 0.30 ^{A, a}	79.15 ± 1.36 ^{B, c}	48.30 ± 0.25 ^{C, d}	42.55 ± 0.24 ^{D, c}
2	5.0	85	20	65.92 ± 0.16 ^{A, h}	54.69 ± 0.51 ^{B, f}	48.11 ± 0.16 ^{C, e}	43.54 ± 1.02 ^{D, b}
3	5.0	40	60	89.14 ± 2.00 ^{A, a}	83.65 ± 0.37 ^{B, a}	47.33 ± 0.04 ^{C, j}	41.72 ± 0.16 ^{D, d}
4	5.0	85	60	70.73 ± 0.54 ^{A, g}	62.17 ± 1.05 ^{B, e}	50.98 ± 0.05 ^{C, a}	44.25 ± 0.16 ^{D, a}
5	4.5	40	40	87.66 ± 0.15 ^{A, b}	81.45 ± 0.91 ^{B, b}	47.41 ± 0.14 ^{C, j}	41.88 ± 0.11 ^{D, d}
6	4.5	85	40	70.51 ± 0.70 ^{A, g}	52.86 ± 0.37 ^{B, g}	49.42 ± 0.03 ^{C, c}	43.35 ± 0.04 ^{D, b}
7	5.5	40	40	86.49 ± 0.12 ^{A, c}	81.63 ± 0.19 ^{B, b}	47.91 ± 0.06 ^{C, f}	41.64 ± 0.02 ^{D, d}
8	5.5	85	40	66.20 ± 0.13 ^{A, h}	50.00 ± 0.30 ^{B, h}	50.03 ± 0.20 ^{B, b}	44.34 ± 1.38 ^{C, a}

หมายเหตุ: อักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่แตกต่างกันตาม
 แนวนอนภายในสภาวะการสกัดเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
 อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กเป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง
 ภายในชนิดสารสกัดและพันธุ์แก้วมังกรเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ก.3 ค่าความสว่าง (L*) ของสารสกัดของเปลือกแก้วมังกรของแต่ละสภาวะการสกัด (ต่อ)

Treatment	pH	Temp (°C)	Time (min)	L*			
				White-80%EtOH	Red-80%EtOH	White-DI water	Red-DI water
9	4.5	60	20	84.04 ± 0.37 ^{A, d}	78.72 ± 3.15 ^{B, c}	47.72 ± 0.29 ^{C, gh}	42.08 ± 0.06 ^{D, cd}
10	4.5	60	60	80.43 ± 0.60 ^{A, e}	74.71 ± 0.48 ^{B, d}	47.48 ± 0.17 ^{C, ij}	41.81 ± 0.02 ^{D, d}
11	5.5	60	20	83.40 ± 1.11 ^{A, d}	83.18 ± 0.54 ^{A, a}	48.18 ± 0.17 ^{B, de}	42.25 ± 0.03 ^{C, cd}
12	5.5	60	60	78.65 ± 1.56 ^{A, f}	73.62 ± 1.80 ^{B, d}	47.62 ± 0.04 ^{C, hi}	41.72 ± 0.01 ^{D, d}
13	5.0	60	40	79.72 ± 1.44 ^{A, ef}	74.35 ± 0.51 ^{B, d}	47.70 ± 0.01 ^{C, gh}	42.02 ± 0.11 ^{D, cd}
14	5.0	60	40	78.79 ± 0.84 ^{A, f}	74.41 ± 0.54 ^{B, d}	47.69 ± 0.10 ^{C, gh}	42.05 ± 0.10 ^{D, cd}
15	5.0	60	40	78.91 ± 0.17 ^{A, f}	74.40 ± 0.56 ^{B, d}	47.82 ± 0.14 ^{C, fg}	42.12 ± 0.11 ^{D, cd}

หมายเหตุ: อักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่แตกต่างกันตาม

แนวนอนภายในสภาวะการสกัดเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กเป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งภายในชนิดสารสกัดและพันธุ์แก้วมังกรเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ก.4 ค่า a* ของสารสกัดของเปลือกแก้วมังกรของแต่ละสภาวะการสกัด

Treatment	pH	Temp (°C)	Time (min)	a*			
				White-80%EtOH	Red-80%EtOH	White-DI water	Red-DI water
1	5.0	40	20	12.85 ± 0.27 ^{D, hi}	24.93 ± 1.87 ^{C, g}	81.25 ± 0.03 ^{A, a}	78.83 ± 0.15 ^{B, a}
2	5.0	85	20	50.57 ± 0.31 ^{D, a}	65.44 ± 0.56 ^{C, c}	78.30 ± 0.08 ^{A, i}	77.62 ± 0.21 ^{B, g}
3	5.0	40	60	11.61 ± 2.80 ^{D, i}	18.75 ± 0.48 ^{C, h}	80.71 ± 0.03 ^{A, d}	78.26 ± 0.13 ^{B, b}
4	5.0	85	60	43.29 ± 1.04 ^{D, b}	58.14 ± 1.40 ^{C, d}	76.20 ± 0.06 ^{B, k}	78.20 ± 0.10 ^{A, bc}
5	4.5	40	40	14.07 ± 0.29 ^{D, h}	20.46 ± 1.55 ^{C, h}	81.09 ± 0.11 ^{A, b}	78.09 ± 0.13 ^{B, cd}
6	4.5	85	40	43.56 ± 1.23 ^{C, b}	68.77 ± 0.33 ^{B, b}	78.31 ± 0.08 ^{A, i}	77.92 ± 0.03 ^{A, ef}
7	5.5	40	40	16.81 ± 0.24 ^{D, g}	19.89 ± 0.17 ^{C, h}	80.89 ± 0.08 ^{A, c}	77.92 ± 0.03 ^{B, ef}
8	5.5	85	40	49.24 ± 0.12 ^{D, a}	70.71 ± 0.30 ^{C, a}	76.32 ± 0.02 ^{B, j}	76.58 ± 0.09 ^{A, i}

หมายเหตุ: อักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอนภายในสภาวะการสกัดเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กเป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งภายในชนิดสารสกัดและพันธุ์แก้วมังกรเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ก.4 ค่า a* ของสารสกัดของเปลือกแก้วมังกรของแต่ละสภาวะการสกัด (ต่อ)

Treatment	pH	Temp (°C)	Time (min)	a*			
				White-80%EtOH	Red-80%EtOH	White-DI water	Red-DI water
9	4.5	60	20	19.75 ± 0.78 ^{D, f}	26.82 ± 3.97 ^{C, f}	80.64 ± 0.04 ^{A, e}	78.02 ± 0.11 ^{B, de}
10	4.5	60	60	26.24 ± 1.37 ^{D, e}	32.10 ± 1.07 ^{C, e}	80.20 ± 0.05 ^{A, f}	77.81 ± 0.04 ^{B, f}
11	5.5	60	20	20.32 ± 1.43 ^{C, f}	20.15 ± 0.69 ^{C, h}	80.14 ± 0.06 ^{A, f}	77.83 ± 0.12 ^{B, f}
12	5.5	60	60	27.72 ± 2.59 ^{C, cde}	33.34 ± 2.56 ^{B, e}	79.38 ± 0.01 ^{A, h}	77.26 ± 0.05 ^{A, h}
13	5.0	60	40	26.46 ± 2.37 ^{D, de}	32.57 ± 0.72 ^{C, e}	79.94 ± 0.02 ^{A, g}	77.61 ± 0.10 ^{B, g}
14	5.0	60	40	28.79 ± 2.43 ^{D, c}	32.53 ± 0.71 ^{C, e}	79.98 ± 0.03 ^{A, g}	77.63 ± 0.08 ^{B, g}
15	5.0	60	40	28.25 ± 0.06 ^{D, cd}	32.56 ± 0.76 ^{C, e}	79.98 ± 0.05 ^{A, g}	77.63 ± 0.08 ^{B, g}

หมายเหตุ: อักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอนภายในสภาวะการสกัดเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กเป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งภายในชนิดสารสกัดและพันธุ์แก้วมังกรเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ก.5 ค่า b* ของสารสกัดของเปลือกแก้วมังกรของแต่ละสภาวะการสกัด

Treatment	pH	Temp (°C)	Time (min)	b*			
				White-80%EtOH	Red-80%EtOH	White-DI water	Red-DI water
1	5.0	40	20	9.26 ± 0.76 ^{C, h}	26.46 ± 2.25 ^{A, h}	-6.40 ± 0.35 ^{D, k}	18.72 ± 0.53 ^{B, g}
2	5.0	85	20	18.69 ± 0.22 ^{C, d}	44.09 ± 0.25 ^{A, d}	4.26 ± 0.62 ^{D, c}	23.74 ± 2.29 ^{B, b}
3	5.0	40	60	13.56 ± 0.72 ^{C, g}	22.75 ± 4.14 ^{A, i}	-4.76 ± 0.21 ^{D, i}	19.49 ± 0.62 ^{B, g}
4	5.0	85	60	34.52 ± 0.05 ^{B, b}	55.57 ± 0.02 ^{A, b}	5.70 ± 0.06 ^{D, b}	20.90 ± 0.86 ^{C, ef}
5	4.5	40	40	13.10 ± 0.47 ^{C, g}	30.90 ± 0.03 ^{A, g}	-5.25 ± 0.17 ^{D, j}	21.36 ± 1.18 ^{B, ef}
6	4.5	85	40	36.24 ± 0.34 ^{B, a}	58.79 ± 0.32 ^{A, a}	3.15 ± 0.04 ^{D, d}	23.02 ± 0.15 ^{C, bc}
7	5.5	40	40	9.52 ± 1.25 ^{C, h}	30.72 ± 0.39 ^{A, g}	-4.95 ± 0.25 ^{D, ij}	22.36 ± 0.13 ^{B, cd}
8	5.5	85	40	30.83 ± 0.79 ^{B, c}	52.07 ± 0.64 ^{A, c}	7.38 ± 0.27 ^{D, a}	29.23 ± 0.43 ^{C, a}

หมายเหตุ: อักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่แตกต่างกันตาม
 แนวนอนภายในสภาวะการสกัดเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
 อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กเป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง
 ภายในชนิดสารสกัดและพันธุ์แก้วมังกรเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ก.5 ค่า b* ของสารสกัดของเปลือกแก้วมังกรของแต่ละสภาวะการสกัด (ต่อ)

Treatment	pH	Temp (°C)	Time (min)	b*			
				White-80%EtOH	Red-80%EtOH	White-DI water	Red-DI water
9	4.5	60	20	15.43 ± 0.71 ^{C, f}	25.75 ± 5.36 ^{A, h}	-3.37 ± 0.76 ^{D, h}	21.85 ± 0.29 ^{B, de}
10	4.5	60	60	16.01 ± 1.41 ^{C, ef}	39.23 ± 1.65 ^{A, e}	-3.31 ± 0.25 ^{D, h}	20.64 ± 0.12 ^{B, f}
11	5.5	60	20	15.30 ± 0.30 ^{C, f}	20.27 ± 0.90 ^{B, j}	-3.15 ± 0.13 ^{D, h}	23.27 ± 0.05 ^{A, bc}
12	5.5	60	60	18.34 ± 0.97 ^{C, d}	35.86 ± 2.74 ^{A, f}	-1.66 ± 0.04 ^{D, e}	23.19 ± 0.16 ^{B, bc}
13	5.0	60	40	17.12 ± 0.65 ^{C, de}	34.53 ± 1.33 ^{A, f}	-2.11 ± 0.12 ^{D, f}	23.31 ± 0.52 ^{B, bc}
14	5.0	60	40	13.09 ± 4.12 ^{C, g}	34.56 ± 1.31 ^{A, f}	-2.27 ± 0.39 ^{D, f}	23.38 ± 0.55 ^{B, bc}
15	5.0	60	40	15.20 ± 0.93 ^{C, f}	34.64 ± 1.37 ^{A, f}	-2.69 ± 0.18 ^{D, g}	23.43 ± 0.57 ^{B, b}

หมายเหตุ: อักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่แตกต่างกันตาม

แนวนอนภายในสภาวะการสกัดเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กเป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งภายในชนิดสารสกัดและพันธุ์แก้วมังกรเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ก.6 ค่า Chroma ของสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรของแต่ละสภาวะการสกัด

Treatment	pH	Temp (°C)	Time (min)	Chroma			
				White-80%EtOH	Red-80%EtOH	White-DI water	Red-DI water
1	5.0	40	20	15.85 ± 0.66 ^{C, k}	36.36 ± 2.92 ^{B, e}	81.50 ± 0.06 ^{A, a}	81.03 ± 0.03 ^{A, de}
2	5.0	85	20	53.91 ± 0.22 ^{D, d}	78.91 ± 0.60 ^{B, b}	78.41 ± 0.04 ^{C, i}	81.19 ± 0.47 ^{A, bcd}
3	5.0	40	60	17.92 ± 2.36 ^{C, j}	29.61 ± 2.88 ^{B, f}	80.85 ± 0.04 ^{A, d}	80.65 ± 0.03 ^{A, f}
4	5.0	85	60	55.37 ± 0.78 ^{C, c}	80.43 ± 1.01 ^{A, b}	76.42 ± 0.06 ^{B, i}	80.94 ± 0.13 ^{A, e}
5	4.5	40	40	19.23 ± 0.11 ^{C, i}	37.08 ± 0.83 ^{B, e}	81.26 ± 0.12 ^{A, b}	80.96 ± 0.19 ^{A, e}
6	4.5	85	40	56.67 ± 0.73 ^{D, b}	90.48 ± 0.46 ^{A, a}	78.37 ± 0.08 ^{C, k}	81.25 ± 0.03 ^{B, b}
7	5.5	40	40	19.35 ± 0.41 ^{C, i}	36.60 ± 0.42 ^{B, e}	81.04 ± 0.09 ^{A, c}	81.07 ± 0.02 ^{A, bcde}
8	5.5	85	40	58.10 ± 0.52 ^{D, a}	87.82 ± 0.14 ^{A, a}	76.68 ± 0.05 ^{C, j}	81.97 ± 0.07 ^{B, a}

หมายเหตุ: อักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่แตกต่างกันตาม

แนวนอนภายในสภาวะการสกัดเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กเป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง ภายในชนิดสารสกัดและพันธุ์แก้วมังกรเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ก.6 ค่า Chroma ของสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรของแต่ละสภาวะการสกัด (ต่อ)

Treatment	pH	Temp (°C)	Time (min)	Chroma			
				White-80%EtOH	Red-80%EtOH	White-DI water	Red-DI water
9	4.5	60	20	25.08 ± 0.18 ^{C, h}	37.19 ± 6.57 ^{B, e}	80.71 ± 0.07 ^{A, e}	81.02 ± 0.18 ^{A, de}
10	4.5	60	60	30.78 ± 0.44 ^{C, g}	50.72 ± 0.60 ^{B, c}	80.27 ± 0.04 ^{A, f}	80.51 ± 0.01 ^{A, f}
11	5.5	60	20	25.45 ± 1.32 ^{C, h}	28.58 ± 1.12 ^{B, f}	80.20 ± 0.06 ^{A, f}	81.23 ± 0.10 ^{A, bc}
12	5.5	60	60	33.30 ± 1.62 ^{C, e}	48.96 ± 3.75 ^{B, cd}	79.40 ± 0.01 ^{A, h}	80.67 ± 0.02 ^{A, f}
13	5.0	60	40	31.56 ± 1.63 ^{C, fg}	47.47 ± 1.46 ^{B, d}	79.97 ± 0.02 ^{A, g}	81.04 ± 0.06 ^{A, cde}
14	5.0	60	40	31.92 ± 0.50 ^{D, fg}	47.47 ± 1.44 ^{C, d}	80.01 ± 0.04 ^{B, g}	81.07 ± 0.08 ^{A, bcde}
15	5.0	60	40	32.09 ± 0.39 ^{D, f}	47.54 ± 1.52 ^{C, d}	80.02 ± 0.05 ^{B, g}	81.09 ± 0.09 ^{A, bcde}

หมายเหตุ: อักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่แตกต่างกันตาม

แนวนอนภายในสภาวะการสกัดเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กเป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง ภายในชนิดสารสกัดและพันธุ์แก้วมังกรเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ก.7 ค่า Hue angle ของสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรของแต่ละสภาวะการสกัด

Treatment	pH	Temp (°C)	Time (min)	Hue angle			
				White-80%EtOH	Red-80%EtOH	White-DI water	Red-DI water
1	5.0	40	20	35.72 ± 1.67 ^{B, cde}	46.69 ± 0.28 ^{A, c}	-4.50 ± 0.24 ^{D, k}	13.36 ± 0.39 ^{C, g}
2	5.0	85	20	20.29 ± 0.33 ^{B, i}	33.97 ± 0.08 ^{A, g}	3.12 ± 0.46 ^{D, c}	17.00 ± 1.59 ^{C, b}
3	5.0	40	60	50.03 ± 5.39 ^{A, a}	50.03 ± 5.87 ^{A, b}	-3.37 ± 0.15 ^{C, i}	13.98 ± 0.45 ^{B, g}
4	5.0	85	60	38.57 ± 0.70 ^{B, c}	43.71 ± 0.69 ^{A, d}	4.28 ± 0.04 ^{D, b}	14.96 ± 0.61 ^{C, f}
5	4.5	40	40	42.93 ± 1.61 ^{B, b}	56.53 ± 2.03 ^{A, a}	-3.70 ± 0.11 ^{D, j}	15.30 ± 0.83 ^{C, ef}
6	4.5	85	40	39.78 ± 1.06 ^{B, bc}	40.53 ± 0.03 ^{A, e}	2.30 ± 0.03 ^{D, d}	16.46 ± 0.11 ^{C, bc}
7	5.5	40	40	29.47 ± 3.59 ^{B, fg}	57.08 ± 0.12 ^{A, a}	-3.50 ± 0.18 ^{D, ij}	16.01 ± 0.09 ^{C, cd}
8	5.5	85	40	32.05 ± 0.59 ^{B, efg}	36.37 ± 0.45 ^{A, f}	5.53 ± 0.20 ^{D, a}	20.89 ± 0.30 ^{C, a}

หมายเหตุ: อักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่แตกต่างกันตาม

แนวนอนภายในสภาวะการสกัดเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กเป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งภายในชนิดสารสกัดและพันธุ์แก้วมังกรเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ก.7 ค่า Hue angle ของสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรของแต่ละสภาวะการสกัด (ต่อ)

Treatment	pH	Temp (°C)	Time (min)	Hue angle			
				White-80%EtOH	Red-80%EtOH	White-DI water	Red-DI water
9	4.5	60	20	38.01 ± 2.38 ^{B, c}	43.57 ± 1.76 ^{A, d}	-2.39 ± 0.54 ^{D, h}	15.64 ± 0.18 ^{C, de}
10	4.5	60	60	31.43 ± 3.57 ^{B, efg}	50.69 ± 2.12 ^{A, b}	-2.37 ± 0.18 ^{D, h}	14.86 ± 0.09 ^{C, f}
11	5.5	60	20	37.04 ± 1.40 ^{B, cd}	45.16 ± 0.29 ^{A, cd}	-2.25 ± 0.10 ^{D, h}	16.65 ± 0.06 ^{C, bc}
12	5.5	60	60	33.64 ± 3.86 ^{B, def}	47.08 ± 0.01 ^{A, c}	-1.19 ± 0.03 ^{D, e}	16.70 ± 0.12 ^{C, b}
13	5.0	60	40	33.05 ± 3.33 ^{B, def}	46.66 ± 0.47 ^{A, c}	-1.51 ± 0.09 ^{D, f}	16.72 ± 0.37 ^{C, b}
14	5.0	60	40	24.56 ± 8.57 ^{B, gh}	46.72 ± 0.46 ^{A, c}	-1.62 ± 0.28 ^{D, f}	16.76 ± 0.39 ^{C, b}
15	5.0	60	40	28.26 ± 1.51 ^{B, h}	46.76 ± 0.47 ^{A, c}	-1.92 ± 0.13 ^{D, g}	16.79 ± 0.40 ^{C, b}

หมายเหตุ: อักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่แตกต่างกันตาม

แนวนอนภายในสภาวะการสกัดเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กเป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งภายในชนิดสารสกัดและพันธุ์แก้วมังกรเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ก.8 ค่า Total color difference ของสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรของแต่ละสภาวะการสกัด

Treatment	pH	Temp (°C)	Time (min)	Total color difference (ΔE^*)			
				White-80%EtOH	Red-80%EtOH	White-DI water	Red-DI water
1	5.0	40	20	80.94 ± 0.23 ^{A, ab}	59.75 ± 2.34 ^{B, c}	2.03 ± 0.19 ^{D, jk}	10.23 ± 0.41 ^{C, a}
2	5.0	85	20	43.22 ± 0.41 ^{A, j}	20.97 ± 0.25 ^{B, h}	10.98 ± 0.60 ^{C, c}	5.75 ± 1.00 ^{D, f}
3	5.0	40	60	82.93 ± 3.15 ^{A, a}	67.61 ± 0.09 ^{B, a}	1.98 ± 0.16 ^{D, jk}	9.75 ± 0.46 ^{C, a}
4	5.0	85	60	60.04 ± 0.88 ^{A, h}	36.44 ± 1.10 ^{B, e}	13.45 ± 0.04 ^{C, b}	7.55 ± 0.73 ^{D, d}
5	4.5	40	40	80.02 ± 0.43 ^{A, b}	64.81 ± 1.80 ^{B, b}	1.81 ± 0.10 ^{D, k}	8.19 ± 0.85 ^{C, bc}
6	4.5	85	40	60.99 ± 1.25 ^{A, h}	32.72 ± 0.18 ^{B, f}	10.15 ± 0.03 ^{C, d}	6.10 ± 0.10 ^{D, ef}
7	5.5	40	40	76.34 ± 0.40 ^{A, c}	65.38 ± 0.22 ^{B, b}	2.15 ± 0.19 ^{D, j}	7.54 ± 0.09 ^{C, d}
8	5.5	85	40	52.13 ± 0.44 ^{A, i}	25.37 ± 0.72 ^{B, g}	14.73 ± 0.21 ^{C, a}	3.53 ± 0.64 ^{D, g}

หมายเหตุ: อักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่แตกต่างกันตาม
 แนวนอนภายในสภาวะการสกัดเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
 อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กเป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง
 ภายในชนิดสารสกัดและพันธุ์แก้วมังกรเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 8.8 ค่า Total color difference ของสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรของแต่ละสภาวะการสกัด (ต่อ)

Treatment	pH	Temp (°C)	Time (min)	Total color difference (ΔE^*)			
				White-80%EtOH	Red-80%EtOH	White-DI water	Red-DI water
9	4.5	60	20	74.16 ± 1.03 ^{A, d}	58.11 ± 5.18 ^{B, c}	3.38 ± 0.61 ^{D, hi}	7.66 ± 0.20 ^{C, cd}
10	4.5	60	60	67.31 ± 1.87 ^{A, e}	52.66 ± 1.50 ^{B, d}	3.28 ± 0.21 ^{D, i}	8.63 ± 0.11 ^{C, b}
11	5.5	60	20	73.34 ± 1.62 ^{A, d}	66.30 ± 0.96 ^{B, ab}	3.66 ± 0.06 ^{D, gh}	6.52 ± 0.07 ^{C, e}
12	5.5	60	60	66.08 ± 3.16 ^{A, ef}	50.46 ± 2.61 ^{B, d}	4.96 ± 0.05 ^{C, e}	6.71 ± 0.12 ^{C, e}
13	5.0	60	40	67.16 ± 2.82 ^{A, e}	51.22 ± 0.68 ^{B, d}	4.50 ± 0.12 ^{D, f}	6.57 ± 0.28 ^{C, e}
14	5.0	60	40	63.56 ± 3.65 ^{A, g}	51.29 ± 0.70 ^{B, d}	4.34 ± 0.35 ^{C, f}	6.52 ± 0.30 ^{C, e}
15	5.0	60	40	64.67 ± 0.27 ^{A, fg}	51.27 ± 0.74 ^{B, d}	3.97 ± 0.14 ^{D, g}	6.44 ± 0.30 ^{C, e}

หมายเหตุ: อักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่แตกต่างกันตาม
 แนวนอนภายในสภาวะการสกัดเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
 อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กเป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง
 ภายในชนิดสารสกัดและพันธุ์แก้วมังกรเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ประวัติผู้เขียน

นางสาวภขมน พิษญาจิตติพงษ์ เกิดเมื่อวันที่ 28 มกราคม พ.ศ. 2528 ที่กรุงเทพมหานคร จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายจากโรงเรียนเบ็ญจะมะมหาราช ในปีการศึกษา 2551 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และในปีการศึกษา 2552 เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประสบการณ์ทำงาน/ฝึกอบรม

- ปฏิบัติงานรายวิชาการฝึกงานในโรงงานในแผนกควบคุมคุณภาพเบียร์ ณ บริษัท ขอนแก่นบริวเวอรี่ จำกัด จังหวัดขอนแก่น (มีนาคม-พฤษภาคม 2550)
- ศึกษา “การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ในพริกหัวเรือขณะอบแห้ง” (โครงการค้นคว้าวิจัยในหลักสูตรเทคโนโลยีการอาหาร) ณ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
- ผู้ช่วยวิจัยโครงการ “การผลิตและการศึกษาสมบัติทางชีวภาพของสีผสมอาหารแอนโทไซยานินธรรมชาติจากเปลือกแก้วมังกร” ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (พ.ศ. 2552-2554)