

ผลของอุณหภูมิอากาศเข้าและปริมาณมัลโตเดกซ์ทริน
ต่อคุณภาพของผงแห้งมังกรชนิดสเปรย์แห้ง

EFFECT OF INLET AIR TEMPERATURE AND MALTODEXTRIN CONTENT
ON QUALITIES SPRAY DRIED DRAGON FRUIT POWDER



ปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครพนม

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

ผลของอุณหภูมิอากาศขาเข้าและปริมาณมอลโตเดกตริน
ต่อคุณภาพของแก้วมังกรผงโดยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย
EFFECT OF INLET AIR TEMPERATURE AND MALTODEXTRIN CONTENT
ON QUALITIES SPRAY DRIED DRAGON FRUIT POWDER



T139702



นางสาว ศศิมา เรืองมนัสสุทธิ

นางสาว หทัยชนก วาณิชเจริญทรัพย์

นาย ณัฐกฤษ จารุวัฒนาสกุล

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 139702
วัน,เดือน,ปี..... 16 พ.ย. 2558

๖.12725833

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EFFECT OF INLET AIR TEMPERATURE AND MALTODEXTRIN CONTENT
ON QUALITIES SPRAY DRIED DRAGON FRUIT POWDER

MS. SASIMA RUANGMANASSUTTI

MS. HATAICHANOK WANEITCHAROENSUP

MR. NATAKIT JARUWATTHANASAKULL

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2557

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ผลของอุณหภูมิอากาศขาเข้าและปริมาณมอลโตเดกตรินต่อคุณภาพของแก้วมังกรผงโดยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย
Effect of inlet air temperature and maltodextrin content on qualities spray dried dragon fruit powder

ผู้จัดทำ

1. นางสาว ศศิมา เรืองมนัสสุทธิ
2. นางสาว หทัยชนก วาณิชเจริญทรัพย์
3. นาย ณัฐกฤษ จารุวัฒนาสกุล



..... วรีสา ชูวัฒนกุล

(ดร. วรีสา ชูวัฒนกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการ	ผลของอุณหภูมิอากาศขาเข้าและปริมาณมอลโตเดกตรินต่อคุณภาพของแก้วมังกรผง โดยวิธีอบแห้งแบบฟุ้งลอย
จัดทำโดย	นางสาว ศศิมา เรืองมนัสสุทธิ นางสาว หทัยชนก วาณิชเจริญทรัพย์ นาย ณัฐกฤษ จารุวัฒนาสกุล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. วรวิสา ชูวัฒนกุล สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปริญญาานิพนธ์	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร

บทคัดย่อ

แก้วมังกรแดงเป็นแหล่งสำคัญของเบตาไซยานินซึ่งเป็นรงควัตถุสีแดงม่วง การผลิตเบตาไซยานินในรูปแบบผงทำให้เกิดความสะดวกในการใช้งานเป็นสีผสมอาหารจากธรรมชาติ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการอบแห้งน้ำแก้วมังกรแดงด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟุ้งลอย และศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศขาเข้าและปริมาณมอลโตเดกตริน (DE10) โดยใช้การวิเคราะห์การตอบสนองพื้นผิว และสมการถดถอยเชิงเส้นหลายตัวแปร เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษาและคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์แก้วมังกรผง ออกแบบการทดลองแบบ 3^k full factorial ตัวแปรที่ทำการศึกษามีทั้งหมด 2 ตัวแปร คือ อุณหภูมิอากาศขาเข้าที่ 170, 180 และ 190°C และปริมาณมอลโตเดกตรินร้อยละ 75, 100 และ 125 ของของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ จากการศึกษาคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ผงพบว่า ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้อยู่ในช่วง 27.80% - 59.18% ความชื้นของผลิตภัณฑ์ผงอยู่ในช่วง 1.19 - 2.82 % ปริมาณเบตาไซยานินอยู่ในช่วง 0.74 mg/g - 144.48 mg/g นอกจากนี้ยังมีตัวแปรที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ผงอีก ได้แก่ ค่าการวัดสี ค่าการกระจายตัว ค่าความเป็นกรด-เบส ค่าการละลาย และ ค่าการดูดซับความชื้น จากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิอากาศขาเข้า 170°C และปริมาณมอลโตเดกตรินร้อยละ 100 ของของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ ได้ปริมาณแก้วมังกรแดงผง 52.96% โดยมีปริมาณความชื้นของแก้วมังกรแดงผง 1.85% ปริมาณเบตาไซยานิน 144.48 mg/g ค่าปริมาณน้ำอิสระ 0.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project title Effect of inlet air temperature and maltodextrin content on qualities spray dried dragon fruit powder

By Ms. Sasima Ruangmanassutti
Ms. Hataichanok Waneitcharoensup
Mr. Natakrit Jaruwatthanasakull

Advisor Dr. Varesa Chuwattanakul
Department of Food Engineering
Faculty of Food Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic year 2014

Abstract

Red dragon fruit is one of an important source of betacyanins which are red-violet pigments. The production of powder led to comfort using the betacyanin as natural food colorant. The aim of this work was to study effect of inlet air temperature and maltodextrin concentration on qualities spray dried dragon fruit powder by using response surface methodology (RSM) and multiple liner regression equation to describe the relationship between variables and properties of red dragon fruit powder. A 3^k full factorial experiment was designed by focusing on two variables which were inlet air temperatures (170, 180 and 190°C) and concentration of maltodextrin (75, 100 and 125% of total soluble solid) carried out in triplicate. The results showed that yield of spray drying powder was 27.80% - 59.18%. The moisture content 1.19 - 2.82 % and betacyanin content 0.74 mg/g - 144.48 mg/g. In addition, color values, dispersibility, pH, solubility and hygroscopicity were analyzed. The optimum value of this study for air inlet temperature was 170°C and the concentration of maltodextrin was 100% of total soluble solid. The yield of spray drying powder was 52.96% with the moisture content 1.85%. The highest betacyanin content was 144.48 mg/g and water activity at 0.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำโครงการวิจัยในครั้งนี้สำเร็จล่วงได้ดี โดยได้รับความกรุณาและความอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ปรึกษา ดร. วรีสา ชูวัฒนกุล ที่ได้ให้คำแนะนำและคำปรึกษา ชี้แนะแนวทางในการศึกษาวิจัย พร้อมทั้งช่วยปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆ

ขอขอบคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ ประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ รวมทั้งความห่วงใยและความช่วยเหลือในด้านต่างๆ

ขอขอบคุณ คุณอำนาจ คุตะคุ, คุณวราภรณ์ มาไพศาลทรัพย์, คุณสุธัญญา ถาดนาค และคุณบุญนำ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการและธุรการ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือในด้านการดำเนินงานวิจัยและข้อมูลในด้านเอกสารทำงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ นักศึกษาทุกคน ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และคอยสอบถามความก้าวหน้าของโครงการ สุดท้ายนี้คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากปริญญาบัตรเล่มนี้ คณะผู้จัดทำขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ศศิมา เรืองมนัสสุทธิ
หทัยชนก วาณิชเจริญทรัพย์
ณัฐกฤษ จารุวัฒนาสกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

ปกในภาษาไทย	I
ปกในภาษาอังกฤษ	II
หน้าอุนุมัติ	III
บทคัดย่อ	IV
กิตติกรรมประกาศ	VI
สารบัญ	VII
สารบัญรูป	XI
สารบัญตาราง	XIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ตรวจเอกสาร	4
2.1 แก้วมังกร	4
2.1.1 ประวัติแก้วมังกร	4
2.1.2 ลักษณะทั่วไปของแก้วมังกร	4
2.1.3 สายพันธุ์	5
2.1.4 ประโยชน์แก้วมังกร	6
2.1.5 คุณค่าทางโภชนาการของแก้วมังกร	6
2.1.6 ข้อมูลเกี่ยวกับแก้วมังกรผง	6
2.1.7 คุณสมบัติทางเคมีของแก้วมังกร	7
2.1.8 การตลาด	7
2.2 สีส้มอาหาร	8
2.2.1 ประเภทของสีส้มอาหาร	8
2.3 การทำแห้งแบบพ่นฝอย	8
2.3.1 หลักการของระบบการอบแห้งแบบพ่นฝอย	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

2.3.2	ทฤษฎีการทำแห้งแบบพ่นฝอย	9
2.3.3	ประเภทของหัวฉีด	10
2.3.4	สมดุลความร้อนและสมดุลมวลสาร	11
2.3.5	ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการทำแห้ง	14
2.3.6	ประโยชน์ของการทำแห้ง	15
2.4	กลาสทรานซิชั่นกับกระบวนการอบแห้ง	15
2.4.1	การเกิดกลาสทรานซิชั่นกับกระบวนการอบแห้งอาหาร	15
2.4.2	ผลกระทบของการเกิดกลาสทรานซิชั่นระหว่างการอบแห้งที่มีต่อคุณภาพอาหาร	16
2.5	กระบวนการเอนแคปซูเลชั่น	16
2.5.1	หลักการของเอนแคปซูเลชั่น	16
2.5.2	การเอนแคปซูเลชั่นโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	17
2.5.3	ชนิดของไมโครแคปซูลที่ผลิตโดยใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชั่น	18
2.5.4	ปัจจัยที่มีผลต่อความเสถียรของสารให้กลิ่นรสผ่านการเอนแคปซูเลท	20
2.5.5	ชนิดของสารห่อหุ้ม	20
2.6	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22
บทที่ 3	อุปกรณ์และการทำการทดลอง	23
3.1	การเตรียมวัตถุดิบ	23
3.2	การเตรียมการทดลอง	25
3.2.1	เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer)	25
3.2.2	ตัวแปรที่ศึกษาของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	26
3.3	แผนการทดลอง	28
3.3.1	การออกแบบแผนการทดลองของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	28
3.3.2	การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	29
3.4	วิธีการทดลอง	29
3.4.1	การเตรียมสาร	29
3.4.2	การทำแห้ง	29
3.5	การวิเคราะห์คุณลักษณะของแก้วมังกรผง	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

3.5.1 ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้	30
3.5.2 ความหนาแน่น	30
3.5.3 ปริมาณความชื้น	31
3.5.4 การดูดซับความชื้น	31
3.5.5 การกระจายตัว	32
3.5.6 ความสามารถในการละลาย	32
3.5.7 วอเตอร์แอกติวิตี	33
3.5.8 ความเป็นกรด-เบส	33
3.5.9 ค่าสี	33
3.5.10 ปริมาณบีตาไซยานิน	34
บทที่ 4 ผลการทดลอง	35
4.1 คุณสมบัติวัตถุดิบแก้วมังกร	35
4.2 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย	36
4.2.1 ความชื้น	40
4.2.2 ร้อยละปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้	41
4.2.3 ปริมาณเบตาไซยานิน	42
4.2.4 ความหนาแน่น	43
4.2.5 ปริมาณน้ำอิสระ	44
4.2.6 ค่าการดูดความชื้นกลับ	45
4.2.7 ค่าการละลาย	46
4.2.8 ค่าการกระจายตัว	47
4.2.9 ค่าความเป็นกรดต่าง	48
4.2.10 ค่าความสว่าง (L*)	49
4.2.11 ค่าความเป็นสีแดง (a*)	50
4.2.12 ค่าความเป็นสีเหลือง (b*)	51
4.2.13 ค่าสี (ΔE)	52
4.3 ผลการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำแห้งแก้วมังกรผง	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	54
5.1 สรุปผลการทดลองการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	54
5.2 ข้อเสนอแนะ	56
เอกสารอ้างอิง	57
ภาคผนวก ก	63
ภาคผนวก ข	70



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แก้วม้งกร	4
2.2 ต้นแก้วม้งกร	5
2.3 แก้วม้งกรสายพันธุ์ต่าง	5
2.4 หัวฉีดยาแบบหมุน	10
2.5 หัวฉีดยาแบบแรงดัน	11
2.6 หัวฉีดยาแบบสองช่องไหล	11
2.7 การเกิด wall material	17
2.8 การเอนแคปซูลโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย	17
2.9 ไมโครแคปซูลแบบ single core	18
2.10 ไมโครแคปซูลแบบ Multi-core หรือ matrix encapsulation	19
2.11 ไมโครแคปซูลแบบ Multi-wall หรือ control release	19
3.1 ขั้นตอนการเตรียมสารสกัดสีแดงที่ใช้ในการทำแห้ง	24
3.2 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	25
3.3 ขั้นตอนการทดลองผลิตแก้วม้งกรผงด้วยกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย	27
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และความชื้นของผลิตภัณฑ์ผง	38
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และร้อยละปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้	39
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และปริมาณเบตาไซยานิน	40
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และความหนาแน่น	41
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และปริมาณน้ำอิสระ	42
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และค่าการดูดความชื้นกลับ	43
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และค่าการละลาย	44
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และค่าการกระจายตัว	45
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และความเป็นกรด – ด่าง	46
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และความสว่าง	47
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และความเป็นสีแดง	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และความเป็นสีเหลือง	49
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และค่าสี	50
4.14 สภาวะที่เหมาะสม	51



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 เทคนิคต่างๆที่ใช้ในการเอนแคปซูเลชัน	19
2.2 คุณลักษณะเฉพาะของสารเคลือบแต่ละชนิดที่ใช้ในกระบวนการเอนแคปซูเลท	21
3.1 เจือไนซ์ในการดำเนินการทำแห้งแบบพ่นฝอย	26
4.1 คุณสมบัติเริ่มต้นน้ำแก้มังกรก่อนการทำแห้งแบบพ่นฝอย	35
4.2 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก้มังกรผงด้วยการทำแก้งแบบพ่นฝอย	36
4.3 ค่า Standard deviation จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก้มังกรผงด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย	37
4.4 สัมประสิทธิ์ของสมการของคุณสมบัติต่างๆ เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบโพลีโนเมียลกำลังสอง	39



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

แก้วมังกร เป็นผลไม้ที่มีถิ่นกำเนิดอยู่ในอเมริกากลาง ส่วนในเมืองไทยเป็นที่รู้จักเมื่อราว พ.ศ. 2534 แก้วมังกรเป็นไม้ในตระกูลกระบองเพชร มีลำต้นยาวประมาณ 500 เซนติเมตร มีรากทั้งในดินและรากอากาศ ดอกขนาดใหญ่ยาวประมาณเกือบ 30 เซนติเมตร ส่วนผลของแก้วมังกรมีลักษณะรูปทรงเป็นทรงกลมรี โดยมีเมล็ดดำเล็กคล้ายเม็ดงาหรือเม็ดแมงลักกระจายฝังอยู่ทั่วเนื้อ แก้วมังกรส่วนใหญ่สายพันธุ์ที่นิยมปลูกมี 3 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์เนื้อขาวเปลือกแดง พันธุ์เนื้อขาวเปลือกเหลือง และพันธุ์เนื้อแดงเปลือกแดง (นิดดา หงส์วิวัฒน์และคณะ, 2550) แต่ในประเทศไทยส่วนใหญ่นิยมเป็นพันธุ์เนื้อขาวเปลือกแดง และพันธุ์เนื้อแดงเปลือกแดง แก้วมังกรเป็นผลไม้ที่มีกากใยสูง แคลอรีต่ำ อุดมไปด้วยวิตามินซีคลอโรฟิลล์ เมล็ดของแก้วมังกรอุดมไปด้วยไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งมีประโยชน์ต่อร่างกาย (สุรพงษ์ โกสิยะจินดา, 2545) ผลแก้วมังกรนอกจากจะรับประทานสดยังดัดแปลงทานในรูปแบบอื่นได้หลากหลาย แต่อย่างไรก็ตามแก้วมังกรเป็นผลไม้ที่ขึ้นกับฤดูกาล ผลผลิตแก้วมังกรมีมากในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤศจิกายนของทุกปี ส่งผลให้ในบางปีผลผลิตแก้วมังกรมีปริมาณมากล้นตลาดและราคาถูกลง ทำให้เกิดการสูญเสียทางเศรษฐกิจ คิดเป็นมูลค่าสูง จึงควรมีการศึกษาการเก็บรักษาหรือนำแก้วมังกรไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ หรือแปรรูปให้อยู่ในรูปแบบที่หลากหลาย สามารถรับประทานได้ตลอดทั้งปี ซึ่งปัจจุบันในไทยยังต้องมีการนำเข้าแก้วมังกรในบางสายพันธุ์ การแปรรูปแก้วมังกรให้สามารถเก็บรักษาได้นานขึ้นถือเป็นทางเลือกที่สำคัญ เพื่อช่วยลดการนำเข้าจากต่างประเทศ และช่วยลดการสูญเสียของแก้วมังกรในช่วงที่มีปริมาณล้นตลาด

แก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงเปลือกแดง (*Hylocercus costaricensis*) หรือพันธุ์คอสตาริกา เปลือกสีแดงจัด ผลเล็กกว่าพันธุ์เนื้อขาวเปลือกแดงแต่รสหวานกว่า มีสีเป็นเอกลักษณ์ การรับประทานส่วนใหญ่จะทานสุก แก้วมังกรเนื้อแดงเป็นผลไม้ที่มีน้ำอยู่ค่อนข้างเยอะ อาจเข้าใจง่ายและทำให้เน่าเสียในระหว่างการขนส่ง นอกจากนี้ปริมาณผลผลิตที่มากกว่าความต้องการจึงทำให้มีแก้วมังกรเนื้อแดงที่ล้นตลาดและเหลือทิ้ง ในขณะที่เดียวกันบางช่วงของปีปริมาณผลผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการ จึงควรมีการเก็บรักษาหรือถนอมอาหารโดยการนำแก้วมังกรเนื้อแดงไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและเป็นการเพิ่มมูลค่าแก่แก้วมังกรเนื้อแดง การทำแห้งแก้วมังกรเนื้อแดงผจึงเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับการช่วยในการยืดอายุการเก็บรักษา การขนส่ง และเพิ่มมูลค่าให้กับแก้วมังกรเนื้อแดง นอกจากนี้ผลพลอยได้อีกประการหนึ่งคือสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นส่วนผสมอาหารได้อีกด้วย

แก้วมังกรเนื้อแดงเป็นผลไม้ที่มีทั้งสรรพคุณทางยา คุณค่าทางโภชนาการ และยังมีประโยชน์ต่อสุขภาพกับความงาม มักใช้บริโภคเพื่อจุดประสงค์ในการลดน้ำหนัก เพราะเนื่องจากเมื่อกินแก้วมังกรแล้วจะรู้สึกอิ่ม และแก้วมังกรเป็นผลไม้ที่มีกากใยสูงประกอบกับให้แคลอรีต่ำ สารที่มีประโยชน์คือ มิวซิเลจ (Mucilage) ซึ่งมีในเฉพาะในตระกูลกระบองเพชร มีลักษณะคล้ายวุ้นเจลช่วยดูดซับน้ำในร่างกาย และควบคุมระดับกลูโคสในคนที่ เป็นโรคเบาหวานในชนิดที่ไม่ต้องใช้อินซูลินได้ สามารถช่วยในการบรรเทาโรคโลหิตจางช่วยเพิ่มธาตุเหล็กให้ร่างกาย ช่วยในการป้องกันโรคหัวใจและหลอดเลือดหัวใจอุดตัน มะเร็งลำไส้ และต่อมลูกหมาก ช่วยเสริมสร้างภูมิคุ้มกันของกระดูกและฟัน (สวทช., 2558) นอกจากนี้สารนี้ยังเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สีที่ได้จากธรรมชาติส่วนใหญ่มักจะอยู่ในรูปของแอนโทไซยานิน (Anthocyanins) ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) แคโรทีนอยด์ (Carotenoids) ควินิน (Quinines) แอลคาลอยด์ (Alkaloids) และบีตาเลน (Betalains) มักจะพบในพืช ผัก ผลไม้หรือดอกไม้ บีตาเลน เป็นกลุ่มของสารประกอบที่ให้สี ซึ่งพบในหัวบีต (Beet root) สารในกลุ่มบีตาเลนประกอบด้วยสารให้สี 2 กลุ่มย่อย ได้แก่ บีตาไซยานิน (Betacyanins) ซึ่งเป็นสารให้สีแดง-ม่วง และบีตาแซนทิน (Betaxanthins) ซึ่งเป็นสารให้สีเหลือง คุณสมบัติที่สำคัญของบีตาเลน คือ ละลายน้ำได้ดี และจัดเป็นสารให้สีที่ในโครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วยไนโตรเจน (นิธียา, 2549) ซึ่งในเปลือกของผลแก้วมังกรและเนื้อแก้วมังกรเนื้อแดง พบว่าเป็นสารในกลุ่มของบีตาเลน (ถาวร และนิพนธ์, 2547) การแปรรูปแก้วมังกรเนื้อแดงให้อยู่ในสภาพผงช่วยลดการสูญเสีย รักษาคุณค่าทางโภชนาการ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น เช่น ใช้เป็นเครื่องเติมขงละลายได้ง่าย หรือใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารให้มีคุณค่าทางโภชนาการ สี กลิ่น รส ที่ดีขึ้น การแปรรูปผลิตภัณฑ์ให้เป็นลักษณะผงแห้งสามารถทำได้ด้วยกรรมวิธีการทำแห้ง เช่น การทำแห้งแบบพ่นฝอย, การทำแห้งแบบลูกกลิ้ง เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามการแปรรูปเพื่อให้ได้ลักษณะผลิตภัณฑ์ผงที่มีคุณสมบัติที่ดีตรงตามความต้องการนั้น จำเป็นต้องเข้าใจถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อสามารถควบคุมการผลิตให้ได้ผลดี

ดังนั้นโครงงานนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากรรมวิธีการแปรรูปผลผลิตแก้วมังกรเนื้อแดงให้มีสภาพเป็นผงแห้งโดยเน้นศึกษาวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย ทำการวางแผนการทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบของตัวแปรที่เกี่ยวข้องต่อการทำแห้งแบบพ่นฝอย และศึกษาคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ผงแห้งที่ได้ ตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วย อุณหภูมิการทำแห้ง (อุณหภูมิอากาศเข้า) และปริมาณสารช่วยทำแห้ง ส่วนคุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่จะทำการศึกษาประกอบด้วย ค่าความชื้น ค่าสี ความหนาแน่น ปริมาณผลผลิตที่ได้ ความสามารถในการละลาย ความสามารถในการดูดซับความชื้น คุณสมบัติทางเคมี สี ความเป็นกรดต่าง ปริมาณสารบีตาเลน เป็นต้น การทำแห้งคือ กระบวนการในการดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ โดยการทำให้น้ำระเหยเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นลดลง การทำแห้งมีกรรมวิธีในการทำแห้งเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ผงที่นิยมคือการทำแห้งแบบพ่นฝอย ทั้งนี้การจะได้ผลิตภัณฑ์ที่ดีขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆของการทำแห้ง รายงานฉบับนี้ได้ทำการเปรียบเทียบการทำแห้งแก้วมังกรเนื้อแดงผงด้วยการกำหนดตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการทำแห้งพร้อมทั้งศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของแก้วมังกรผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย

1.2 วัตถุประสงค์

- เพื่อศึกษาวิธีการผลิตแก้วมังกรผงด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย
- เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการทำแห้งแก้วมังกรเนื้อแดง เช่น อุณหภูมิของการทำแห้ง (อุณหภูมิอากาศเข้า) และปริมาณสารช่วยทำแห้ง
- เพื่อศึกษาคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์แก้วมังกรผงที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- วัสดุที่ใช้คือ เปลือกส่วนในและเนื้อของแก้วมังกรเนื้อแดงพันธุ์คอสตาริกา (*Hylocereus spp.*) จากตลาดไท จังหวัดกรุงเทพมหานคร
- ตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วย ปริมาณสารช่วยทำแห้ง และ อุณหภูมิอากาศขาเข้า
- คุณสมบัติของแก้วมังกรผงที่ศึกษาประกอบด้วยวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ปริมาณผลผลิตที่ได้ ปริมาณความชื้นของแก้วมังกรผง ปริมาณน้ำอิสระ ความหนาแน่นโดยรวม คุณสมบัติการดูดซับความชื้น ความสามารถในการกระจายตัว ความสามารถในการละลาย และค่าสี วิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมี ได้แก่ ปริมาณของแข็งทั้งหมดและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำแก้วมังกรหรือแก้วมังกรเนื้อแดง ปริมาณบีตาเลน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- เข้าใจกระบวนการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย
- ทราบผลกระทบของตัวแปรที่มีต่อเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย
- ได้แนวทางในการผลิตผลิตภัณฑ์แปรรูปแก้วมังกรผง ที่มีคุณลักษณะตามที่ต้องการ
- สามารถแปรรูปแก้วมังกรเนื้อแดงให้มีลักษณะผลิตภัณฑ์ผง เพื่อประยุกต์ใช้เป็นสัสมอาหาร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

2.1 แก้วมังกร (นายสันติชัย สิริวัชรโธม, ม.ป.ป.)

แก้วมังกรเป็นพืชในตระกูลกระบองเพชรในวงศ์ Cactaceae ซึ่งเป็นพืชที่เพาะปลูกได้ง่ายและกำลังเป็นที่นิยมจากผู้บริโภคเนื่องจากมีคุณค่าทางอาหารสูง สารให้สีที่สำคัญในแก้วมังกรทั้งในส่วนเนื้อและเปลือกของแก้วมังกรคือ เบตาไซยานิน (Betacyanin) ให้สีแดง-ม่วงนอกจากจะเป็นสารให้สีแล้ว ยังมีสมบัติเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันและต้านการแบ่งเซลล์ของเนื้องอกหลายชนิดอีกด้วย ดังนั้นแก้วมังกรจึงถือเป็นพืชที่มีศักยภาพในการพัฒนาเพื่อใช้เป็นสืผสมอาหารที่มีความปลอดภัยและคุณค่าทางอาหารสูงด้วย

2.1.1 ประวัติแก้วมังกร (พืชเกษตร, 2558)

แก้วมังกรเป็นผลไม้ที่ขึ้นชื่อของประเทศเวียดนามปัจจุบันไทยนำเข้าและนิยมปลูกมากในแถบทุกภาคเนื่องจากมีเนื้อมากให้รสหวานเล็กน้อยมีคุณค่าทางอาหารสูงโดยเฉพาะแร่ธาตุต่างๆ

แก้วมังกรเป็นพืชล้มลุกและเป็นไม้เลื้อยอายุยาวนานหลายปี จัดอยู่ในกลุ่มของกระบองเพชรมีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกากลาง เข้ามาในเอเชียครั้งแรกด้วยประเทศเวียดนามและถือเป็นไม้ผลที่ส่งออกมากเป็นอันดับต้นๆ ของเวียดนาม รวมถึงประเทศไทยที่มีการนำเข้ามาจำหน่าย แต่ในช่วงปี 2543 ไทยได้เริ่มนำเข้าพันธุ์จากประเทศเวียดนามเข้ามาปลูกเพื่อบริโภค และพัฒนาเป็นรูปแบบการค้ามากขึ้นในปัจจุบันทั้งส่งขายภายในประเทศ และส่งออกต่างประเทศในทวีปยุโรป อเมริกา และในทวีปเอเชีย เช่น จีน ฮองกง สิงคโปร์ ญี่ปุ่น การตั้งชื่อว่าแก้วมังกร เนื่องจากลักษณะผลมีรูปร่างคล้ายลูกแก้วที่มีเปลวไฟที่อยู่ระหว่างมังกร 2 ตัว หันหน้าเข้าหากันโดยเปลวไฟบนลูกแก้วมีลักษณะคล้ายกับกบที่ติดอยู่บนผลของแก้วมังกรจึงเป็นที่มาของชื่อเรียกนี้



รูปที่ 2.1 แก้วมังกร

(ที่มา : <https://www.gotoknow.org/posts/278866>)

2.1.2 ลักษณะทั่วไปของแก้วมังกร (นิตดา หงส์วิวัฒน์, 2550)

แก้วมังกรเป็นไม้เลื้อย มีลำต้นยาวประมาณ 5 เมตร มีรากทั้งในดินและรากอากาศ ชอบดินร่วนระบายน้ำดี ชอบแสงแดดพอเหมาะ โลงแข็งแรงแต่ไม่แรงกล้าเกินไป ดอกสีขาวขนาดใหญ่กลีบยาวเรียงซ้อนกัน บานตอนกลางคืน ผลแก้วมังกรมีรูปทรงเป็นทรงกลมรี สีของเปลือกผลเมื่อดิบเป็นสีเขียว เมื่อสุกเป็นมีสีแดงม่วงหรือสีบานเย็น มีกบเลี้ยงสีเขียวติดอยู่รอบผล ผลแก้วมังกรส่วนใหญ่มีน้ำหนักประมาณ 300 - 600 กรัม เมื่อผ่าผลแก้วมังกรจะเห็นเนื้อของผลแก้วมังกรสีขาวหากผลนั้นเป็นแก้วมังกรพันธุ์เวียดนามหรือพันธุ์ไทย และเนื้อผลจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีสีแดงหรือชมพูเมื่อผลนั้นเป็นพันธุ์เนื้อสีแดง โดยมีเมล็ดสีดำเล็กคล้ายๆ เม็ดงาหรือเม็ดแมงลักกระจายฝังอยู่ที่หัวเนื้อ



รูปที่ 2.2 ต้นแก้วมังกร

(ที่มา : <http://www.kennydragonfruit.com/pages/image/imagepage1.html>)

2.1.3 สายพันธุ์ (นิดดา หงส์วิวัฒน์, 2550)

แก้วมังกรสายพันธุ์ที่นิยมปลูกมีดังนี้

1. พันธุ์เนื้อขาวเปลือกแดง (ชื่อวิทยาศาสตร์: *Hylocercus undatus* (Haw) Brit. & Rose.)
เปลือกสีชมพูสด ปลายกลีบสีเขียว รสหวานอมเปรี้ยวหรือหวานจัด
2. พันธุ์เนื้อขาวเปลือกเหลือง (ชื่อวิทยาศาสตร์: *Hylocercus megalanthus*)
เปลือกสีเหลือง ผลเล็กกว่าพันธุ์อื่นๆ เนื้อสีขาว เมล็ดขนาดใหญ่และมีน้อยกว่าพันธุ์อื่น รสหวาน
3. พันธุ์เนื้อแดงเปลือกแดง (ชื่อวิทยาศาสตร์: *Hylocercus costaricensis*)
หรือพันธุ์คอสตาริกาเปลือกสีแดงจัด ผลเล็กกว่าพันธุ์เนื้อขาวเปลือกแดง แต่รสหวานกว่า



รูปที่ 2.3 แก้วมังกรสายพันธุ์ต่างๆ

(ที่มา : http://dragonfruitbykanokwan.blogspot.com/p/blog-page_5799.html)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 ประโยชน์แก้วมังกร

แก้วมังกรเป็นผลไม้ที่มีประโยชน์ดังที่ปรากฏในหนังสือ ผลไม้ 111 ชนิดคุณค่าอาหารและการกินของ นิตดา หงส์วิวัฒน์ ได้กล่าวไว้ว่า แก้วมังกรนิยมรับประทานเป็นผลไม้สด เป็นส่วนผสมของฟรุตสลัดหรือปั่นเป็นน้ำผลไม้ เป็นผลไม้ที่สามารถรับประทานเพื่อบรรเทาอาการโรคความดันโลหิต โรคเบาหวานตลอดจนช่วยลดความอ้วนเนื่องจากเป็นผลไม้ที่มีแคลอรีต่ำ เป็นผลไม้ที่มีกากใยสูง มีวิตามินและแร่ธาตุต่างๆ ที่ช่วยทั้งในเรื่องการบำรุงผิวพรรณ กระดูกและฟันแข็งแรง ช่วยดูดซับสารพิษต่างๆ ออกจากร่างกาย เช่น สารตกค้างจากยาฆ่าแมลงที่มากับผัก สารตกค้างเช่นตะกั่วที่มาจากควันท่อไอเสียรถยนต์ และสารอื่นๆ และยังช่วยลดการเกิดมะเร็งอีกด้วย

กรมวิชาการเกษตรให้ข้อมูลเกี่ยวกับเมล็ดของแก้วมังกร ลงในหนังสือพิมพ์แนวหน้า ฉบับวันอาทิตย์ที่ 27 กรกฎาคม 2557 ว่ามีความเชื่อที่ว่าเมล็ดสีดำเล็กๆ ที่อยู่ในเนื้อของแก้วมังกรนั้นเป็นสาเหตุของการเกิดมะเร็ง ทำให้ผู้คนมากมายไม่กล้ารับประทานแก้วมังกร อย่างไรก็ตามนอกจากจะยังไม่มีการศึกษาใดที่ยืนยันความเชื่อนี้แล้ว ยังมีผลการศึกษาพบว่าเจ้าเมล็ดสีดำเล็กๆ ในเนื้อแก้วมังกรนั้นอุดมไปด้วย สารกลุ่ม FOS ในปริมาณสูง มีคุณสมบัติเป็นสาร Prebiotic ที่ช่วยปรับสมดุลของแบคทีเรียในลำไส้ และมีฤทธิ์ในการดูดซับสารเคมีและสารพิษในร่างกาย นอกจากนี้เจ้าเมล็ดสีดำเล็กๆ เหล่านี้ยังมีกรดไขมันซึ่งทำหน้าที่ในการขจัดคอเลสเตอรอลชนิดไม่ดีออกจากร่างกายและช่วยกระตุ้นในการเพิ่มคอเลสเตอรอลชนิดดีได้อีกด้วย ซึ่งอย่างไรก็ตามถึงแม้แก้วมังกรเป็นผลไม้ที่มีประโยชน์มากมาย แต่ก็ควรรับประทานในปริมาณที่พอเหมาะ

2.1.5 คุณค่าทางโภชนาการของแก้วมังกร (นิตดา หงส์วิวัฒน์, 2550)

แก้วมังกรเป็นผลไม้มีคุณค่าทางโภชนาการเหมือนกับผลไม้อื่นๆ มีสารอาหาร วิตามิน แร่ธาตุ โยอาหาร และที่สำคัญคือ ให้พลังงานต่ำจากข้อมูลของกองโภชนาการกรมอนามัยระบุว่า ถ้ารับประทานแก้วมังกร 1 ลูก น้ำหนักประมาณ 100 กรัม ร่างกายจะได้แคลเซียม 9 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 32 มิลลิกรัม วิตามินซี 7 มิลลิกรัม โปรตีน 1.4 กรัม คาร์โบไฮเดรต 12.4 กรัม พลังงาน 66 กิโลแคลอรี และใยอาหาร 2.6 กรัม

2.1.6 ข้อมูลเกี่ยวกับแก้วมังกรผง (อรพิน ชัยประสพ, 2556)

การผลิตสีแดงผงจากผลแก้วมังกรพันธุ์สีแดง (*Hylocereus polyrhizus*) สามารถผลิตจากส่วนเนื้อของจากแก้วมังกรพันธุ์สีแดงทั้งหมดเมื่อปอกเปลือก และแยกเมล็ดออกแล้ว ไม่ว่าจะป็นแก้วมังกรผลเล็ก ผิวไม่สวย ตกเกรด ราคาถูกหรือไม่มีราคา ก็สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นสีแดงผงจากธรรมชาติได้ ช่วย เพิ่มมูลค่า เก็บได้นานสามารถนำไปใช้แต่งสีอาหาร ทดแทนการใช้สีสังเคราะห์ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ได้มากมายหลากหลายชนิดให้สีสวยสด ไม่มีกลิ่นและรสที่ระบควนกลิ่นรสของอาหาร เหมาะที่จะใช้ในอาหารเพื่อสุขภาพ นอกจากจะให้สีสวยสดงดงามแล้ว เมื่อเติมสีแดงผงจากผลแก้วมังกรพันธุ์สีแดงลงไปจะช่วยให้อาหารมีความข้นหนืด คุมเนื้อ ช่วยปรับปรุงคุณภาพของอาหาร ลดต้นทุนในการผลิต และยังมีคุณค่าทางโภชนาการสูง นอกจากคุณค่าทางโภชนาการแล้วยังมีสารที่มีประโยชน์คือ มีวซิเลจ (Mucilage) สารต้านออกซิเดชัน สารประกอบฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์ เป็นต้น การผลิตสีแดงผงจากผลแก้วมังกรพันธุ์สีแดง (*Hylocereus polyrhizus*) สามารถผลิตได้โดยใช้ต้นทุนต่ำ ไม่ต้องอาศัยเครื่องมือและเทคโนโลยีที่ยุ่่งยาก สีแดงผงที่ผลิตได้เก็บไว้ได้นาน สะดวกในการใช้เพียงเติมลงไปในส่วนผสมที่เป็นของเหลวก็ใช้ได้ และนอกจากจะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้เพื่อแต่งสีอาหารแล้วยังสามารถใช้เป็นวัตถุ癖ในการผลิตอาหารหลากหลายชนิด เช่น เครื่องดื่มผง ไอศกรีม ซอร์เบต และเติมเพื่อให้ความข้นหนืด

2.1.7 คุณสมบัติทางเคมีของแก้วมังกร (มณชัย เดชสังกรานนท์, 2556)

แก้วมังกรประกอบด้วยสารสำคัญที่ดีต่อสุขภาพ ได้แก่ บีตาไซยานิน (Betacyanins), ไลโคพีน (Lycopene) และวิตามินอี (Vitamin E) โดยมีความเข้มข้นเฉลี่ย 1.4, 3.4 และ 0.26 ไมโครกรัมต่อส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม ตามลำดับ ส่วนที่เป็นเมล็ดคล้ายงาดำประกอบด้วยกรดไขมันจำเป็นประมาณ 50% ชนิดที่สำคัญคือ กรดลิโนเลอิก (C18:2, 48%) และกรดลิโนเลนิก (C18:3, 1.5%) นอกจากนี้ยังพบสารโอลิโกแซ็กคาไรด์ (Oligosaccharides) ที่มีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก (Prebiotic) ส่วนที่เป็นเส้นใยจะมีสารมิวซิเลจ (Mucilage) จำนวนมากลักษณะคล้ายวุ้นเหลวมีคุณสมบัติในการดูดน้ำ จึงช่วยลดการดูดซึมไขมันประเภทไตรกลีเซอไรด์และคอเลสเตอรอลในเลือด

นอกจากนี้เปลือกและเนื้อแก้วมังกรแดงยังประกอบด้วยบีตาไซยานิน, สารฟีนอลิก, ฟลาโวนอยด์ และใยอาหารในปริมาณสูง โดยมีรายงานว่าเปลือกแก้วมังกรขาวจะมีสารบีตาเลนมากที่สุด โดยบีตาเลนจากเปลือกและเนื้อของแก้วมังกรแดงจะคล้ายกับที่พบในหัวบีท และพบว่าสารสกัดหยาบจากเปลือกแก้วมังกรขาวมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันและมีปริมาณสารประกอบฟีนอลมากที่สุด รองลงมาคือเปลือกแก้วมังกรแดงและเนื้อแก้วมังกรแดง ตามลำดับ ในขณะที่สารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรแดงเท่านั้นที่แสดงกิจกรรมการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส

2.1.8 การตลาด (จินตน์กานต์ งามสุทธ, 2558)

แก้วมังกรเป็นพืชที่ทนแล้ง ทนต่อโรคแมลง ไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมีมากนักจึงเหมาะเป็นอย่างยิ่งที่จะส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกเพื่อเป็นการค้า เนื่องจากเป็นพืชที่สามารถปลูกได้ดีในประเทศไทย โดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและใช้พื้นที่ในการปลูกเพียง 1 ตารางเมตรต่อหนึ่งเสาหรือ 4 - 5 ต้น เพราะฉะนั้นเกษตรกรสามารถปลูกได้แม้แต่บริเวณรอบๆ บ้านที่มีพื้นที่จำกัด

สำหรับการส่งออกผลแก้วมังกรนั้น ตลาดส่งออกที่น่าสดใสคงหนีไม่พ้นตลาดผู้รักสุขภาพ ปัจจุบันประเทศในแถบยุโรปและอเมริกาต่างตื่นตัวในเรื่องของสินค้าเกษตรที่มีประโยชน์สูงและปลอดภัย พืชแก้วมังกรยังเป็นผลไม้อีกหนึ่งชนิดที่จะช่วยสร้างรายได้ให้กับประเทศไทยอย่างสูง เนื่องจากเป็นผลไม้รสไม่หวานจัด ชาวต่างชาติมีความต้องการสูง คนชรา คนเป็นโรคเบาหวาน โรคความดันโลหิตสูง นิยมรับประทานเพราะกลุ่มผู้ป่วยเหล่านี้ไม่สามารถบริโภคผลไม้ที่มีรสหวานจัดได้ แก้วมังกรจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่เหมาะสมหากมีการพัฒนาพันธุ์ การขยายพันธุ์ การปลูก การเก็บเกี่ยว คุณภาพและการส่งออกอย่างจริงจังและต่อเนื่อง อีกไม่นานแก้วมังกรจะก้าวขึ้นมาเป็นพืชเศรษฐกิจในอันดับต้นๆ ที่สร้างมูลค่าการส่งออกให้กับประเทศไทยเป็นอย่างสูง ซึ่งประเทศไทยได้เปรียบหลายๆ ประเทศ เพราะมีความพร้อมในเรื่องของการปลูกแก้วมังกรทั้งภูมิประเทศและภูมิอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 สีส้มอาหาร (สุทธิ ภมรสมิตร, 2544)

สีส้มอาหารเป็นวัตถุเจือปนอาหารชนิดหนึ่ง ซึ่งผู้ผลิตอาหารใช้ผสมลงไปในอาหารเพื่อปรุงแต่งอาหารนั้นให้แลดูสวยงามหรือกลบเกลื่อนลักษณะอาหารที่เสื่อมสภาพให้คล้ายสีของอาหารตามธรรมชาติ รวมทั้งการแต่งสีเพื่อช่วยให้ดูคล้ายอาหารที่มีคุณภาพสูง

2.2.1 ประเภทของสีส้มอาหาร

1.) สีธรรมชาติ ได้แก่ สีที่ได้จากการสกัดจากวัตถุดิบธรรมชาติ ซึ่งมีรงควัตถุเป็นส่วนประกอบของเซลล์พืชหรือสัตว์ เช่น

-แอนโทไซยานิน (Anthocyanin) เป็นรงควัตถุที่พบมากในดอกอัญชัน องุ่น กระเจี๊ยบแดง เป็นต้น เป็นสีที่สามารถละลายได้ในน้ำ มีสีแดงที่มีความเป็นกรด-เบสต่ำ และเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินเมื่อความเป็นกรด-เบสสูง

-แคโรทีนอยด์ (Carotenoid) เป็นรงควัตถุที่มีสีเหลืองจนถึงแดง ละลายได้ในไขมัน พบมากในมะเขือเทศและแครอท เป็นต้น สีในกลุ่มนี้ที่นิยมใช้ในสีผสมอาหาร ได้แก่ บีตา-แคโรทีน, บีตา-อะโป-8-แคโรทีนอล และแคนทาแซนทิน สีในกลุ่มนี้จะค่อนข้างคงตัว

-คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุที่มีสีเขียว พบในพืชโดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของใบ ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสี ได้แก่ แสง อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ได้รับความร้อน

-คาราเมล (Caramel) เป็นรงควัตถุที่มีสีน้ำตาลเข้มจนถึงดำ ละลายในน้ำได้ดี

2.) สีสังเคราะห์ หมายถึง สีอินทรีย์ที่ได้จากการสังเคราะห์รวมทั้งเกลืออะลูมิเนียมหรือเกลือแคลเซียม ซึ่งมีลักษณะถูกต้องตามข้อกำหนดและปลอดภัยต่อการบริโภค สีสังเคราะห์มีราคาถูกกว่าให้สีสดและสม่ำเสมอกว่าและให้สีในช่วงที่กว้างกว่า นอกจากนี้ยังมีขายทั้งในรูปแบบเม็ดและสีผสมในรูปผง สารละลาย และสารละลายแขวนลอย ซึ่งสะดวกต่อการเลือกใช้กับอาหารชนิดต่างๆ ดังนั้นผู้ใช้นิยมใช้สีสังเคราะห์มากกว่าสีธรรมชาติ ถึงแม้ว่าสีธรรมชาติจะปลอดภัยต่อผู้บริโภคมากกว่าก็ตาม

2.3 การทำแห้งแบบพ่นฝอย (พิศาล ฝ้ายชานา, 2547)

เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dry) เป็นวิธีการที่นิยมใช้สำหรับการทำแห้งสารละลายอินทรีย์ สารประเภทอิมัลชัน (Emulsion) และของเหลวชนิดต่างๆ โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะอยู่ในรูปของผงแห้ง มักใช้วิธีนี้ในอุตสาหกรรมทางเคมีและอาหาร ผลิตภัณฑ์ส่วนหนึ่งที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีวางขายในปัจจุบัน ได้แก่ นมผง อาหารเด็ก ยา และ สีย้อม การอบแห้งด้วยวิธีนี้นอกจากจะใช้สำหรับทำแห้งอย่างรวดเร็วแล้วยังเป็นวิธีการที่มีประโยชน์มากในการลดขนาดและปริมาตรของของเหลวอีกด้วย และจากการวิจัยและพัฒนาที่ต่อเนื่องกันมาทำให้วิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอยกลายเป็นวิธีการอบแห้งที่มีประสิทธิภาพและนิยมนำมาใช้อบแห้งให้กับผลิตภัณฑ์หลายชนิดในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 หลักการของระบบการอบแห้งแบบพ่นฝอย

การทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นเทคนิคที่ใช้เพื่อระเหยน้ำออกจากของเหลวอย่างรวดเร็วโดยอากาศร้อน กระบวนการนี้ประกอบไปด้วยการพ่นของเหลว (Feed) ออกมาจนเป็นละอองขนาดเล็กเข้าผสมกับอากาศร้อนที่ไหลผ่านอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำที่อยู่ในละอองของเหลวระเหยไปทั้งหมดและได้ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปของผงแห้ง สำหรับกระบวนการทำแห้งให้กับผลิตภัณฑ์นั้น จะเริ่มทำตั้งแต่ใส่ของเหลวลงในเครื่องแล้วรอนจนของเหลวมีความชื้นในระดับที่เหมาะสมต่อการฉีดให้ออกมาเป็นละอองจากนั้นจึงแยกผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งออกมา สำหรับตัวอย่างของเหลวที่นำมาทำแห้งนั้นสามารถใช้ได้ทั้งที่เป็น ตัวทำละลาย สารประเภทอิมัลชัน (Emulsion) หรือสารแขวนลอยก็ได้

2.3.2 ทฤษฎีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

การอบแห้งแบบพ่นฝอยเป็นกระบวนการอบแห้งที่ประยุกต์ใช้กับการแปรรูปอาหารได้ทุกประเภทซึ่งอาหารที่ต้องการอบแห้งอาจอยู่ในสภาพของสารละลายที่เป็นเนื้อเดียวกันหรือสารละลายที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันที่อยู่ในรูปของสารละลายของผสมระหว่างของแข็งและของเหลว (Slurry) หรือของเหลวกับของเหลว (Emulsion) หลักการทำแห้งจะดำเนินการโดยทำให้ของเหลวดังกล่าวแตกตัวเป็นละอองหรือหยดเล็กๆ แล้วไหลผ่านไปในห้องอบแห้งซึ่งมีอากาศร้อนไหลผ่าน ในขณะที่เดียวกันเนื่องจากหยดของเหลวมีขนาดเล็กมากประมาณ 100-200 ไมโครเมตร ทำให้พื้นที่ผิวต่อปริมาตรมากขึ้นเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการถ่ายโอนมวลและความร้อน การระเหยจึงเกิดขึ้นบนพื้นที่ผิวของหยดของเหลวอนุภาคเล็กๆ อย่างรวดเร็ว

หลักการพื้นฐานของการอบแห้งแบบพ่นฝอย เมื่ออาหารเหลวถูกฉีดเป็นละอองและสัมผัสกับอากาศร้อนภายในห้องอบแห้งจะทำให้น้ำในอาหารระเหยไปอย่างรวดเร็ว จากนั้นผงของอาหารแห้งจะตกลงมาแล้วถูกแยกออกจากลมร้อนเพื่อนำไปบรรจุต่อไป กระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยประกอบด้วย 4 ขั้นตอนดังนี้

1.) การทำของเหลวให้มีอนุภาคขนาดเล็กๆ หรือหยดของเหลว (Atomization)

การทำของเหลวให้มีอนุภาคขนาดเล็กๆ หรือหยดของเหลวเป็นหัวใจหลักของการอบแห้งแบบพ่นฝอย เพราะจะเป็นตัวทำให้เกิดพื้นที่ผิวในการระเหยเพิ่มมากขึ้นซึ่งถ้ามีพื้นที่ผิวสูงก็จะสามารถระเหยน้ำออกจากอาหารได้รวดเร็ว และเป็นตัวทำให้เกิดอนุภาคเล็กๆ ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพเฉพาะทั้งขนาด รูปร่างตลอดจนความหนาแน่น เมื่อของเหลวมีขนาดเล็กลงจะเพิ่มพื้นที่ผิวในการถ่ายโอนความร้อนได้มากทำให้เกิดการถ่ายโอนความร้อนและการถ่ายโอนมวลเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

2.) การทำให้ของเหลวกระจายตัวเป็นละออง (Atomization of feed)

กระบวนการนี้เป็นการทำให้ของเหลว (Feed) พ่นฝอยกระจายตัวกลายเป็นละออง โดยใช้หัวฉีด

3.) การสัมผัสระหว่างละอองหยดของเหลวกับอากาศร้อน

ในขั้นตอนนี้อนุภาคของอาหารจะสัมผัสกับอากาศร้อนเพื่อให้น้ำในอาหารเหลวรับความร้อนจากอากาศร้อนมาทำให้เกิดการระเหยน้ำออกไป การกำหนดทิศทางของการเคลื่อนที่ของอากาศร้อนเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงมากถ้าทิศทางไหลของอากาศเหมาะสมก็จะทำให้การถ่ายโอนความร้อนเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งนี้ก็ต้องขึ้นกับจุดประสงค์ของการอบแห้ง ลักษณะของอาหารที่ต้องการอบแห้งคุณภาพและลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ การสัมผัสระหว่างอนุภาคอาหารกับอากาศร้อนแบ่งได้ 3 แบบคือ

-การไหลไปในทิศทางเดียวกัน (Co-current flow) อาหารเหลวจะถูกพ่นออกไปในทิศทางเดียวกันกับอากาศร้อนที่ไหลเข้า วิธีนี้เหมาะสำหรับสารละลายอาหารที่ไม่ทนต่อความร้อนเนื่องจากการระเหยของน้ำเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วในเวลาอันสั้นมาก อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จะต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศร้อนขาออกผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความหนาแน่นต่ำ

-การไหลสวนทางกัน (Counter-current flow) อาหารเหลวที่ถูกพ่นและอากาศร้อนไหลในทิศทางตรงกันข้ามเริ่มจากอนุภาคของอาหารที่มีอุณหภูมิต่ำเมื่อได้รับความร้อนจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งเท่ากับอุณหภูมิของอากาศร้อน ลักษณะนี้จะมีการถ่ายโอนความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพเหมาะสำหรับอาหารที่ทนต่อความร้อนสูงและต้องการความร้อนมาก

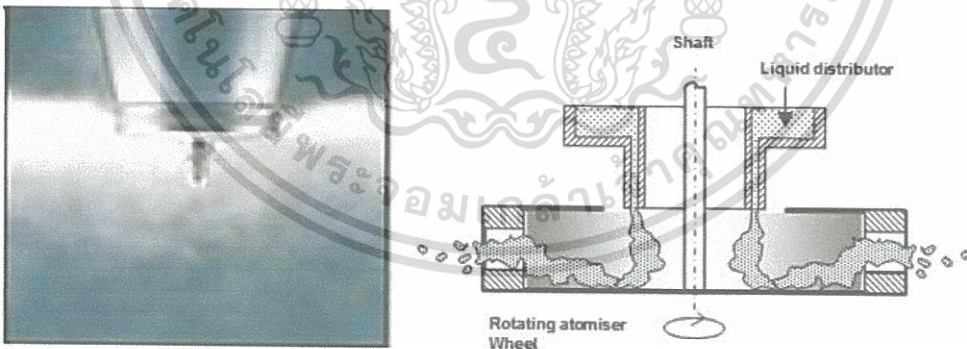
-การไหลแบบผสมกัน (Mixed-flow) สารละลายและอากาศร้อนจะไหลไปในทางเดียวกันและสวนทางกันพร้อมๆ กัน

2.3.3 ประเภทของหัวฉีด

หัวฉีดซึ่งถือว่าเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดของเครื่องพ่นฝอย (Spray dryer) ซึ่งมี 3 ชนิด คือ

หัวฉีดแบบหมุน (Rotary atomizer)

อุปกรณ์พ่นฝอยชนิดนี้ของเหลวจะไหลลงบนจานหมุนใกล้กับจุดศูนย์กลาง โดยจานหมุนจะมีความเร็วรอบประมาณ 5,000-10,000 รอบต่อนาที ของเหลวที่ตกลงบนจานหมุนจะถูกเหวี่ยงออกด้านข้างกระจายเป็นละอองขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 30-120 ไมครอน

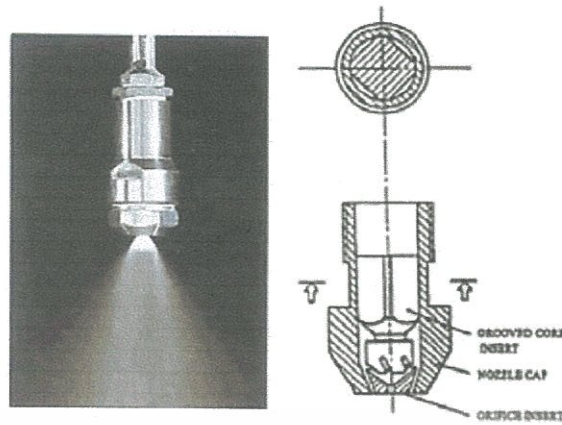


รูปที่ 2.4 หัวฉีดแบบหมุน
(ที่มา : พิศาล ฝ่ายชานา, 2547)

หัวฉีดแบบแรงดัน (Pressure nozzles atomizer)

อุปกรณ์พ่นฝอยชนิดนี้ของเหลวจะไหลผ่านช่องของหัวฉีดภายใต้ความดันสูง ทำให้ของเหลวที่ออกมาจากหัวฉีดกระจายเป็นละอองฝอยได้โดยไม่ต้องใช้อากาศ อนุภาคที่ได้จะมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 120-250 ไมครอน โดยขนาดอนุภาคจะแปรผันตรงกับอัตราการไหลของ Feed และความหนืดแต่จะแปรผกผันกับความดัน

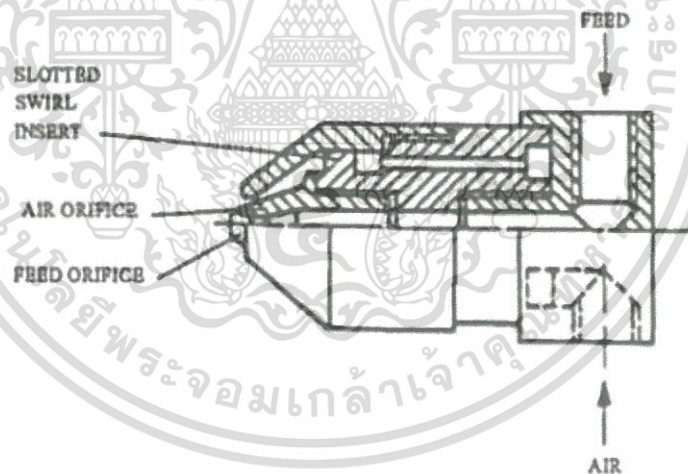
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 หัวฉีดแบบแรงดัน
(ที่มา : พิศาล ฝ่ายชานา, 2547)

หัวฉีดแบบสองของไหล (Two-fluid nozzle atomizer ,Pneumatic nozzle atomizer)

อุปกรณ์พ่นฝอยชนิดนี้ของเหลวและอากาศจะไหลผ่านหัวของหัวฉีด (Nozzle) ซึ่งจะทำให้ของเหลวแตกเป็นละอองฝอยเนื่องจากการไหลผ่านของอากาศด้วยความเร็วสูงภายในหัวฉีดการปรับอัตราการไหลของอากาศจะช่วยในการกระจายเป็นละอองของของเหลว วิธีนี้นิยมใช้กับของเหลวที่มีความหนืดสูงแต่อย่างไรก็ตามวิธีนี้มีค่าดำเนินการที่สูงแต่ให้ผลผลิตค่อนข้างต่ำ



รูปที่ 2.6 หัวฉีดแบบสองของไหล
(ที่มา : พิศาล ฝ่ายชานา, 2547)

2.3.4 สมดุลความร้อนและสมดุลมวลสาร

ในการออกแบบเครื่องอบแห้งจะพิจารณาอัตราการอบแห้งเพื่อให้ได้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ตามต้องการ ซึ่งอัตราการอบแห้งจะถูกจำกัดโดยการถ่ายโอนความร้อนเป็นหลัก การคำนวณในการอบแห้งจึงได้จากการทำสมดุลมวลสารและความร้อน และข้อมูลของการไหลของอากาศ ผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งและอุณหภูมิใช้ในการประเมินการทำงานของเครื่องอบแห้งจากการทำสมดุลมวลสารและความร้อน สำหรับการทำงานของเครื่องอบแห้งอย่างต่อเนื่องและไม่มีผลิตภัณฑ์ค้างอยู่ในหอบแห้ง มวลของอากาศและสารป้อนที่เข้าไปต่อหน่วยเวลา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเท่ากับมวลที่ออกมาของอากาศ และผลิตภัณฑ์ความร้อนที่เข้าไปของอากาศและสารป้อนจะเท่ากับความร้อนที่ออกมาของอากาศ และผลิตภัณฑ์กับความร้อนที่สูญเสียไปจากหอบแห้ง การสมดุลความร้อนและมวลสารพิจารณาได้จาก

- 1) สมดุลความชื้นสมการสมดุลความชื้นของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยสมมุติว่าไม่มีการรั่วไหล และไม่มีการติดค้างในเครื่องอบแห้งของผลิตภัณฑ์เพราะฉะนั้น

ความชื้นขาเข้า = ความชื้นขาออก

$$G_a H_1 + M_s W_{s1} = G_a H_2 + M_s W_{s2}$$

เมื่อ G_a คือ ความเร็วของอากาศเชิงมวล ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)

H_1 คือ เอนทาลปีของอากาศขาเข้า (J/mol)

M_s คือ ความชื้นของสารอบแห้ง (%db)

W_{s1} คือ น้ำหนักของสารก่อนการทำแห้ง (g)

H_2 คือ เอนทาลปีของอากาศขาออก (J/mol)

W_{s2} คือ น้ำหนักของสารหลังอบแห้ง (g)

- 2) สมดุลความร้อนพิจารณาสมการสมดุลความร้อนของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

ความร้อนขาเข้า = ความร้อนขาออก + ความร้อนสูญเสีย

$$G_a Q_{a1} + M_s Q_{s1} = G_a Q_{a2} + M_s Q_{s2} + Q_{\text{Loss}}$$

เมื่อ G_a คือ ความเร็วของอากาศเชิงมวล ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)

Q_{a1} คือ เอนทาลปีของอากาศขาเข้า (J/mol)

M_s คือ ความชื้นของสารอบแห้ง (%db)

Q_{s1} คือ เอนทาลปีของสารอบแห้งขาเข้า (J/mol)

Q_{a2} คือ เอนทาลปีของอากาศขาออก (J/mol)

Q_{s2} คือ เอนทาลปีของสารอบแห้งขาออก (J/mol)

Q_{Loss} คือ ความร้อนสูญเสีย (J)

- 3) เอนทาลปีของสารอบแห้งเป็นผลรวมระหว่างเอนทาลปีของของแข็งและเอนทาลปีของความชื้นที่อยู่ในสารอบแห้ง โดยที่เอนทาลปีจะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิอ้างอิงซึ่งกำหนดให้อุณหภูมิอ้างอิงมีค่าเท่ากับ 0°C สามารถแสดงสมการเอนทาลปีของสารอบแห้งได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q_s = C_{ds}(T - T_r) + W_s C_w (T - T_r)$$

- เมื่อ C_{ds} คือ ความร้อนจำเพาะของสารอบแห้ง (J/K)
 T คือ อุณหภูมิของสารอบแห้งก่อนการทำแห้ง (°C)
 T_r คือ อุณหภูมิของสารอบแห้งหลังการทำแห้ง (°C)
 W_s คือ น้ำหนักของสารอบแห้ง (g)
 C_w คือ ความร้อนจำเพาะของน้ำ (J/K)

4) ความร้อนจำเพาะของสารอบแห้ง, C_{ds}

Siebel's formula สามารถใช้ในการคำนวณค่าความร้อนจำเพาะของสารอบแห้ง ดังนี้

$$C_{ds} = \frac{(0.0335a + 0.84)}{4.186}$$

เมื่อ a คือ ความชื้นของของแข็งในหน่วยทศนิยม

5) เอนทัลปีของอากาศร้อน, Q_a

เอนทัลปีของอากาศร้อนเป็นผลรวมของเอนทัลปีของอากาศร้อนกับเอนทัลปีของไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศ เอนทัลปีจะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิอ้างอิงซึ่งกำหนดให้อุณหภูมิอ้างอิงที่ 0°C สามารถแสดงสมการเอนทัลปีของอากาศร้อนได้ดังนี้

$$Q_a = C_a(T - T_r) + \lambda H$$

- เมื่อ C_a คือ ความร้อนจำเพาะของอากาศร้อน (J/K)
 T คือ อุณหภูมิของอากาศขาออก (K)
 T_r คือ อุณหภูมิของอากาศขาเข้า (K)
 λ คือ ค่าความร้อนแฝงที่ใช้ในระเหย (kJ/kg)
 H คือ เอนทัลปี (J/mol)

6) ความจุความร้อนของอากาศ, C_a

ความจุความร้อนของอากาศคือปริมาณความร้อนที่ทำให้มวลของอากาศ 1 หน่วยมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1°C ที่ความดันไอคงที่ สามารถแสดงได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_a = 0.24 + 0.46H$$

เมื่อ H คือ เอนทัลปี (J/mol)

2.3.5 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการทำแห้ง (Chen and Mujumdar, 2008)

การทำแห้งคือ การเคลื่อนที่ของน้ำออกจากอาหาร ปัจจัยใดๆ ที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายนี้จึงมีผลต่อการทำแห้งได้แก่

1) ธรรมชาติของอาหาร

อาหารเนื้อโปร่ง การเคลื่อนที่ของน้ำภายในอาหารแบบผ่านช่องแคบซึ่งเร็วกว่าการแพร่ในอาหารเนื้อแน่น ดังนั้นอาหารเนื้อโปร่งจึงแห้งเร็วกว่าอาหารเนื้อแน่น อาหารที่มีน้ำตาลสูงจะเหนียวกีดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำจึงแห้งช้า อาหารที่มีการลวก นวดคลึง ทำให้เซลล์แตกจึงแห้งได้เร็ว

2) ขนาดและรูปร่าง

ขนาดและรูปร่างย่อมมีผลต่อพื้นที่ผิวต่อน้ำหนัก เช่น รูปร่างเหมือนกัน ขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักมากกว่าขนาดใหญ่จึงแห้งได้เร็วกว่า แต่ทั้งนี้พื้นที่ผิวที่สัมผัสกับอากาศจึงเกิดได้ช้าทั้งๆ ที่พื้นที่ต่อหน่วยน้ำหนักมาก

3) ตำแหน่งของอาหารในเตา

น้ำในอาหารที่สัมผัสกับลมร้อนได้ดีกว่า หรือสัมผัสกับลมร้อนที่มีความชื้นต่ำย่อมระเหยได้ดีกว่า

4) ปริมาณอาหารต่อพื้นที่

ปริมาณอาหารต่อถาดมากเกินไป อาหารส่วนล่างไม่ได้สัมผัสกับอากาศร้อน หรือได้รับความร้อนจากถาดแล้วไอน้ำไม่สามารถแพร่กระจายผ่านชั้นอาหารตอนบนออกมาได้จึงแห้งช้า นอกจากนี้การจัดเรียงอาหารเพื่อนำไปอบแห้ง มีผลต่อการอบแห้ง

5) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

ความแตกต่างระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ของลมร้อนกับอาหารมีผลต่อแรงขับเคลื่อนความชื้นออกจากอาหาร ในการอบแห้งลมร้อนยังมีความชื้นต่ำ (น้ำน้อย : ลมร้อนมีอุณหภูมิสูง) อัตราการอบแห้งยิ่งสูง แต่ถ้าลมร้อนมีความชื้นเข้าใกล้จุดอิ่มตัว (น้ำเยอะ) จะรับไอน้ำได้น้อย อัตราการอบแห้งจะต่ำความชื้นของอากาศจะเป็นตัวกำหนดว่าจะสามารถลดความชื้นของอาหารในกระบวนการอบแห้งให้ต่ำลงเท่าไร อากาศร้อนที่มีไอน้ำอยู่มากจะรับไอน้ำเพิ่มได้น้อย

6) อุณหภูมิของอากาศร้อน

ถ้าอากาศมีความชื้นคงที่การเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำ จึงมีผลต่อการทำแห้งในช่วงอัตราการทำแห้งคงที่และอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้การแพร่กระจายของน้ำดีขึ้น จึงมีผลต่อการอบในช่วงอัตราการทำแห้งลดลงด้วย

7) ความเร็วของลมร้อน

ลมร้อนทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปด้วย เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นจึงเคลื่อนย้ายได้ดีขึ้น

การเคลื่อนย้ายเกิดขึ้นเต็มที่ที่ความเร็วลม 244 เมตรต่อนาที นอกจากนั้นความเร็วลมทำให้เกิด กระแสปั่นป่วนของอากาศในเตา อากาศจึงมีการสัมผัสอาหารได้ดีขึ้น

2.3.6 ประโยชน์ของการทำแห้ง

- 1) ป้องกันการเน่าเสียจากเชื้อจุลินทรีย์ ปฏิกริยาเคมีและเอนไซม์
- 2) เป็นการถนอมอาหารทำให้เก็บไว้ได้นานขึ้น ทำให้มีใช้ในยามขาดแคลน
- 3) สามารถลดน้ำหนักอาหาร ทำให้สะดวกในการบรรจุ การเก็บรักษาและการขนส่ง
- 4) เปลี่ยนสภาพวัตถุดิบให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสม เพื่อเป็นวัตถุดิบตั้งต้นของกระบวนการแปรรูปอื่นๆ ต่อไป
- 5) ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีความหลากหลาย
- 6) เป็นการเพิ่มความสะดวกในการใช้ให้แก่ผู้บริโภค

2.4 กลาสทรานซิชันกับกระบวนการอบแห้ง

Glass transition temperature (T_g) หมายถึง อุณหภูมิในการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของอาหารจากที่ไม่มีรูปร่างแน่นอน (Amorphous system) หรือมีสถานะคล้ายแก้ว (Glassy state) ไปเป็นสถานะของเหลวหนืดคล้ายยาง (Rubbery state) ความสามารถในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลในสถานะคล้ายแก้วมีค่าต่อเนื่องจากความหนืดของของผลสมมีค่าสูง (ประมาณ 10^{12} Pa) (Silva et al., 2006) ซึ่งสามารถวิเคราะห์อุณหภูมิดังกล่าวได้ด้วยเครื่อง Differential scanning calorimetry (DSC) ซึ่งการเปลี่ยนรูปแบบโครงสร้างที่สัมพันธ์กับความหนืด เช่น Stickiness, Elasticity, Collapse, Shrinkage และ Crystallization จะขึ้นอยู่กับ Glass transition (Sopade et al., 2007)

2.4.1 การเกิดกลาสทรานซิชันกับกระบวนการอบแห้งอาหาร (สวนิต อิชยาวณิษฐ์, 2013)

การอบแห้งอาหารเป็นกระบวนการหนึ่งที่สามารถทำให้เกิดกลาสทรานซิชันในอาหารได้ เนื่องจากหลักการสำคัญของการอบแห้งคือให้ความร้อนกับอาหารเพื่อกำจัดน้ำ ซึ่งเป็นปัจจัยในการดำรงชีวิตที่สำคัญของจุลินทรีย์และเป็นปัจจัยสำคัญในการเร่งปฏิกริยาทางเคมีที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหาร ซึ่งในระหว่างกระบวนการอบแห้งจะมีตัวกลาง เช่น ลมร้อนหรือน้ำทำหน้าที่ในการถ่ายเทความร้อนให้กับอาหาร ทำให้อาหารมีอุณหภูมิสูงขึ้นและน้ำในอาหารได้รับความร้อนจนสามารถระเหยออกจากชิ้นอาหารได้ ดังนั้นในระหว่างการอบแห้งอุณหภูมิและความชื้นของอาหารจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา และเนื่องจากอาหารส่วนใหญ่มีโครงสร้างเป็นกิ่งออสัณฐาน ทำให้สภาวะเหมาะสมแก่การเกิดกลาสทรานซิชันซึ่งการเกิดกลาสทรานซิชันนี้ส่งผลให้อาหารมีสถานะที่แตกต่างกันไปในระหว่างการอบแห้ง โดยการที่อาหารมีสถานะแตกต่างกันระหว่างการอบแห้งนี้ พบว่ามีผลอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและคุณสมบัติของอาหารระหว่างการอบแห้ง ซึ่งโครงสร้างและคุณสมบัติของอาหารนี้เป็นส่วนสำคัญในการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางกายภาพของอาหารที่เป็นตัวชี้วัดคุณภาพของอาหารแห้งที่ผลิตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 ผลกระทบของการเกิดกลาสทรานซิชั่นระหว่างการอบแห้งที่มีต่อคุณภาพอาหาร

คุณลักษณะทางกายภาพ เช่น สี กลิ่น รส ลักษณะปรากฏเป็นลักษณะที่สำคัญอย่างหนึ่งในการกำหนดคุณภาพของอาหาร เนื่องจากคุณลักษณะเหล่านี้เป็นคุณลักษณะที่ผู้บริโภคสัมผัสได้ตั้งแต่แรกเห็นอาหารชนิดนั้นๆ และคุณลักษณะทางกายภาพมักใช้เป็นเกณฑ์สำคัญในการตัดสินใจเลือกซื้ออาหารคุณลักษณะทางกายภาพสามารถแปรเปลี่ยนได้จากหลายปัจจัย แต่ปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งคือการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและคุณสมบัติของอาหารที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการแปรรูป โดยกระบวนการแปรรูปที่ส่งผลต่อโครงสร้างและคุณสมบัติของอาหารอย่างชัดเจนกระบวนการหนึ่ง คือการอบแห้งอาหารโดยการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและคุณสมบัติของอาหารระหว่างการอบแห้งบางอย่างนั้น เกิดจากการที่อาหารเกิดกลาสทรานซิชั่นหรือมีการเปลี่ยนสถานะ ส่งผลให้กระบวนการต่างๆ ที่มีกลไกเกี่ยวข้องกับโครงสร้างและคุณสมบัติของอาหาร อาทิเช่น การสูญเสียกลิ่นของอาหาร การหดตัวของชิ้นอาหาร การเกาะตัวกันของชิ้นหรืออนุภาคอาหาร และการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี เกิดขึ้นได้ในระดับที่แตกต่างกันไป โดยความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดกลาสทรานซิชั่นและกระบวนการการสูญเสียกลิ่นของอาหาร การหดตัวของชิ้นอาหารการเกาะตัวกันของชิ้นหรืออนุภาคอาหาร และการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี

2.5 กระบวนการเอนแคปซูลชัน

Encapsulation หมายถึง กระบวนการที่สารหรือส่วนผสมของสาร ถูกเคลือบ ยึดจับ หรือ ห่อหุ้มอย่างมิดชิดด้วยสารชนิดอื่น สารที่ถูกเคลือบหรือถูกยึดจับไว้ส่วนใหญ่จะเป็นของเหลว แต่บางครั้งอาจเป็นอนุภาคของแข็งหรือก๊าซซึ่งจะเรียกชื่อแตกต่างกันไป เช่น Core material หรือ Internal phase สารที่นำมาเคลือบจะเรียกว่า Wall material, Carrier, Membrane, Shell หรือ Coating

2.5.1 หลักการของเอนแคปซูลชัน

จุดประสงค์ของการเอนแคปซูลชัน (Madene et al., 2006)

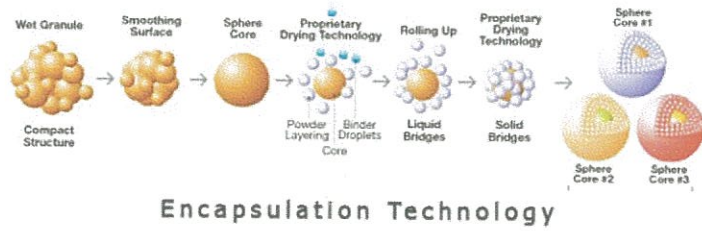
- 1) ป้องกันการสลายตัวของสารที่ถูกกักเก็บโดยลดการทำปฏิกิริยากับสิ่งแวดล้อมภายนอกเช่น ความร้อน แสง ความชื้น และ อากาศ
- 2) ช่วยรักษากลิ่น
- 3) ป้องกันการเกิดออกซิเดชัน
- 4) ลดการระเหยหรืออัตราการถ่ายเทมวลของสารที่ถูกกักเก็บไปสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก
- 5) ช่วยเพิ่มอายุการเก็บรักษา
- 6) ควบคุมการปลดปล่อยของสารที่ถูกกักเก็บ

ขั้นตอนการเอนแคปซูลชัน

โดยทั่วไปการเอนแคปซูลสารให้กลิ่นรสประกอบด้วยขั้นตอนการดำเนินการ 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกจะเป็นการทำให้เกิดอิมัลชันของสารแกนกลางและสารเคลือบโดยสารเคลือบที่ใช้ได้แก่ พอลิแซ็กคาไรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Polysaccharide) หรือโปรตีน ขั้นตอนที่ 2 เป็นขั้นตอนของการอบแห้งหรือทำให้มีลักษณะเป็นตัวลง (Madene et al., 2006)

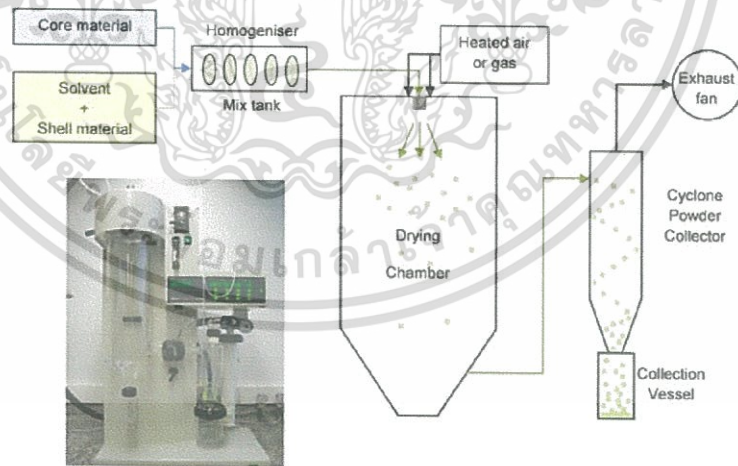


Encapsulation Technology

รูปที่ 2.7 การเกิด Wall material (ที่มา : <http://www.omixjuice.com/>)

2.5.2 การเอนแคปซูลชันโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

การอบแห้งแบบพ่นฝอยเป็นเทคนิคการเอนแคปซูลชันที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการผลิตสารให้กลิ่นรส (Deis, 1997) เนื่องจากเครื่องมือหาได้ง่าย และต้นทุนการผลิตโดยวิธีการนี้จะต่ำกว่าวิธีอื่น ขั้นตอนการเอนแคปซูลชันโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอยประกอบไปด้วย การนำตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบ (Carrier หรือ Wallmaterial) เช่น มอลโตเดกซทริน (Maltodextrin), สตาร์ชดัดแปลง (Modified starch) กับส่วนผสมของสารเหล่านี้มาละลายน้ำ จากนั้นนำสารให้กลิ่นรสที่ต้องการนำมาเอนแคปซูลชันมาผสมกับสารละลายของตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบ (Carrier solution) โดยทั่วไปอัตราส่วนของสารเคลือบและสารแกนกลางจะอยู่ในช่วง 4:1 นำส่วนผสมที่ได้ไปผ่านกระบวนการ โฮโมจีไนซ์ (Homogenize) เพื่อให้เกิดหยดของสารให้กลิ่นรส



รูปที่ 2.8 การเอนแคปซูลชันโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย (ที่มา : <http://www.intechopen.com/>)

ข้อดีของการเอนแคปซูลชันโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

- 1.) ต้นทุนการผลิตต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา

- 2.) เครื่องมือที่ใช้สามารถหาได้ง่าย
- 3.) สามารถปกป้องสารแกนกลางได้เป็นอย่างดีและสามารถเลือกใช้ตัวกลางในการเคลือบได้หลายชนิด

ข้อดีของการเอนแคปซูลเทคโนโลยีใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

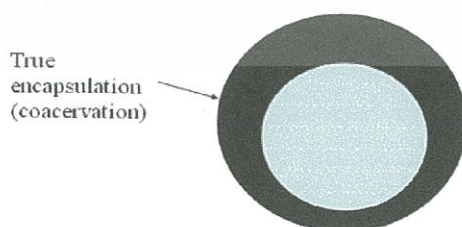
- 1.) อาจเกิดการสูญเสียสารให้กลิ่นรสที่มีจุดเดือดต่ำระหว่างกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย
- 2.) อาจมีสารแกนกลางติดที่ผิวของไมโครแคปซูลซึ่งอาจทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์ที่ได้ (Dziezak, 1988; Desobry et al., 1999)
- 3.) การเอนแคปซูลเทคโนโลยีใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นผงที่ละเอียดมากโดยทั่วไปขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคอยู่ในช่วง 100 ไมครอน ซึ่งอาจจะต้องทำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปผ่านกระบวนการ Agglomeration โดยใช้ Fluidized bed process เพื่อทำให้อนุภาคที่ผ่านการเอนแคปซูลสามารถละลายได้ทันที หรือละลายได้ง่ายขึ้นเมื่อนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารที่อยู่ในรูปของเหลวปัจจุบันมีการพัฒนาการผลิตสารเคลือบโดยบริษัท Colloid Naturels และ TIC gum โดยการใช้กัมอาราบิกและการใช้กัมอาราบิกร่วมกับสตาร์ชหลายชนิดเพื่อทำให้สารให้กลิ่นรสมีความคงตัวมากขึ้นในระหว่างขั้นตอนการอบแห้งทำให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บที่นานขึ้น

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อโครงสร้างของไมโครแคปซูลที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอย(Buma & Henstra, 1971; Kalab, 1979)

- 1.) องค์ประกอบและคุณสมบัติของสารเคลือบ
- 2.) อัตราส่วนของ สารให้กลิ่นรส : สารเคลือบ
- 3.) วิธีการพ่นฝอยและตัวแปรในกระบวนการอบแห้ง
- 4.) การหดตัวอย่างไม่สม่ำเสมอในระหว่างขั้นตอนเริ่มต้นของการอบแห้ง
- 5.) สภาพวะในการเก็บรักษา

2.5.3 ชนิดของไมโครแคปซูลที่ผลิตโดยใช้เทคนิคเอนแคปซูลชั้น

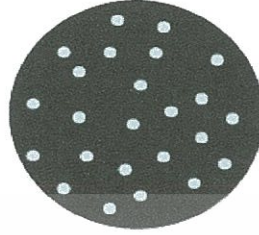
1) Single core (True encapsulation) เป็นรูปแบบของไมโครแคปซูลที่ได้จากการเอนแคปซูลเทคโนโลยีใช้เทคนิค Coacervation



รูปที่ 2.9 ไมโครแคปซูลแบบ Single core
(ที่มา : <http://e-book.ram.edu/>)

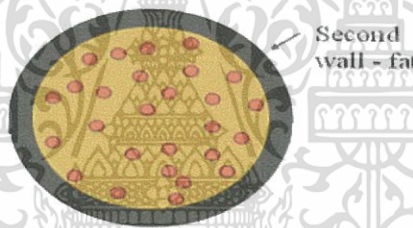
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) Multi-core หรือ Matrix encapsulation เป็นรูปแบบของไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นรสส่วนใหญ่ที่ผลิตในระดับอุตสาหกรรมโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย สเปรย์ซิลิ่ง สเปรย์คูลิ่ง เอ็กซ์ทรูชัน ในการเอนแคปซูเลท



รูปที่ 2.10 ไมโครแคปซูลแบบ Multi-core หรือ Matrix encapsulation
(ที่มา : <http://e-book.ram.edu/>)

3) Multi-wall หรือ Control release เป็นรูปแบบของไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นรสที่มีการเคลือบผิวครั้งที่สองโดยใช้เทคนิค Fluidized bed หรือ Centrifugal coating ทำให้สามารถควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลิ่นรสในสภาวะที่ต้องการได้



รูปที่ 2.11 ไมโครแคปซูลแบบ Multi-wall หรือ Control release
(ที่มา : <http://e-book.ram.edu/>)

ตารางที่ 2.1 เทคนิคต่างๆ ที่ใช้ในการเอนแคปซูเลชัน (Madene et al., 2006)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 ปัจจัยที่มีผลต่อความเสถียรของสารให้กลิ่นรสผ่านการเอนแคปซูเลท

- 1.) คุณสมบัติทางเคมีของสารให้กลิ่นรสได้แก่ โครงสร้างทางเคมี (Chemical structure), ความมีขั้ว (Polarity) และ ความสามารถในการระเหย (Volatility)
- 2.) คุณสมบัติของสารเคลือบ
- 3.) สภาพที่ใช้ในขั้นตอนการเอนแคปซูเลทสารเคลือบที่ใช้ในการเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรสจะต้องไม่ทำปฏิกิริยากับสารให้กลิ่นรสมีความหนืดต่ำที่ระดับความเข้มข้นสูง, ปกป้องสารให้กลิ่นรสจากสภาวะแวดล้อมมีคุณสมบัติในการทำให้เกิดอิมัลชันที่มีความเสถียร และสามารถควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลิ่นรสภายใต้สภาวะและช่วงเวลาที่ต้องการ (Trubiano & Lacourse, 1988; Shahidi & Han, 1993)

2.5.5 ชนิดของสารห่อหุ้ม

1.) สตาร์ช (starch) และ Ingredients ที่ผลิตได้จากสตาร์ช เช่น สตาร์ชดัดแปร (Modified starch), มอลโตเดกซ์ทริน และ บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน (Beta-cyclodextrin) ถูกนำมาใช้เป็นสารเคลือบในการเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรสอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อกักเก็บและปกป้องสารให้กลิ่นรสจากการจับตัวระหว่างสารให้กลิ่นรสและสตาร์ชแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบโดยรูปแบบแรก สารให้กลิ่นรสจะถูกล้อมรอบด้วย Amylase helix โดยการจับกันเป็นแบบ Hydrophobic bonding ซึ่งสตาร์ชจะกักสารให้กลิ่นรสไว้ภายในโมเลกุล (Inclusion complex) รูปแบบที่สองจะเกิด Polar interaction โดยพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) ระหว่าง Hydroxyl groups ของสตาร์ชและสารให้กลิ่นรส (Arvisenet et al., 2002; Boutboul et al., 2002)

2.) มอลโตเดกซ์ทริน มอลโตเดกซ์ทรินเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายแป้งข้าวโพดบางส่วนโดยการใช้อีกรหรือเอนไซม์โดยผลิตจำหน่ายในรูป Dextrose Equivalent (DE) DE value เป็นการวัดระดับ (Degree) ของการย่อยสลายพอลิเมอร์ของสตาร์ชซึ่งเป็นดัชนีบ่งบอกความสามารถในการทำให้เกิดเมทริกซ์ ซึ่งมีส่วนสำคัญในการทำให้เกิดการเคลือบผิว (Kenyon & Anderson, 1988; Shahidi & Han, 1993)

3.) กัม (Gum) หรือ Gumarabic เป็นกัมที่ถูกนำมาใช้ในรูปของสารเคลือบเนื่องจากสามารถละลายได้ดี มีความหนืดต่ำ มีคุณสมบัติในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ และสามารถกักเก็บสารให้กลิ่นรสได้ดี ไมโครแคปซูลที่ได้จากการเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรสโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray-dried particles) โดยใช้ส่วนผสมของมอลโตเดกซ์ทรินและ Gumarabic เป็นสารเคลือบจะมีขนาดตั้งแต่ 10-200 ไมครอน และสามารถกักเก็บสารให้กลิ่นรสได้มากกว่า 80% ขึ้นอยู่กับตัวแปรที่ใช้ระหว่างกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย ได้แก่ อุณหภูมิอากาศร้อน, ความเข้มข้นของอิมัลชัน, ความหนืด, สัดส่วนของ Gumarabic และ มอลโตเดกซ์ทริน (Williams & Phillips, 2000)

4.) โปรตีน (Protein) โปรตีนจัดเป็นสารที่มีคุณสมบัติทางหน้าที่ของสารเคลือบ เช่น ค่าการละลาย (Solubility), ความหนืด (Viscosity), Emulsification และคุณสมบัติของการทำให้เกิดฟิล์ม ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ได้ดีในกระบวนการเอนแคปซูเลชันระหว่างการเกิดอิมัลชันโมเลกุลของโปรตีนจะดูดซับที่บริเวณ Oil-water interface อย่างรวดเร็วทำให้เกิด Stericstabilizinglayer ชั้นทันทีจึงสามารถปกป้องหยดน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Oil droplets) จากการกลับมารวมตัวอีกครั้ง (Recoalescence) ทำให้เกิดความเสถียรทางกายภาพของอิมัลชันระหว่างกระบวนการผลิตและการเก็บรักษา (Dalgleish, 1997; Dickenson, 2001)

5.) เวย์โปรตีน (Whey protein) เวย์โปรตีนจะให้คุณสมบัติทางหน้าที่ (Functional properties) ที่ต้องการในการใช้เป็นสารเคลือบ (Amrita et al., 1999) เวย์โปรตีนที่จัดจำหน่ายใน International market จะอยู่ในรูปของ Whey protein isolates (มีปริมาณโปรตีน 95-96%) หรือ Whey protein concentrate (WPC-50, WPC-70) Powder เวย์โปรตีนเป็นสารเคลือบที่สามารถต่อต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในการเอนแคปซูเลชันน้ำมันส้ม (Microencapsulated orange oil) โดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย (Kim & Morr, 1996) การใช้เวย์โปรตีนร่วมกับคาร์โบไฮเดรตสามารถใช้เป็นสารเคลือบในการเอนแคปซูเลชันสารให้กลิ่นรส (Young et al., 1993b; Sheu & Rosenberg, 1995) โดยเวย์โปรตีนจะทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์และทำให้เกิดฟิล์มในขณะที่คาร์โบไฮเดรต (มอลโตเดรกซ์ทริน หรือ Corn syrup solids) จะทำหน้าที่เป็นสารที่ทำให้เกิดเมทริกซ์ (Sheu & Rosenberg, 1998)

6.) โปรตีนชนิดอื่นๆ Protein-based material เช่น Polypeptone, โปรตีนถั่วเหลือง (Soy protein) หรืออนุพันธ์ของเจลาติน (Gelatin derivative) มีคุณสมบัติในการทำให้เกิดอิมัลชันที่เสถียรกับสารให้กลิ่นรส เจลาตินเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกรย่อยสลายคอลลาเจน (Collagen) ถูกนำมาใช้ในรูปของสารเคลือบในการเอนแคปซูเลชันสารให้กลิ่นรสโดยเทคนิค Complex coacervation และ เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย (Ducel et al., 2004) เนื่องจากสามารถละลายน้ำได้ดีและมีคุณสมบัติในการเคลือบผิว (Lee et al., 1999) ไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นรสที่ใดโดยใช้เจลาตินเป็นสารเคลือบสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรส (Seasoning) (Gourdel & Tronel, 2001)

ตารางที่ 2.2 คุณลักษณะเฉพาะของสารเคลือบแต่ละชนิดที่ใช้ในกระบวนการเอนแคปซูเลชัน (Madene et al., 2006)

สารให้กลิ่นรส ชนิดของสารเคลือบ	คุณลักษณะเฉพาะ
Maltodextrin (DE<20)	Film forming
Corn syrup solid (DE>20)	Film forming
Modified starch	Very good emulsifier
Gum Arabic	Emulsifier, film forming
Modified cellulose	Film forming
Gelatin	Emulsifier , film forming
Cyclodextrin	Encapsulant , emulsifier
Lecithin	Emulsifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Fazaeli, (2012) ได้ทำการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับคุณสมบัติของผงซึ่งได้แก่ ปริมาณความชื้น, แอคติวิตีของน้ำ, ปริมาณผลผลิตที่ได้, ความหนาแน่น, ความสามารถในการละลาย, อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วและโครงสร้างของผงมัลเบอร์รี่สีดำ โดยการทำแห้งมีการเปลี่ยนเงื่อนไขของสารช่วยทำแห้งคือ มอลโตเดกซ์ทริน (6, 9 และ 20DE) และกัมอารบิก ตัวแปรอิสระคืออุณหภูมิขาเข้า (110, 130 และ 150°C), อัตราการไหลของอากาศ (400, 600 และ 800 L/h), ความเข้มข้นของสารช่วยทำแห้ง (8, 12 และ 16%) และ การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของมอลโตเดกซ์ทริน (6 และ 9DE) โดยกัมอารบิก และมอลโตเดกซ์ทริน 20DE (25, 50 และ 75%) ระหว่างสารช่วยทำแห้งที่แตกต่างกัน

Siow L.F., (2013) ได้ทำการศึกษาโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความมั่นคงทางกายภาพและสารต้านอนุมูลอิสระ ของผงแก้วมังกรเนื้อแดง และผงแก้วมังกรเนื้อขาว เมื่อเก็บรักษาที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ กำหนดให้เงื่อนไขในการทำแห้งของผงต่ำที่สุดที่รับได้

Chauca, (2005) ศึกษาสิ่งที่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพและการเกิดผลึกของมะม่วงผงที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยสนใจความเหนียวและคุณสมบัติการละลาย โดยผู้ทำการทดลองได้ใช้น้ำมะม่วงที่มีค่าความเข้มข้น 12 °Brix โดยใช้ มอลโตเดกซ์ทริน, แป้งข้าวเหนียวและกัมอารบิก ปริมาณเท่าๆ กันคือ 12% เป็นสารช่วยทำแห้ง และมีการเติมผลึกเซลลูโลสที่มีความเข้มข้น 3, 6, 9% และไม่เติมผลึกเซลลูโลสเลย

Yusof, (2012) ศึกษาลักษณะทางเคมีและกายภาพของผงแก้วมังกรที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยทำการทดลองโดยใช้สารมอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารช่วยทำแห้ง ซึ่งมีความเข้มข้นและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่แตกต่างกัน

สันติชัย สิริวัชรอม, (ม.ป.ป.) ศึกษาผลของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ใช้ในการอบแบบพ่นฝอยต่อความคงตัวของเบต้าไซยานินจากแก้วมังกร โดยศึกษาผลของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าในการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีต่อคุณสมบัติของแก้วมังกรผงและทำการศึกษาความคงตัวของผงผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา

Bakar., (2013) ศึกษาสภาพที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอย ของเปลือกแก้วมังกรเนื้อแดง สามารถทำได้จากการใช้งานวิธี CCD ของการตอบสนองต่อพื้นที่ผิวของผงเปลือกแก้วมังกรเนื้อแดง

Wanitchang., (2010) ศึกษาการทำนายอายุของแก้วมังกรเนื้อแดงอยู่บนพื้นฐานของการมาตรการแบบไม่ทำลาย โดยค่าน้ำหนักจำเพาะ ความเป็นทรงกลม ค่าสี L^* a^* และ b^* การสะท้อนคลื่นรังสีสเปกตรัมมารวมกันเป็นเส้นตรงด้วยวิธี PLSR

ยุพร มุลค่า, (2558) ทำการศึกษาสารสกัดสีแดงผงจากเปลือกแก้วมังกรเปรียบเทียบกับสีสังเคราะห์สีแดง (Ponceau 4 R) ที่มีขายทางการค้าในการผลิตน้ำสตอเบอรี่ที่ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรซ์ โดยใช้แก้วมังกรสายพันธุ์เปลือกสีแดงเนื้อสีขาว (*Hylocereus undatus*)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และการทำการทดลอง

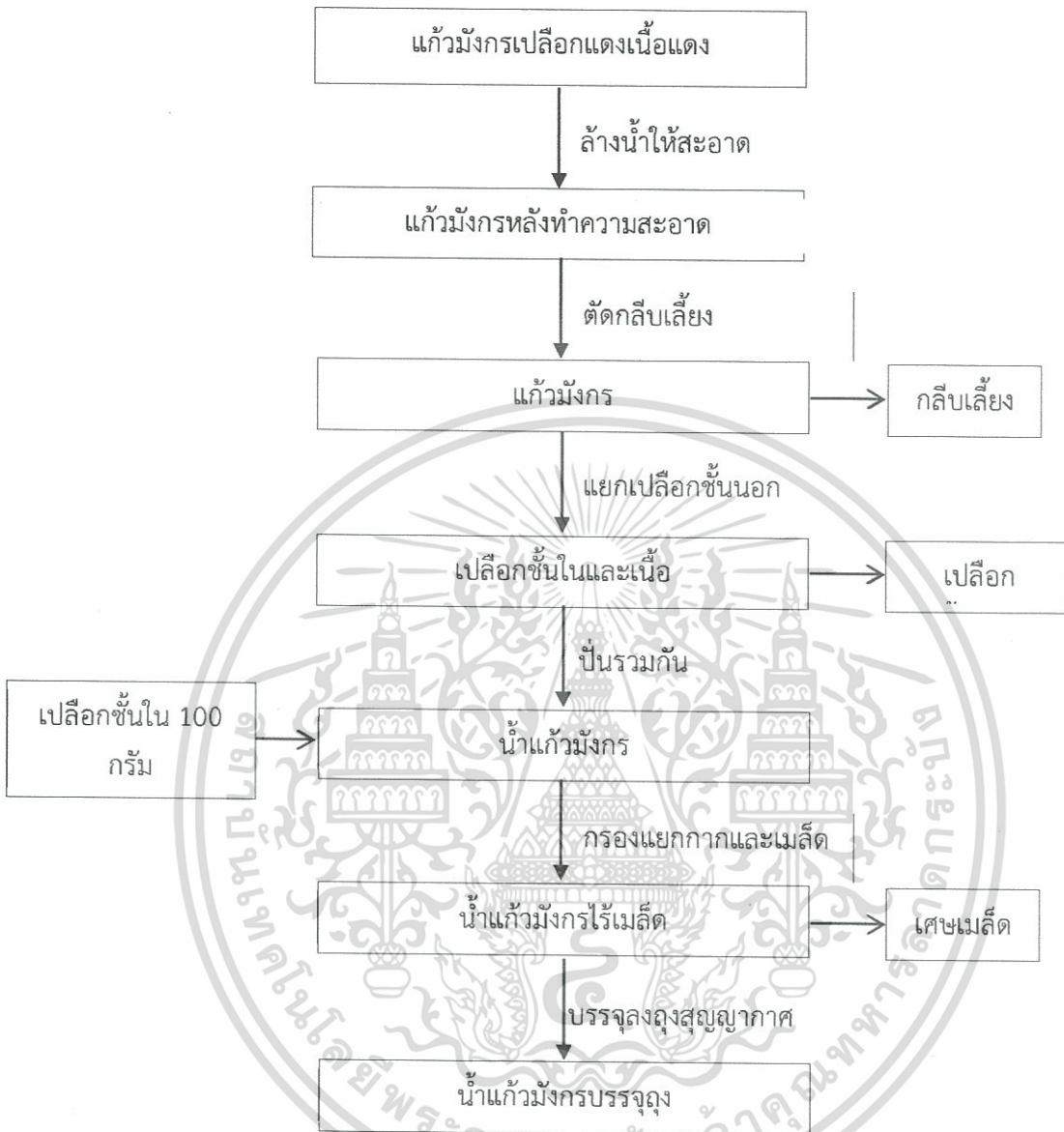
ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำแก้มังกรผงด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย ตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ อุณหภูมิอากาศเข้า (170, 180, 190°C), ปริมาณสารช่วยทำแห้ง (75, 100, 125% ของของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้) โดยการออกแบบการทดลองแบบ 3^k full factorial design จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มาวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ

3.1 การเตรียมวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้คือ เปลือกส่วนในและเนื้อของแก้มังกรเนื้อแดงพันธุ์คอสตาริกา (*Hylocereus spp.*) จากตลาดไท นำแก้มังกรมาล้างทำความสะอาด ตัดกลีบเลี้ยงออก แยกเปลือกกับเนื้อ โดยชั่งน้ำหนักเนื้อ 1,000 กรัม เปลือก 100 กรัม ปั่นรวมกัน จากนั้นใช้ผ้าขาวบางกรองเศษเมล็ดของแก้มังกรออก และบรรจุลงสุญญากาศถุงละ 1,000 กรัม ซึ่งมีค่าบริกซ์ 12 โดยมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมวัตถุดิบคือ

- 1) เครื่องปั่น
- 2) เครื่องชั่ง
- 3) เครื่องวัด pH
- 4) ปีกเกอร์ขนาด 2 ลิตร
- 5) ผ้าขาวบาง
- 6) รีแฟคโตมิเตอร์ (Refractometer)
- 7) กะละมัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียมสารสกัดสีแดงที่ใช้ในการทำแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

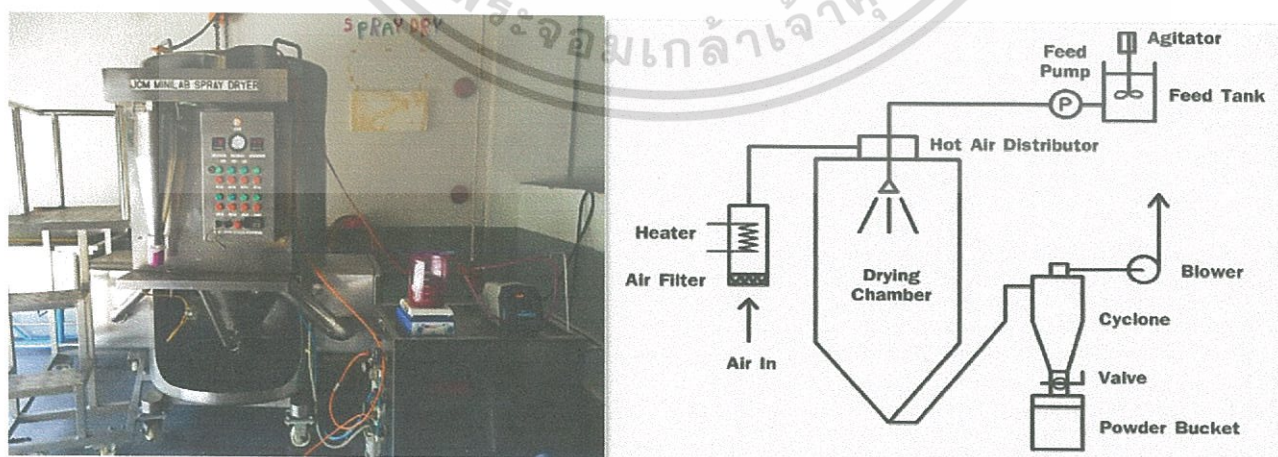
3.2 การเตรียมการทดลอง

3.2.1 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer) ประกอบไปด้วย

- 1) ห้องอบแห้ง (Drying chamber)
- 2) หัวทำละอองชนิดหัวฉีดของไหลสองชนิด (Two-fluid nozzle)
- 3) ไชโคลน (Cyclone)
- 4) ชุดทำความร้อน (Heater)
- 5) ปั๊ม Peristaltic
- 6) ชุดแมคเนติกสโตเลอร์

นำส่วนประกอบทั้งหมดมาประกอบเพื่อให้ได้ชุดเครื่องมือทำแห้งแบบพ่นฝอย ดังขั้นตอนดังนี้

1. เปิดเบรกเกอร์ตัวจ่ายไฟให้กับเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย และปั๊มลม
2. เปิดเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย, ปั๊มลม และตัวจ่ายไฟให้กับเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย
3. เปิดอุปกรณ์เป่า (Blower) เพื่อให้เกิดการดูดผลิตภัณฑ์ผงที่เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย
4. ทำการตั้งค่าความเร็วรอบของอุปกรณ์เป่า (Blower) ที่ 2,800 rpm
5. นำ Peristaltic pump มาเสียบปลั๊กเข้ากับตัวจ่ายไฟของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย
6. ตั้งค่าความเร็วรอบ Peristaltic pump ไว้ที่ 15 รอบ/นาที
7. นำสายลมต่อเข้ากับปั๊มลม และเสียบสายลมเข้ากับหัวทำละอองฝอย
8. นำสายยาง Feed น้ำแก้วมังกรต่อเข้ากับหัวทำละอองฝอยและต่อกับ Peristaltic pump
9. นำแมคเนติกบาร์ใส่ลงในบีกเกอร์น้ำแก้วมังกรที่เตรียมไว้ เพื่อทำการคนไม่ให้เกิดการตกตะกอน
10. เปิดปั๊มลม
11. จากนั้นกดปุ่ม Pump ที่เครื่อง Spray dryer เพื่อเริ่มรันกระบวนการ



รูปที่ 3.2 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ตัวแปรที่ศึกษาของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

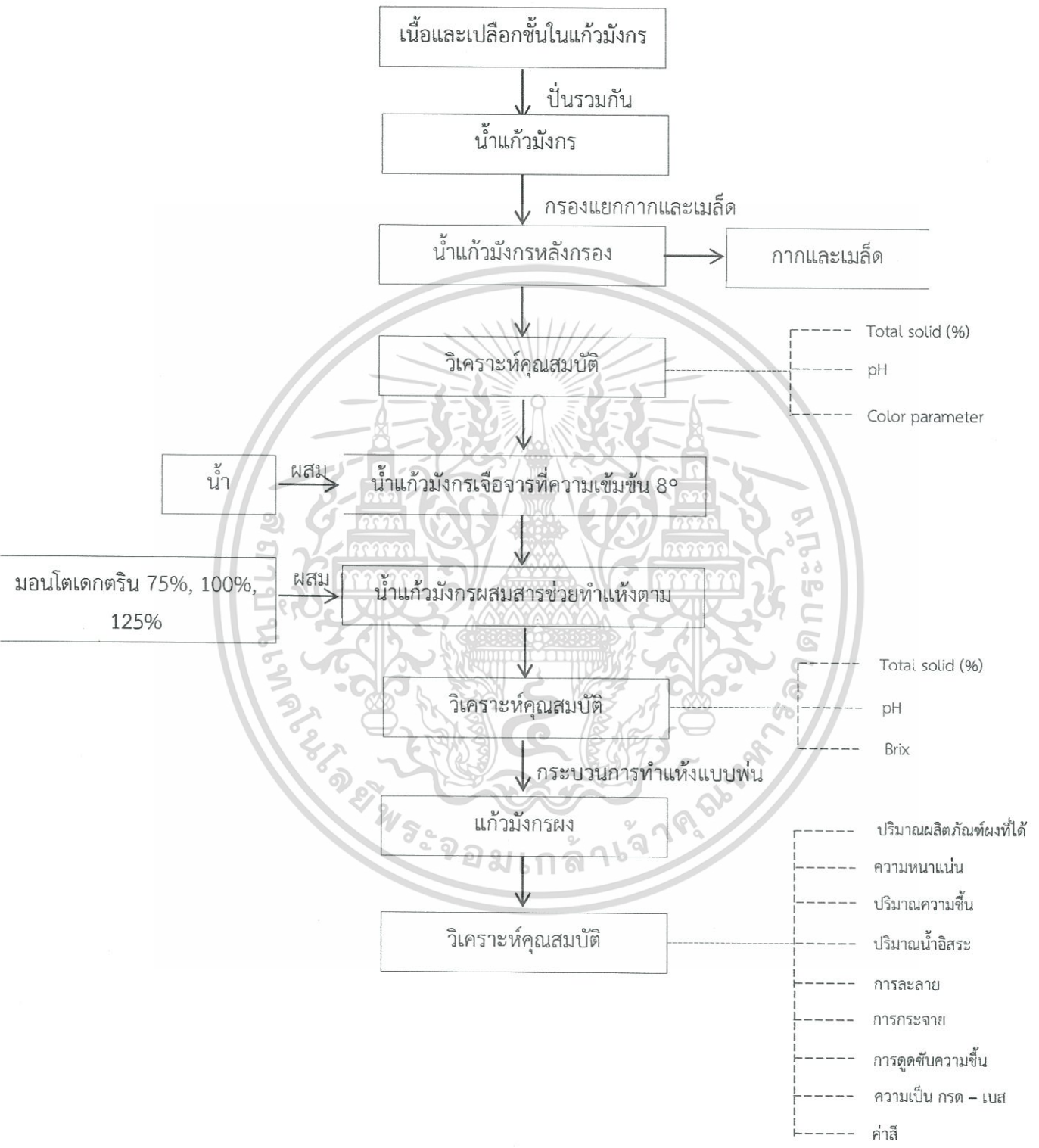
- 1) อุณหภูมิอากาศขาเข้า 170, 180 และ 190 °C
- 2) ปริมาณสารช่วยทำแห้งที่ 75, 100 และ 125% ของของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขในการดำเนินการทำแห้งแบบพ่นฝอย

อุปกรณ์	ตัวแปรควบคุม
อุณหภูมิลมร้อนขาออก	75 °C
อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า	170 – 190 °C
อัตราเร็วลมที่ใช้ในการดูดผลิตภัณฑ์ออกจากห้องอบแห้ง	2,800 rpm
อุณหภูมิของวัสดุดิบที่ป้อน	25 องศาเซลเซียส
ความเข้มข้นของสารละลาย	8 °Brix
อัตราการป้อน	1.5 kg/hr



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการผลิตผลผลิตแก้วมังกรผงด้วยกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 แผนการทดลอง

3.3.1 การออกแบบแผนการทดลองของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

แผนการทดลองที่ใช้เป็นแบบ 3^k full factorial design โดยทำการทดลองซ้ำๆ การทดลอง จากตัวแปรที่ต้องการศึกษามี 2 ตัวแปรและแต่ละตัวแปรมีการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด 3 ค่า เพราะฉะนั้นจะได้รับการทดลองเท่ากับ $3^2 = 9$ แผนการทดลอง ที่มีการทำซ้ำอย่างละ 3 ครั้ง ทุกๆ แผนการทดลอง

Code Standardization

การทดลอง	ปริมาณสารช่วยทำแห้ง (X_2)	อุณหภูมิอากาศขาเข้า (X_1)
	(%)	(°C)
1	-1	-1
2	0	-1
3	1	-1
4	-1	0
5	0	0
6	1	0
7	-1	1
8	0	1
9	1	1

การทดลอง	ปริมาณสารช่วยทำแห้ง (%)	อุณหภูมิอากาศขาเข้า (°C)
1	75	170
2	100	170
3	125	170
4	75	180
5	100	180
6	125	180
7	75	190
8	100	190
9	125	190

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติถูกนำมาใช้เพื่อหาคำตอบของสมการการทดลองที่ประกอบด้วยปัจจัยร่วม การทดลองหลายปัจจัย โดยใช้การวิเคราะห์ Response surface และสมการ Multiple liner regression เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษาและคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์แก้วมังกรผง ได้แก่ ความชื้น (Moisture), ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (%Yield), ความหนาแน่น (Bulk density), การละลาย (Solubility), การดูดความชื้นกลับ (Hygroscopicity) และค่าสี (Color b-value)

1) เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

สมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{12} X_{12} + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2$$

เมื่อ Y = คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์แก้วมังกรผง

X_1 = อุณหภูมิอากาศขาเข้า, องศาเซลเซียส (T_a)

X_2 = ปริมาณมอลโตเดกตริน, กรัม (MD_1)

X_{12} = ผลคูณระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้าและปริมาณมอลโตเดกตริน ($T_a * MD_1$)

X_1^2 = อุณหภูมิอากาศขาเข้ายกกำลังสอง (T_a^2)

X_2^2 = ปริมาณมอลโตเดกตรินยกกำลังสอง (MD_1^2)

หมายเหตุ $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_{12}, \beta_{11}$ และ β_{22} = ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร X_1, X_2, X_{12}, X_1^2 และ X_2^2 ตามลำดับ

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การเตรียมสาร

- 1) นำแก้วมังกรเปลือกแดง เนื้อแดง มาล้างด้วยน้ำสะอาดตัดกลีบเลี้ยงออก แยกเปลือกชั้นนอก, เปลือกชั้นใน และเนื้อออกจากกัน
- 2) นำเปลือกชั้นในและเนื้อมาปั่นผสมกันจนละเอียด จากนั้นกรองด้วยผ้าขาวบางเพื่อแยกเมล็ดออก
- 3) นำน้ำแก้วมังกรที่ได้มาปรับให้ได้ความเข้มข้น 8°Brix ซึ่งน้ำหนัก และจัดบันทึกค่าที่ชั่ง
- 4) เติมสารช่วยทำแห้งลงไปใต้น้ำแก้วมังกรที่อัตราส่วนต่างๆ
- 5) ชั่งน้ำหนักวัดค่าความเข้มข้นและความเป็นกรด-ด่าง ให้เป็นไปตามเงื่อนไขในการทำแห้งแบบพ่นฝอย

3.4.2 การทำแห้ง

การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

- 1) ทำการกำหนดค่าต่างๆ ของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยให้เป็นไปตามเงื่อนไขที่วางแผนการทดลอง และรอจนได้สภาวะที่ดำเนินการคงที่
- 2) ป้อนสารละลายที่เตรียมไว้โดยใช้ปั๊มเป็นอุปกรณ์ในการป้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) สารละลายจะถูกส่งผ่านท่อลำเลียงสารไปยังหัวฉีดแบบของไหลสองชนิด เพื่อทำการผสม และอาศัยลมที่มาจากท่อลมที่ต่อเข้ากับหัวฉีดแบบของไหลสองชนิด เกิดการดันสารละลายออกจากรูของหัวฉีด กลายเป็นลักษณะละอองฝอย
- 4) อากาศภายนอกจะถูกดูดผ่านเครื่องทำความร้อนโดยผ่านตัวกรองเพื่อกรองฝุ่นออก และถูกทำให้ร้อนด้วยขดลวดที่ถูกทำให้ร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า ลมร้อนที่ได้จะถูกส่งผ่านท่อลมร้อนไปยังช่องทางออกที่อยู่บริเวณฝาปิดของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย
- 5) ลมร้อนและละอองฝอยจะทำการผสมกันในห้องอบแห้ง น้ำที่อยู่ภายในละอองฝอยจะระเหยออกมา ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ผงที่มีความชื้นค่าหนึ่ง
- 6) อุปกรณ์เป่า (blower) จะทำการดูดผลิตภัณฑ์ผงจากกันห้องอบแห้งไปยังไซโคลน เมื่อผลิตภัณฑ์ผงลงมายังไซโคลนจะเกิดการหมุนวนอยู่ในไซโคลน ผลิตภัณฑ์ผงจะตกไปยังภาชนะที่ใช้ใส่ผลิตภัณฑ์ผง ส่วนลมร้อนจะลอยออกขึ้นไปทางด้านบนไซโคลนและออกไปทางท่อลมร้อนขาออก
- 7) ทำการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ตามคุณลักษณะที่กำหนดไว้

3.5 การวิเคราะห์คุณลักษณะของแก้วมังกรผง

3.5.1 ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ (%Yield) (Jayasundera et al., 2011)

การหาปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้โดยนำผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มาชั่งน้ำหนักและหาปริมาณของแข็งเริ่มต้น โดยการหาค่าความชื้น

$$\text{ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้} = \frac{w_{cwp}}{SS_{cwf}} \times 100$$

เมื่อ w_{cwp} คือ อัตราส่วนของแข็งทั้งหมดในผลิตภัณฑ์แห้ง

SS_{cwf} คือ ปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบที่ป้อน (g)

3.5.2 ค่าความหนาแน่น (Density, g/cm³)

เครื่องมือ

1. เครื่องชั่งน้ำหนัก
2. ภาชนะที่ทราบปริมาตรแน่นอน

การวิเคราะห์

ชั่งน้ำหนักภาชนะที่ทราบปริมาตรแน่นอน ใส่ตัวอย่างให้เต็มภาชนะแล้วปาดออก จากนั้นชั่งน้ำหนักตัวอย่างคำนวณเพื่อหาความหนาแน่น ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\rho = \frac{m}{v}$$

เมื่อ m = มวลของตัวอย่าง (g)

v = ปริมาตรของภาชนะ (cm^3)

3.5.3 ปริมาณความชื้น (Moisture content, %) (Caparinoa et al., 2012)

วิเคราะห์ปริมาณความชื้นโดยนำตัวอย่าง 2-3 กรัม ใส่ถ้วยอลูมิเนียมจากนั้นนำไปอบในตู้อบความร้อนแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักตัวอย่างคงที่ โดยใช้ความดัน จากนั้นนำออกไปใส่โถดูดความชื้นทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องและนำไปชั่งคำนวณหาปริมาณความชื้นดังสมการ

$$\text{ความชื้นของผลิตภัณฑ์} = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100$$

เมื่อ w_1 คือ น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (g)

w_2 คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (g)

ความชื้นมีผลต่อการเก็บรักษา ดังนั้นในการทดลองจะทำการเปรียบเทียบความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งแบบพื้นผอยในเงื่อนไขต่างๆ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งในการชีวิตคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผง

3.5.4 การดูดซับความชื้น (Hygroscopicity) (Jaya and Das, 2004)

เครื่องมือ

1. ภาชนะปิดสนิท
2. อลูมิเนียมฟอยด์
3. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

การวิเคราะห์

นำผลิตภัณฑ์ผง 3 กรัม ใส่ขวดโหลที่มีสารละลายเกลืออิมิตัว (NaCl) ซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ 75.3% ทิ้งไว้จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ หลังจากนั้นนำผลิตภัณฑ์ผงออกมาชั่งน้ำหนัก แล้วนำมาคำนวณดังสมการ

$$\text{การดูดซับความชื้น} = \frac{\frac{b - w_i}{a}}{1 + \frac{b}{a}}$$

เมื่อ b คือ น้ำหนักของผงที่เพิ่มขึ้น (g)

a คือ น้ำหนักของผงก่อนนำไปวัดค่า (g)

w_i คือ ปริมาณน้ำอิสระก่อนวัด (%wb)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดูดซับความชื้นมีผลต่อระยะเวลาในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ที่ดูดซับความชื้นได้มากจะเสื่อมสภาพไวกว่าผลิตภัณฑ์ที่ดูดซับความชื้นได้น้อย

3.5.5 การกระจายตัว (Dispersibility) (Jaya and Das, 2004)

เครื่องมือ

1. ตะแกรงขนาด 200 ไมครอน
2. ปีกเกอร์ 500 มิลลิลิตร
3. แท่งแก้ว
4. เครื่องชั่งน้ำหนัก
5. นาฬิกาจับเวลา
6. เทอโมมิเตอร์
7. ตู้อบลมร้อนแบบสูญญากาศ

การวิเคราะห์

ชั่งตัวอย่างผง 15 กรัม ผสมกับน้ำที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ปริมาตร 100 มิลลิลิตร คนกลับไปมา 15 วินาที จากนั้นเทลงในตะแกรงขนาด 200 ไมครอน นำมาคำนวณหาความสามารถในการกระจายตัว ดังสมการ

$$\text{การกระจายตัว} = \frac{(w+a) \times s_p}{a \times S_j}$$

เมื่อ w คือ น้ำหนักของน้ำ (g)

a คือ ปริมาณผงที่ใช้ทั้งหมด (g)

s_p คือ ปริมาณของแข็งทั้งหมดในผงตัวอย่าง (%)

S_j คือ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ค้างบนตะแกรง (%)

การกระจายตัวมีผลต่อคุณสมบัติการละลายของผลิตภัณฑ์ การกระจายตัวที่ดีจะทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสของผลิตภัณฑ์ผสมผงกับน้ำได้มากขึ้น จึงทำให้ละลายได้ไวว่าการเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน

3.5.6 ความสามารถในการละลาย (Solubility) (Caparinoa et al., 2012)

เครื่องมือ

1. Magnetic stirrer และ Magnetic bar
2. ปีกเกอร์ 250 มิลลิลิตร
3. เครื่องชั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์

ซึ่งน้ำหนักผงตัวอย่าง 40 กรัม นำมาละลายในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง ปริมาตร 200 มิลลิลิตร กวนของผสมทั้งหมดด้วย Magnetic stirrer ที่ความเร็วคงที่ จากนั้นวัดเวลาที่ใช้ในการละลายตัวอย่างสมบูรณ์

ความสามารถในการละลาย = เวลาที่ใช้ในการละลายตัวอย่างจนสมบูรณ์ (วินาที)

3.5.7 วอเตอร์แอคทิวิตี (Water activity: a_w)

ใช้เครื่องวัดค่า a_w โดยอัตโนมัติยี่ห้อ AQUA LAB MODEL SERIES 3 TE อ่านค่า a_w โดยทำการหาค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ 3 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

3.5.8 ความเป็นกรด - เบส (pH)

เครื่องมือ

1. pH meter
2. บีกเกอร์ 50 มิลลิลิตร
3. น้ำกลั่น

การวิเคราะห์

ซึ่งผงตัวอย่าง 10 กรัม ผสมกับน้ำ 50 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสแล้ววัดค่าด้วย pH meter บันทึกผล

3.5.9 ค่าสี (Color analysis)

บรรจุแก้วมิงกรผงลงในถ้วยกระบอก และวัดค่าสีด้วยเครื่อง Colorimeter (Juki instrument, model JC801, Japan) บันทึกค่าสีระบบ CIE ในเทอมของ L^* , a^* และ b^* แล้วนำมาคำนวณค่าความแตกต่างของสีได้จากสมการ

$$\Delta E = (L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2$$

เมื่อ L^* คือ ค่าความสว่าง

a^* คือ ค่าความเป็นสีแดงหรือความเป็นสีเขียว

b^* คือ ค่าแสดงความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน

หมายเหตุ L^* มีค่าตั้งแต่ 0-100 ค่า L^* เท่ากับ 0 เป็นสีที่มืดที่สุด และ L^* เท่ากับ 100 เป็นสีที่สว่างที่สุด

a^* เป็นบวกจะแสดงความเป็นสีแดง และค่า a^* เป็นลบจะแสดงความเป็นสีเขียว

b^* เป็นบวกจะแสดงความเป็นสีเหลือง และค่า b^* เป็นลบจะแสดงความเป็นสีน้ำเงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.10 ปริมาณบีตาไซยานิน (Betacyanins content)

การวิเคราะห์บีตาไซยานิน นำผงแก้วมังกร 1 กรัม ผสมกับเอทานอลิกไฮโดรคลอริก 40 ml วัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 538 nm ด้วยเครื่อง spectrophotometer โดยใช้สมการในการคำนวณปริมาณเบตาไซยานิน (Markus et al., 2005)

$$BLC = \frac{(AxMWx1000)}{(TMx1)}$$

เมื่อ BLC = ความเข้มข้นของเบตาไซยานิน (กรัม/ลิตร)

A = ค่าการดูดกลืนแสง

MW = มวลโมเลกุลของเบตาไซยานิน 550 g/mol

TM (Molar extinction coefficient) = 60,000 L/mol



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 คุณสมบัติวัตถุดิบแก้วมังกร

เมื่อนำแก้วมังกรเปลือกแดงเนื้อแดง จากตลาดไทยจากนั้นจะนำมาปอกเพื่อแยกเปลือกและเนื้อ จากนั้น นำเนื้อและเปลือกชั้นในมาปั่นรวมกันตามอัตราส่วน และบรรจุลงถุงพลาสติกถุงละ 1,000 กรัม ซึ่งมีค่าบrixซ์เฉลี่ยเท่ากับ 12 หลังจากนั้นจึงเริ่มทำการดำเนินการทดลองโดยมีการเติมน้ำเพื่อลดความเข้มข้นของของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (Total soluble solid) ซึ่งคุณสมบัติต่างๆของวัตถุดิบเริ่มต้นในขณะทำการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติเริ่มต้นน้ำแก้วมังกรก่อนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

Total soluble solid (Brix)	8
Total solid (%)	12.10
pH	4.56
Color parameters	
L* (lightness-darkness)	16.76
a* (redness-greenness)	24.48
b* (blueness-yellowness)	4.25

จากตารางที่ 4.1 จะพบว่าวัตถุดิบเริ่มต้นของน้ำแก้วมังกรมีของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้อยู่ทั้งหมด 12.10% ความเป็นกรด-เบสของวัตถุดิบที่ใช้ทำแห้งแบบพ่นฝอยเท่ากับ 4.56

4.2 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย

แก้วมังกรบดถูกนำมากรองเพื่อป้องกันการอุดตันที่ตัวทำละออง หลังจากนั้นจึงเติมน้ำเปล่าให้มีความเข้มข้น 12 °brix ทำการผสมมอลโตเดกตรินที่อัตราส่วนต่างๆ และนำมาทำแห้งตามสภาวะการทดลองที่กำหนดไว้ หลังจากนั้นนำผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ผลการทดลองที่ได้แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก้วมังกรผงด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย

Inlet airtemperature (°C)	Maltodextrin (%d.b)	Moisture (%d.b)	% yield	Betacyanins (mg/g)	Density (g/ml)	Water activity	Hygroscopicity (gH ₂ O/gsolid)	Solubility at 25°C (sec.)	Dispersibility	pH	ΔE	Color Parameter		
												L*	a*	b*
170	75	2.316	36.81	106.25	0.451	0.234	0.451	47.546	23.87	4.86	38.05	49.43	43.74	-12.77
	100	1.851	52.96	144.48	0.423	0.207	0.454	68.408	26.43	4.82	34.58	54.92	39.80	-9.25
	125	1.730	59.17	4.13	0.422	0.196	0.464	105.850	32.83	4.90	41.75	56.98	37.36	-10.08
180	75	2.145	33.72	38.90	0.431	0.228	0.442	44.721	29.33	4.79	42.36	49.90	43.37	-11.57
	100	1.555	44.81	24.52	0.446	0.194	0.447	71.857	32.35	4.75	31.04	55.87	39.16	-11.15
	125	1.296	53.09	2.67	0.400	0.205	0.458	103.263	36.60	4.88	40.01	51.15	39.98	-9.65
190	75	2.069	27.80	29.46	0.467	0.232	0.433	47.912	34.71	4.76	37.79	46.07	46.05	-11.48
	100	1.438	35.21	19.20	0.419	0.215	0.446	70.283	36.00	4.73	32.23	55.59	37.29	-9.35
	125	1.094	40.37	0.74	0.455	0.218	0.448	100.465	37.84	4.74	42.46	56.37	36.23	-9.64

ตารางที่ 4.3 ค่า Standard deviation จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก้วมังกรผงด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย

Inlet airtemperature (°C)	Maltodextrin (%d.b)	Moisture (%d.b)	% yield	Betacyanins (mg/g)	Density (g/ml)	Water activity	Hygroscopicity (gH ₂ O/gsolid)	Solubility at 25°C (sec.)	Dispersibility	pH	ΔE	Color Parameter		
												L*	a*	b*
170	75	0.036	0.576	0.18	0.067	0.037	0.012	0.352	0.613	0.052	0.035	0.304	0.523	0.189
	100	0.036	0.511	0.637	0.062	0.035	0.015	0.213	0.235	0.125	0.258	0.634	0.26	0.405
	125	0.034	0.568	0.328	0.05	0.032	0.02	0.174	0.5	0.031	0.555	0.048	0.036	0.339
180	75	0.047	0.678	0.342	0.05	0.016	0.022	0.367	0.304	0.106	0.408	0.651	0.568	0.179
	100	0.025	0.575	0.365	0.049	0.057	0.003	4.855	0.248	0.138	0.027	0.613	0.11	0.106
	125	0.022	0.152	0.14	0.044	0.041	0.004	0.302	0.002	0.027	0.159	0.415	0.203	0.247
190	75	0.029	0.125	0.089	0.063	0.018	0.005	0.348	0.584	0.012	0.53	0.695	0.251	0.054
	100	0.062	0.06	0.476	0.06	0.03	0.007	0.118	0.422	0.033	0.005	0.104	0.692	0.46
	125	0.045	0.259	0.029	0.021	0.043	0.013	0.212	0.592	0.085	0.035	0.262	0.162	0.452

สมการโพลีโนเมียลกำลังสอง

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติถูกนำมาใช้เพื่อหาคำตอบของสมการการทดลองที่ประกอบด้วยจำนวนปัจจัยร่วมการทดลองหลายปัจจัย โดยใช้การวิเคราะห์การตอบสนองพื้นผิว (Response surface) และสมการ Multiple linear regression ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษาและคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์แก้วมังกรผงได้แก่ ความชื้น (Moisture), ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (% Yield), ความหนาแน่น (Bulk density), การละลาย (Solubility), การดูดความชื้นกลับ (Hygroscopicity) และค่าสี (Color)

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{12} X_{12} + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2$$

เมื่อ Y = คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์แก้วมังกรผง

X_1 = อุณหภูมิอากาศขาเข้า, องศาเซลเซียส (T_a)

X_2 = ปริมาณมอลโตเดกตริน, กรัม (MD_1)

X_{12} = ผลคูณระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้าและปริมาณมอลโตเดกตริน ($T_a * MD_1$)

X_1^2 = อุณหภูมิอากาศขาเข้ายกกำลังสอง (T_a^2)

X_2^2 = ปริมาณมอลโตเดกตรินยกกำลังสอง (MD_1^2)

หมายเหตุ $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_{12}, \beta_{11}$ และ β_{22} = ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร X_1, X_2, X_{12}, X_1^2 และ X_2^2 ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.4 ในการทำนายผลกระทบของตัวแปรอุณหภูมิอากาศขาเข้าและปริมาณมอลโตเดกตรินต่อคุณสมบัติต่างๆ ของแก้วมังกรผงโดยใช้สมการโพลีโนเมียลกำลังสอง จะพบว่าร้อยละของปริมาณผลิตภัณฑ์ผง, ค่าการดูดความชื้นกลับ, ค่าการกระจาย, และค่าปริมาณน้ำอิสระ ตัวแปรนี้มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ค่าความชื้นและค่าการละลาย ตัวแปรนี้มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) ส่วนคุณสมบัติอื่นๆ นั้นตัวแปรไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

หมายเหตุ ** ค่านัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ < 0.01

* ค่านัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ < 0.05

Ns ไม่แสดงนัยสำคัญทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 สัมประสิทธิ์ของสมการของคุณสมบัติต่างๆ เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบโพลีโนเมียลกำลังสอง

Coefficients	Yield(%)	Moisture(%)	Density(Kg/m ³)	Solubility at 25°C (sec.)	Hygroscopicity (gH ₂ o/gsolid)	Betacyanins content	pH	Dispersibility	Aw	Color change(ΔE)	L* value	a* value	b* value
β ₀	-659.434	29.8491	-411.2074	-18.2436	0.8209	10867.24	2.7199	5128.44	3.3124	177.979	339.6085	-212.612	67.9728
β ₁	6.7656	-0.2853	3.9424	0.0532	-0.0035	-114.02	0.0322	-49.28	-0.0297	-0.146	-3.6526	3.0438	-1.1963
β ₂	2.9263	0.0027	0.8789	0.6359	-0.0001	-3.97	-0.0074	-6.32	-0.0091	-2.628	0.8513	-0.2709	0.4988
β ₁₁	-0.0098	-0.0004	-0.0058	-0.0057	1.90x10 ⁻⁶	0.07	-5.17x10 ⁻⁵	0.02	0.0000	0.001	0.0027	-0.0034	-0.0008
β ₂₂	-0.0182	0.0008	-0.0081	0.0013	7.22x10 ⁻⁹	0.29	-9.07x10 ⁻⁵	0.13	0.0001	0.000	0.0092	-0.0076	0.0036
β ₁₂	-0.004	0.0002	0.0015	0.0076	4.61x10 ⁻⁷	-0.05	8.77x10 ⁻⁵	0.01	0.0000	0.013	-0.0061	0.0038	-0.0015
R ²	0.9918	0.9986	0.9918	0.9966	0.9452	0.83	0.8969	0.49	0.9503	0.853	0.7964	0.8820	0.7904
SE.	1.559	0.0247	0.7064	2.3535	0.0035	34.27	0.033	24.82	0.0054	2.711	2.8495	1.8845	0.9220
p-Value	*	**	ns (p<0.8)	**	*	ns (p<0.3)	ns (p<0.1)	*	*	ns (p<0.3)	ns (p<0.4)	ns (p<0.4)	ns (p<0.4)

4.2.1 ความชื้น (Moisture content)

จากการวิเคราะห์ผลผลิตภัณฑ์ผงที่ได้พบว่า ความชื้นโดยรวมของผลิตภัณฑ์ผงจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.1964 ถึง 2.8155 %

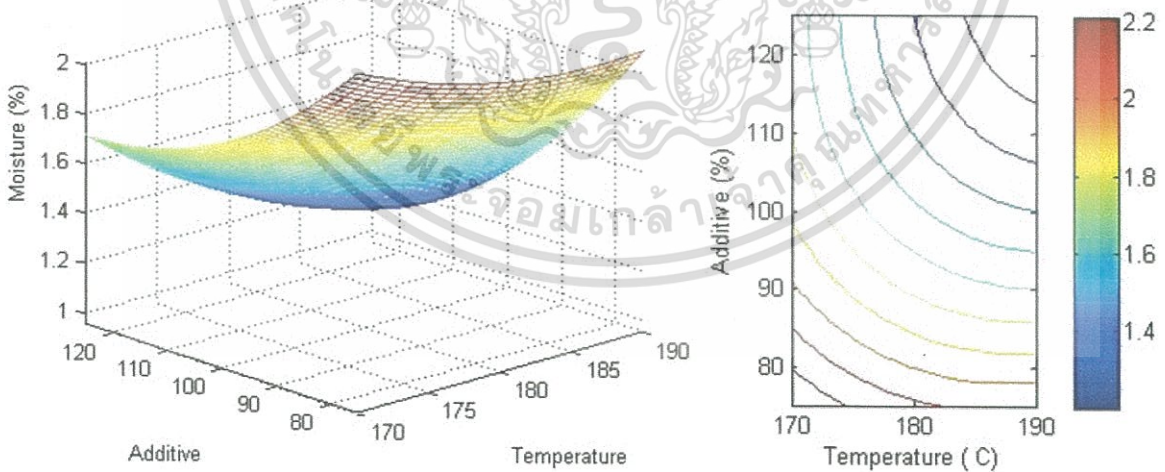
เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบความสัมพันธ์พหุนามกำลังสอง จะได้สมการและค่าสหสัมพันธ์ต่างๆ ดังนี้

$$\text{Moisture (\%)} = 29.849 - 0.2854X_1 + 0.0027X_2 - 0.00039X_1X_2 + 0.0008X_1^2 + 0.0003X_2^2$$

ค่า $R^2 = 0.9986$, S.E. = 0.0247, $p < 0.001$

จากการศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R^2 , S.E. และ P-value อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ผลกระทบของตัวแปรร่วมระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้าและปริมาณมอลโตเดกตริน มีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นดังแสดงในตารางภาคผนวก ข.

จากรูปที่ 4.1 พบว่าความชื้นมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าและปริมาณมอลโตเดกตรินเพิ่มขึ้น เนื่องจากด้วยอุณหภูมิอากาศขาเข้าที่สูงขึ้นทำให้อัตราการระเหยเพิ่มขึ้น และปริมาณมอลโตเดกตรินที่เพิ่มขึ้นทำให้ของแข็งสารละลายเพิ่มขึ้น (Quek et al., 2007) โดยที่อุณหภูมิอากาศขาเข้าที่ 190 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโตเดกตริน 125% ของของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ มีค่าความชื้นต่ำสุดเท่ากับ 1.1964%



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และความชื้นของผลิตภัณฑ์ผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ร้อยละปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (% Yield)

จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้พบว่าร้อยละของปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 27.80% ถึง 59.18%

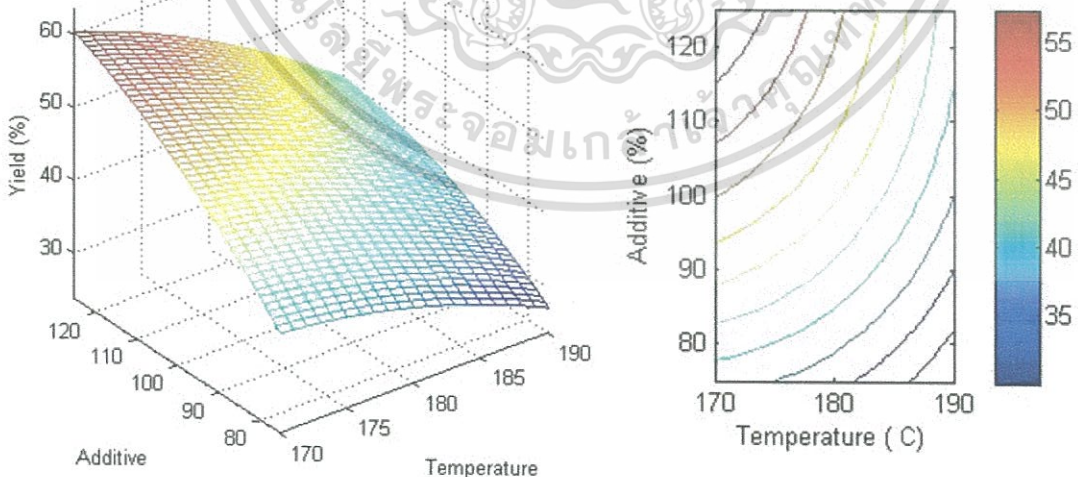
เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบความสัมพันธ์โพลีโนเมียลกำลังสอง จะได้สมการและค่าสหสัมพันธ์ต่างๆ ดังนี้

$$\text{Yield (\%)} = -659.434 + 6.766X_1 - 2.926X_2 - 0.0098X_1X_2 - 0.018X_1^2 - 0.004X_2^2$$

ค่า $R^2 = 0.9918$, S.E. = 1.5589, $p < 0.05$

จากการศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R^2 , S.E. และ P-value อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งมีนัยสำคัญนอกจากนี้ผลกระทบของตัวแปรปริมาณมอลโตเดกตริน และตัวแปรร่วมระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้าและปริมาณมอลโตเดกตรินมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ต่อการเปลี่ยนแปลงร้อยละปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ ดังแสดงในตารางภาคผนวก ข.

จากรูปที่ 4.2 พบว่าเมื่อปริมาณมอลโตเดกตรินเพิ่มขึ้นส่งผลให้ร้อยละปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Zhongiang Fang et al.,2012) นอกจากนี้พบว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ร้อยละปริมาณผลิตภัณฑ์ผงลดลง เพราะยังอุณหภูมิในการทำแห้งสูงเกินกว่าค่า glass temperature ของสารละลาย (Hilal S, ahin Nadeem et al.,2013) โดยปริมาณมอลโตเดกตริน 125% ของของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้และอุณหภูมิอากาศขาเข้า 170 องศาเซลเซียส จะมีค่าร้อยละปริมาณผลิตภัณฑ์ผงสูงสุดเท่ากับ 59.18%



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้า
อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และร้อยละปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ปริมาณเบตาไซยานิน (Betacyanins content)

จากการวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ที่ได้พบว่าปริมาณเบตาไซยานินที่ได้จากการทดลองอยู่ในช่วง 0.738 มิลลิกรัม/กรัม ถึง 144.484 มิลลิกรัม/กรัม

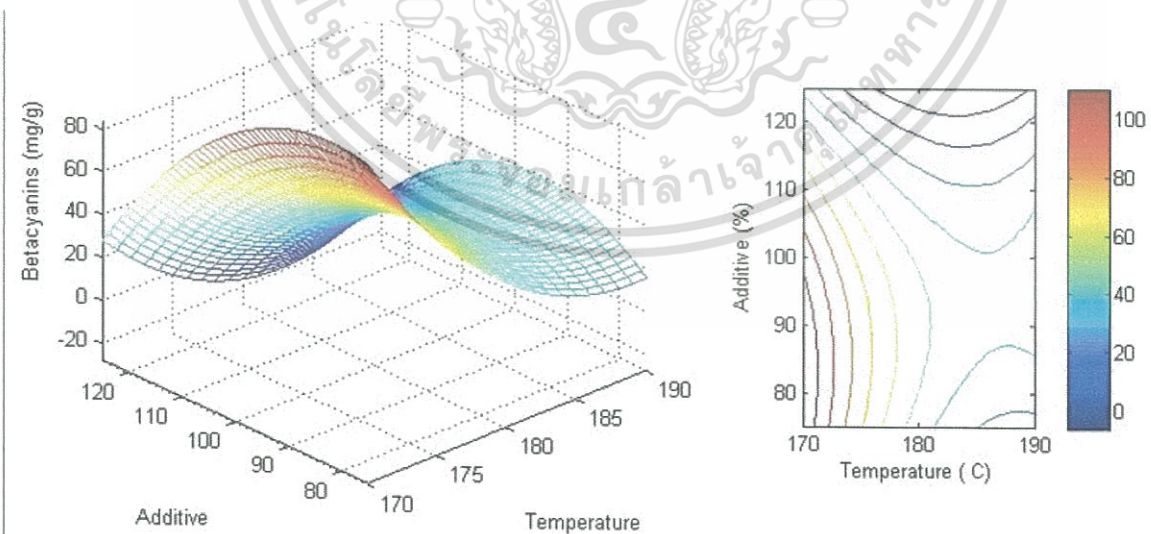
เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบความสัมพันธ์พหุนามกำลังสอง จะได้สมการและค่าสหสัมพันธ์ต่างๆ ดังนี้

$$\text{Betacyanins content (mg/g)} = 10867.239 - 114.015X_1 - 3.967X_2 + 0.073X_1X_2 - 0.287X_1^2 - 0.052X_2^2$$

ค่า $R^2 = 0.8264$, S.E. = 34.274, $p < 0.3$

จากการศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R^2 , S.E. และ P-value ไม่อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ผลกระทบของตัวแปรต่างๆ นั้นไม่มีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณเบตาไซยานิน แสดงในตารางภาคผนวก ข.

จากรูปที่ 4.3 พบว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณเบตาไซยานินลดลงโดยอุณหภูมิอากาศขาเข้าที่พบปริมาณเบตาไซยานินมากที่สุดคือ 170 องศาเซลเซียสซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (สันติชัย สิริวิฑโรดม.,ม.ป.ป.) ในขณะที่เดียวกันปริมาณมอลโตเดกตรินที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณเบตาไซยานินลดลงเช่นกัน โดยปริมาณมอลโตเดกตริน 100% ของของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้และอุณหภูมิอากาศขาเข้า 170 องศาเซลเซียส จะมีปริมาณเบตาไซยานินสูงสุดเท่ากับ 144.484 มิลลิกรัม/กรัม



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และปริมาณเบตาไซยานิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 ความหนาแน่น (Density)

จากการวิเคราะห์ความหนาแน่นพบว่า ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 400.035 ถึง 466.665 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

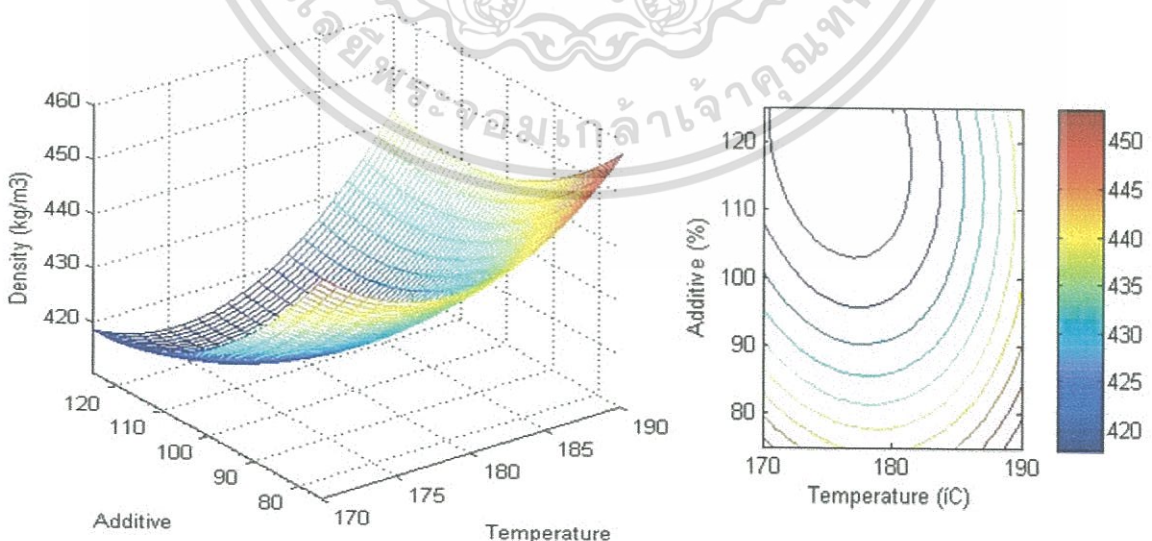
เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบความสัมพันธ์พหุนามกำลังสอง จะได้สมการและค่าสหสัมพันธ์ต่างๆ ดังนี้

$$\text{Density (kg/m}^3\text{)} = 5128.438 - 49.276X_1 - 6.316X_2 + 0.017X_1X_2 + 0.134X_1^2 + 0.014X_2^2$$

ค่า $R^2 = 0.4894$, S.E. = 24.8241, $p < 0.8$

จากการศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R^2 , S.E. และ P-value ไม่อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ผลกระทบของตัวแปรต่างๆ นั้นไม่มีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่น แสดงในตารางภาคผนวก ข.

จากรูปที่ 4.4 พบว่าที่อุณหภูมิอากาศขาเข้าที่ 170 องศาเซลเซียสมีความหนาแน่นสูงและลดลงเมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าเพิ่มขึ้นเป็น 180 องศาเซลเซียส แต่เมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าเพิ่มเป็น 190 องศาเซลเซียสพบว่า ความหนาแน่นมีค่าสูงที่สุดซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Mahboubeh Fazaeli, 2012) โดยพบว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศขาสูงจะส่งผลให้ค่าความหนาแน่นสูง ในขณะที่ปริมาณมอลโตเดกตรินที่ลดลงจะส่งผลให้ความหนาแน่นมีค่ามากขึ้น โดยพบว่ามีค่าความหนาแน่นสูงสุด เมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้า 190 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโตเดกตริน 75% ของของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ เท่ากับ 466.665 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และความหนาแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5 ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity)

จากการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระจะพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.1940 ถึง 0.2339 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของอาหารแห้ง

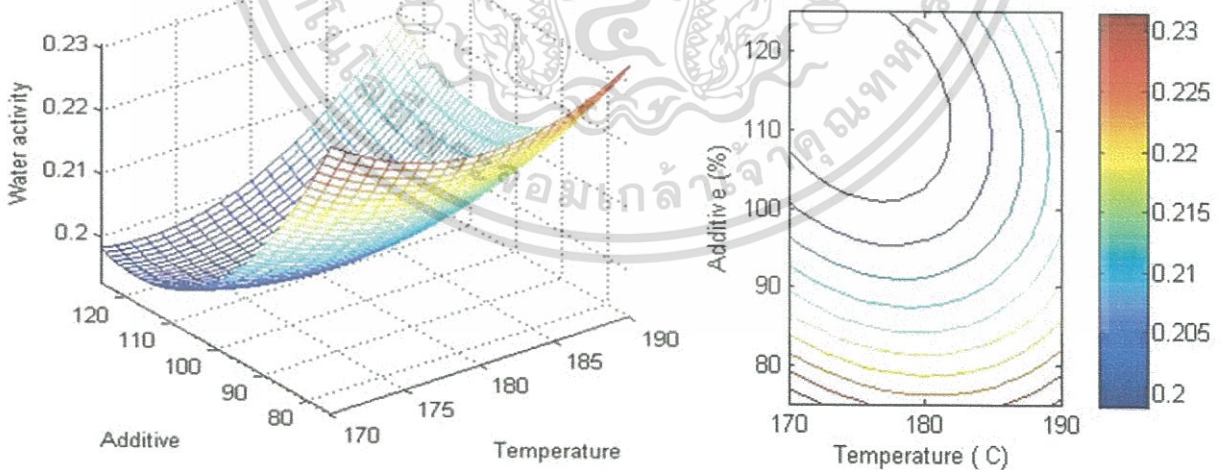
เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบความสัมพันธ์พหุนามกำลังสอง จะได้สมการและค่าสหสัมพันธ์ต่างๆ ดังนี้

$$Aw = 3.312 - 0.0297X_1 - 0.009X_2 + 0.00002X_1X_2 + 0.00008X_1^2 + 0.00002X_2^2$$

ค่า $R^2 = 0.9503$, S.E. = 0.0054, $p < 0.05$

จากการศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R^2 , S.E. และ P-value อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่น 95% นั่นคือมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ผลกระทบของปริมาณมอลโตเดกตรินและปริมาณมอลโตเดกตรินกำลังสอง มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ดังแสดงในตารางภาคผนวก ข.

จากรูปที่ 4.5 จะพบว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าเพิ่มขึ้นค่าปริมาณน้ำอิสระจะมีค่าใกล้เคียงกันไม่ต่างกันมาก แต่เมื่อเพิ่มปริมาณมอลโตเดกตริน ค่าปริมาณน้ำอิสระจะมีแนวโน้มลดลงซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Quek et al., 2007) ที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า 180 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโตเดกตริน 100% ของของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ จะทำให้มีค่าปริมาณน้ำอิสระต่ำสุดเท่ากับ 0.1940



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และปริมาณน้ำอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.6 ค่าการดูดความชื้นกลับ (Hygroscopicity)

จากการวิเคราะห์ค่าการดูดความชื้นกลับจะพบว่าค่าอยู่ในช่วง 0.4331 ถึง 0.4641

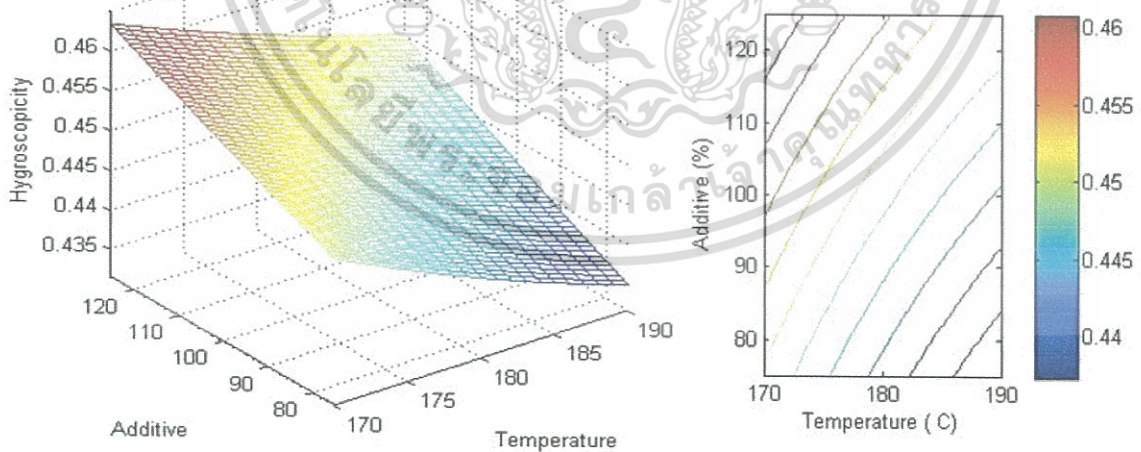
เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบความสัมพันธ์โพลีโนเมียลกำลังสอง จะได้สมการและค่าสหสัมพันธ์ต่างๆ ดังนี้

$$\text{Hygroscopicity} = 0.821 - 0.004X_1 - 0.00014X_2 + 1.902 \times 10^{-6}X_1X_2 + 7.216 \times 10^{-6}X_1^2 + 4.611X_2^2$$

ค่า $R^2 = 0.9452$, S.E. = 0.0034, $p < 0.05$

จากการศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R^2 , S.E. และ P-value อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่น 95% นั่นคือมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรต่างๆ จะพบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติแต่อย่างใด ดังแสดงในตารางภาคผนวก ข.

จากรูปที่ 4.6 จะพบว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าเพิ่มขึ้นการดูดความชื้นกลับมีแนวโน้มลดลง แต่เมื่อปริมาณมอลโตเดกตรินเพิ่มขึ้นส่งผลให้การดูดความชื้นกลับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับงานวิจัยของ (สโรบล สโรชวิสิต, 2554) แต่การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของการดูดความชื้นนั้นมีค่าไม่ต่างกันมากนัก



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และค่าการดูดความชื้นกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.7 ค่าการละลาย (Solubility)

จากการวิเคราะห์ค่าการละลายจะพบว่ามีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 44.720 – 105.850 วินาที

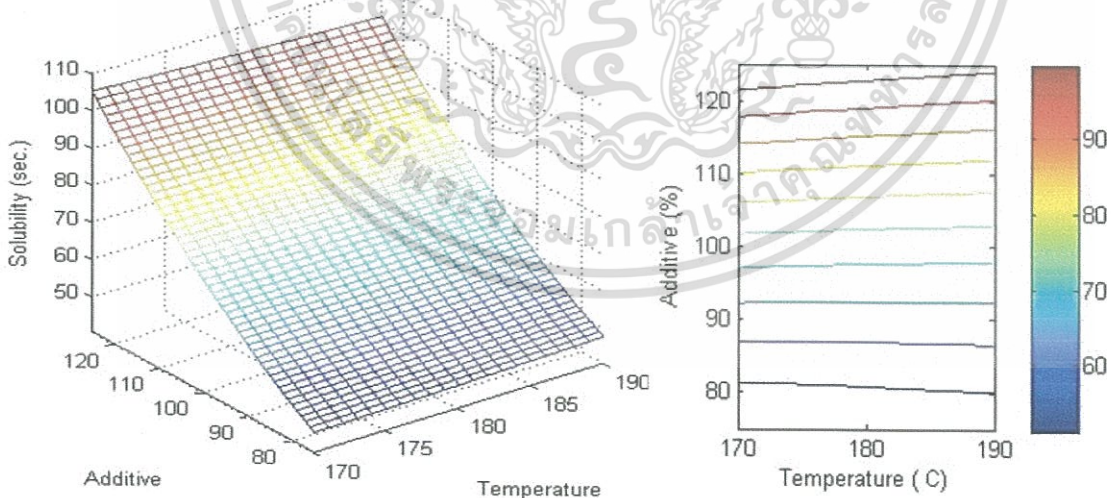
เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบความสัมพันธ์โพลีโนเมียลกำลังสอง จะได้สมการและค่าสหสัมพันธ์ต่างๆ ดังนี้

$$\text{Solubility (sec.)} = -18.244 + 0.053X_1 + 0.636X_2 - 0.006X_1X_2 - 0.0013X_1^2 + 0.008X_2^2$$

ค่า $R^2 = 0.9966$, S.E. = 2.3535, $p < 0.001$

จากการศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R^2 , S.E. และ P-value อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่น 95% นั่นคือมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรต่างๆ จะพบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติมากแต่อย่างใด ดังแสดงในตารางภาคผนวก ข.

จากรูปที่ 4.7 พบว่าเมื่อปริมาณมอลโตเดกตรินที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้การละลายลดลง ซึ่งจะเห็นได้จากเวลาที่ใช้ในการละลายที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่อุณหภูมิอากาศขาเข้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการละลายที่ลดลงเช่นกันโดยสอดคล้องกับงานวิจัย (Mahboubeh Fazaeli, 2012) ที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า 190 องศาเซลเซียส ปริมาณมอลโตเดกตริน 125 % ของของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ จะละลายได้ช้าสุดโดยใช้เวลารวมถึง 105.850 วินาที



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และค่าการละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.8 ค่าการกระจายตัว (Dispersibility)

จากการวิเคราะห์ค่าการกระจายจะพบว่ามีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 23.87 ถึง 37.84

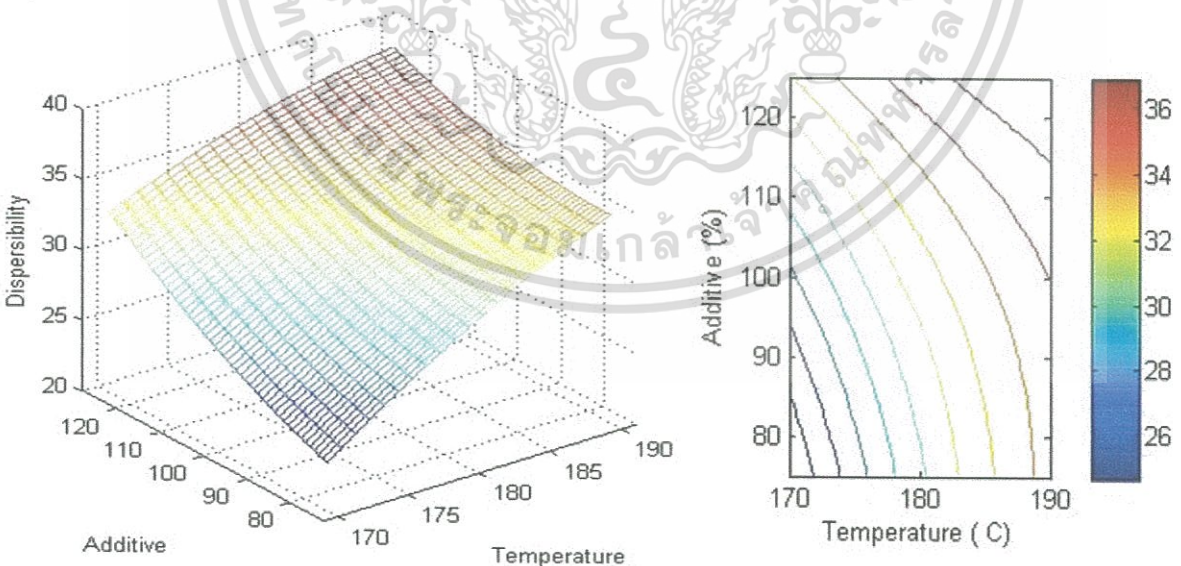
เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบความสัมพันธ์โพลีโนเมียลกำลังสอง จะได้สมการและค่าสหสัมพันธ์ต่างๆ ดังนี้

$$\text{Dispersibility} = -411.207 + 3.942X_1 + 0.879X_2 - 0.006X_1X_2 - 0.008X_1^2 + 0.0015X_2^2$$

ค่า $R^2 = 0.9918$, S.E. = 0.7063, $p < 0.05$

จากการศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R^2 , S.E. และ P-value อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่น 95% นั่นคือมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้เมื่อเมื่อวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรต่างๆ พบว่าตัวแปรระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้าและปริมาณมอลโตเดกตรินมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าการกระจายตัว ดังแสดงในตารางภาคผนวก ข.

จากรูปที่ 4.8 พบว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าสูงขึ้นส่งผลให้ค่าการกระจายสูงขึ้นในขณะที่ปริมาณมอลโตเดกตรินไม่มีผลต่อค่าการกระจายตัวของอนุภาคมากนัก โดยการเพิ่มมอลโตเดกตรินส่งผลให้ค่าการกระจายตัวเพิ่มขึ้นเล็กน้อยซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (สุนทรี วราอุบล, 2545) ที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า 190 องศาเซลเซียส ปริมาณมอลโตเดกตริน 125 % ของของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ จะมีค่าการกระจายตัวสูงสุดเท่ากับ 37.84



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และค่าการกระจายตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.9 ความเป็นกรดต่าง (pH)

จากการวิเคราะห์ค่า pH ของผลิตภัณฑ์พบว่ามีความอยู่ในช่วงตั้งแต่ 4.7267 ถึง 4.8950 ซึ่งเมื่อเทียบกับวัตถุดิบเริ่มต้นนั้นจะมีค่าความเป็นกรดที่ลดลง

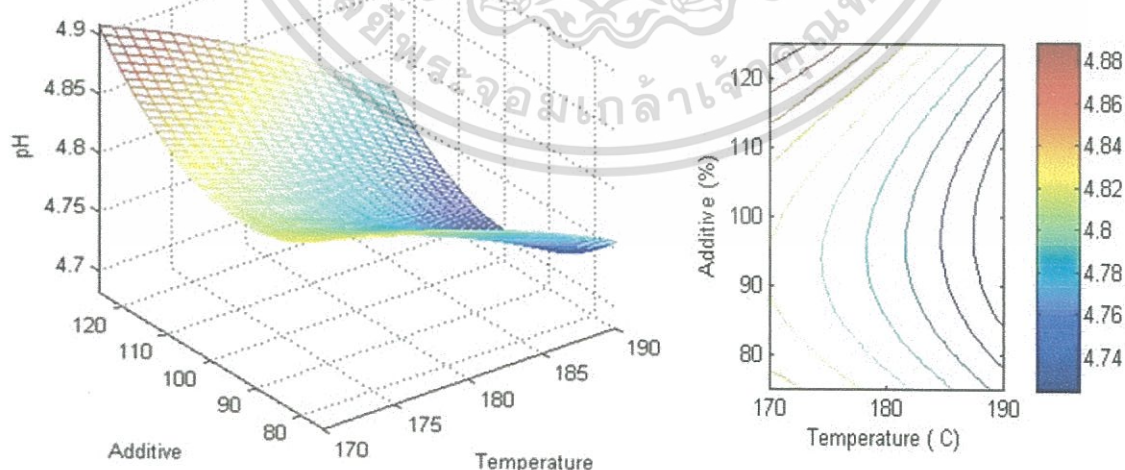
เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบความสัมพันธ์โพลีโนเมียลกำลังสอง จะได้สมการและค่าสหสัมพันธ์ต่างๆ ดังนี้

$$\text{pH} = 2.720 + 0.032X_1 + -0.007X_2 - 0.00005X_1X_2 - 0.00009X_1^2 + 0.00009X_2^2$$

ค่า $R^2 = 0.8969$, S.E. = 0.03299, $p < 0.1$

จากการศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R^2 , S.E. และ P-value ไม่อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่น 95% นั่นคือไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรต่างๆ จะพบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติมากอย่างใด ดังแสดงในตารางภาคผนวก ข.

จากรูปที่ 4.9 จะพบว่าค่าความเป็นกรดต่างจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าลดลงแต่ปริมาณมอลโตเดกตรินมีผลไม่มากนักซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (พรรณจิรา วงศ์สวัสดิ์, 2545) โดยมีค่าสูงสุดที่ 4.8950 อุณหภูมิอากาศขาเข้า 170 องศาเซลเซียส มอลโตเดกตริน 125% ของของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศขาเข้าและลดปริมาณมอลโตเดกตริน ค่าความเป็นกรดเบสจะลดลงซึ่งค่าที่เปลี่ยนแปลงนี้ต่างกันเพียงทศนิยมตำแหน่งที่หนึ่งเท่านั้น ซึ่งถือว่าต่างกันไม่มากนัก ที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า 190 องศาเซลเซียส มอลโตเดกตริน 75% ของของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ จะมีค่าความเป็นกรดต่างต่ำสุดเท่ากับ 4.7267



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และความเป็นกรด - ต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.10 ค่าความสว่าง (L*)

การวิเคราะห์ค่าความสว่างซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญสำหรับแก้วมังกรสุก พบว่าจะอยู่ในช่วง 46.0678 ถึง 56.9833 ซึ่งมีความสว่างเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับวัตถุดิบเริ่มต้น

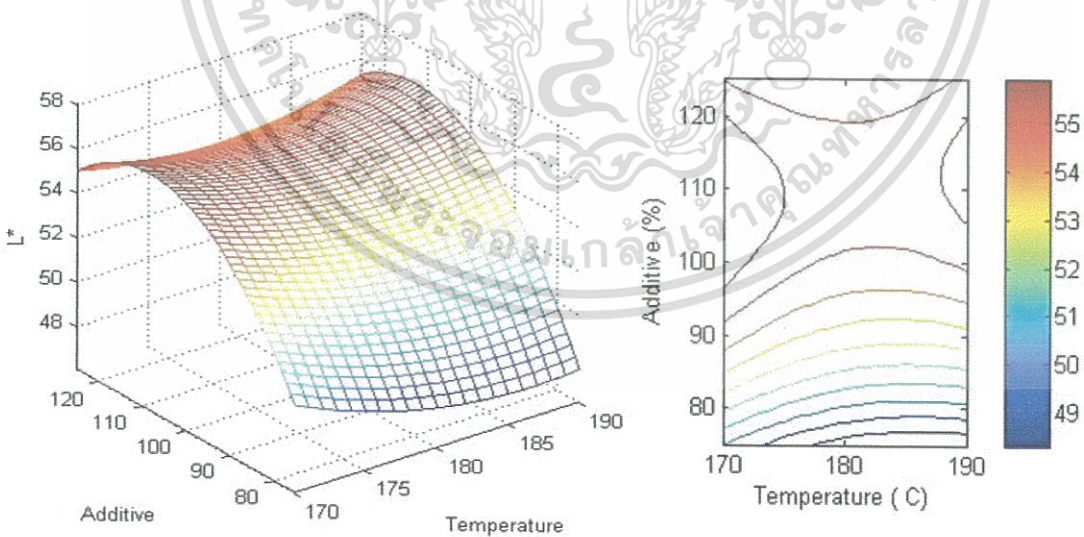
เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบความสัมพันธ์โพลีโนเมียลกำลังสอง จะได้สมการและค่าสหสัมพันธ์ต่างๆดังนี้

$$L^* = 339.608 - 3.653X_1 + 0.851X_2 + 0.003X_1X_2 + 0.009X_1^2 - 0.006X_2^2$$

ค่า $R^2 = 0.7963$, S.E. = 2.8494, $p < 0.4$

จากการศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R^2 , S.E. และ P-value ไม่อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่น 95% นั่นคือไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรต่างๆ จะพบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติมากแต่อย่างใด ดังแสดงในภาคผนวก ข.

จากรูปที่ 4.10 พบว่า จากกราฟอุณหภูมิอากาศขาเข้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความสว่างลดลง แต่การเติมมอลโตเดกตรินซึ่งเป็นสารช่วยทำแห้งสีชาวนั้นจะมีผลอย่างมากต่อค่าความสว่างซึ่งตรงกับงานวิจัยของ (Chin Nyuk Ling., 2011) โดยเมื่อปริมาณมอลโตเดกตรินเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความสว่างเพิ่มขึ้นเช่นกัน จากกราฟพบว่า ที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า 170 องศาเซลเซียสและปริมาณมอลโตเดกตริน 125% ของของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ จะมีค่าความสว่างสูงสุดเท่ากับ 56.9833



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และความสว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.11 ค่าความเป็นสีแดง (a*)

การวิเคราะห์ค่าความเป็นสีแดง มีค่าอยู่ในช่วง 36.229 ถึง 46.051 ซึ่งมีความเป็นสีแดงเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับวัตถุดิบเริ่มต้น

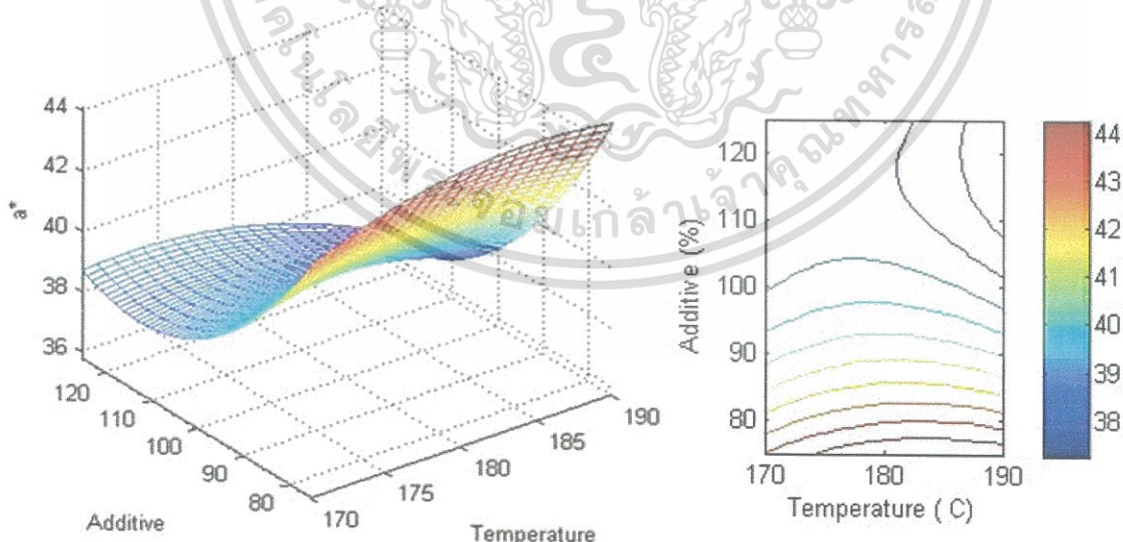
เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบความสัมพันธ์โพลีโนเมียลกำลังสอง จะได้สมการและค่าสหสัมพันธ์ต่างๆดังนี้

$$a^* = -212.612 + 3.044X_1 - 0.271X_2 - 0.003X_1X_2 - 0.008X_1^2 + 0.004X_2^2$$

ค่า $R^2 = 0.8820$, S.E. = 1.8845, $p < 0.4$

จากการศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R^2 , ค่า S.E. และ P-value ไม่อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่น 95% นั่นคือไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรต่างๆ จะพบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางภาคผนวก ข.

จากรูปที่ 4.11 พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิอากาศขาเข้าไม่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นสีแดงของผลิตภัณฑ์มากนัก ซึ่งค่าความเป็นสีแดงจะบ่งบอกปริมาณของบีตาไซยานินซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Jamilah Bakar.,2012) ที่ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศขาเข้าที่มีผลต่อปริมาณบีตาไซยานิน แต่เมื่อเติมมอลโตเดกตรินซึ่งเป็นสารสีขาวนั้นทำให้ความเป็นสีแดงลดลง โดยที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า 180 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโตเดกตริน 75% ของของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ มีค่าความเป็นสีแดงสูงสุดเท่ากับ 46.051



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และความเป็นสีแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.12 ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*)

จากการวิเคราะห์ค่าความเป็นสีเหลือง มีค่าอยู่ในช่วง -12.7667 ถึง -9.2533

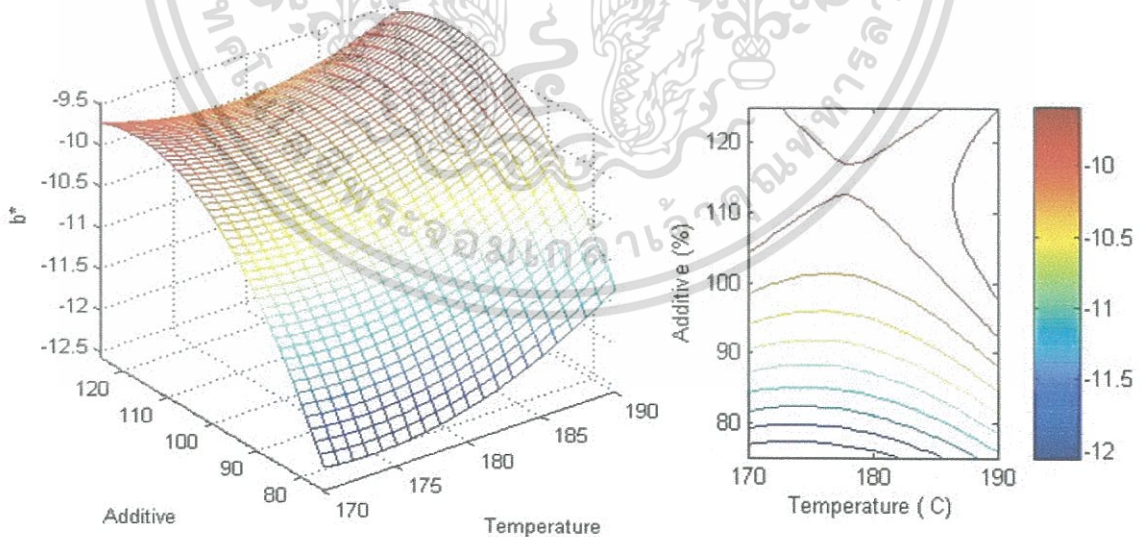
เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบความสัมพันธ์โพลีโนเมียลกำลังสอง จะได้สมการและค่าสหสัมพันธ์ต่างๆ ดังนี้

$$b^* = 67.973 - 1.196X_1 + 0.499X_2 - 0.0008X_1X_2 + 0.004X_1^2 - 0.002X_2^2$$

ค่า $R^2 = 0.7904$, S.E. = 0.9229, $p < 0.4$

จากการศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R^2 , S.E. และ P-value ไม่อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่น 95% นั่นคือไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรต่างๆ จะพบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติมากอย่างใด ดังแสดงในตารางภาคผนวก ข.

จากรูปที่ 4.12 พบว่าค่าที่ได้เป็นค่าติดลบซึ่งแสดงว่าสีค่อนข้างไปทางสีน้ำเงินมากกว่าโดย เมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความเป็นสีน้ำเงินเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Chin Nyuk Ling., 2011) แต่การเติมมอลโตเดกตรินจะส่งผลให้ค่าความเป็นสีน้ำเงินเพิ่มขึ้น โดยเมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้า 170 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโตเดกตริน 75% ของของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ มีค่าความเป็นสีน้ำเงินต่ำที่สุดเท่ากับ -12.7667



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และค่าความเป็นสีเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.13 ค่าสี (ΔE)

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสี มีค่าอยู่ในช่วง 31.0385 ถึง 42.4560

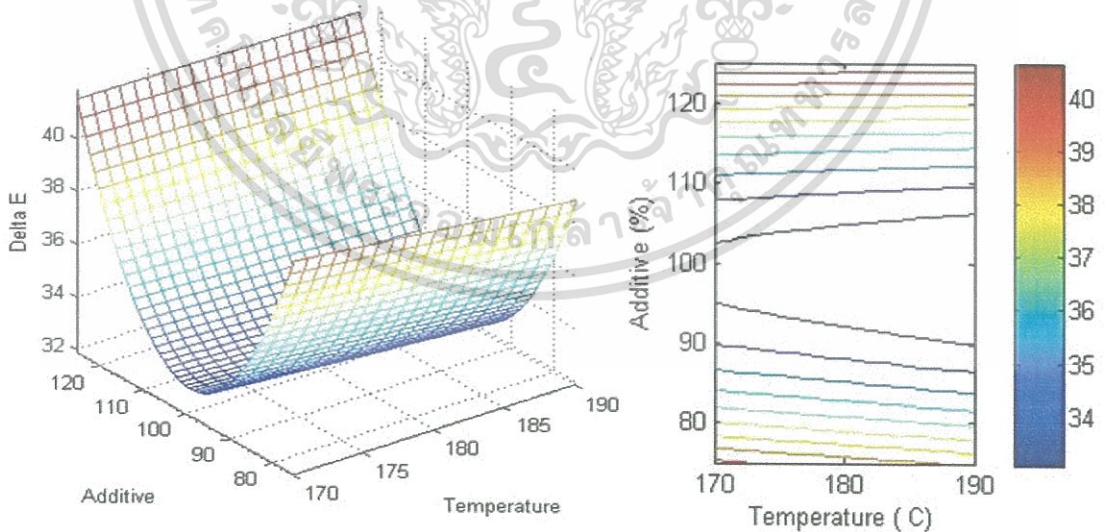
เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบความสัมพันธ์โพลีโนเมียลกำลังสอง จะได้สมการและค่าสหสัมพันธ์ต่างๆดังนี้

$$\Delta E = 177.979 - 0.146X_1 - 2.628X_2 + 0.00097X_1X_2 + 0.00005X_1^2 + 0.012X_2^2$$

ค่า $R^2 = 0.8532$, S.E. = 2.7110, $p < 0.3$

จากการศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R^2 , ค่า S.E. และ P-value ไม่อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่น 95% นั่นคือมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรปริมาณมอลโตเดกตรินกำลังสอง จะพบว่ามีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) คือปริมาณมอลโตเดกตรินเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า ค่าสีจะเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในตารางภาคผนวก ข.

จากรูปที่ 4.13 พบว่าอุณหภูมิอากาศขาเข้าไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสี แต่การเติมมอลโตเดกตรินซึ่งมีค่าการเปลี่ยนแปลงของสีชัดเจนกว่าผลของอุณหภูมิอากาศขาเข้าซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (สโรบล สโรชวิสิต, 2554) และการเปลี่ยนแปลงของสีมีค่ามากที่สุดเมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้า 170 องศาเซลเซียส ปริมาณมอลโตเดกตริน 125% ของของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ มีค่าการเปลี่ยนแปลงของสีมากที่สุดเท่ากับ 42.4560



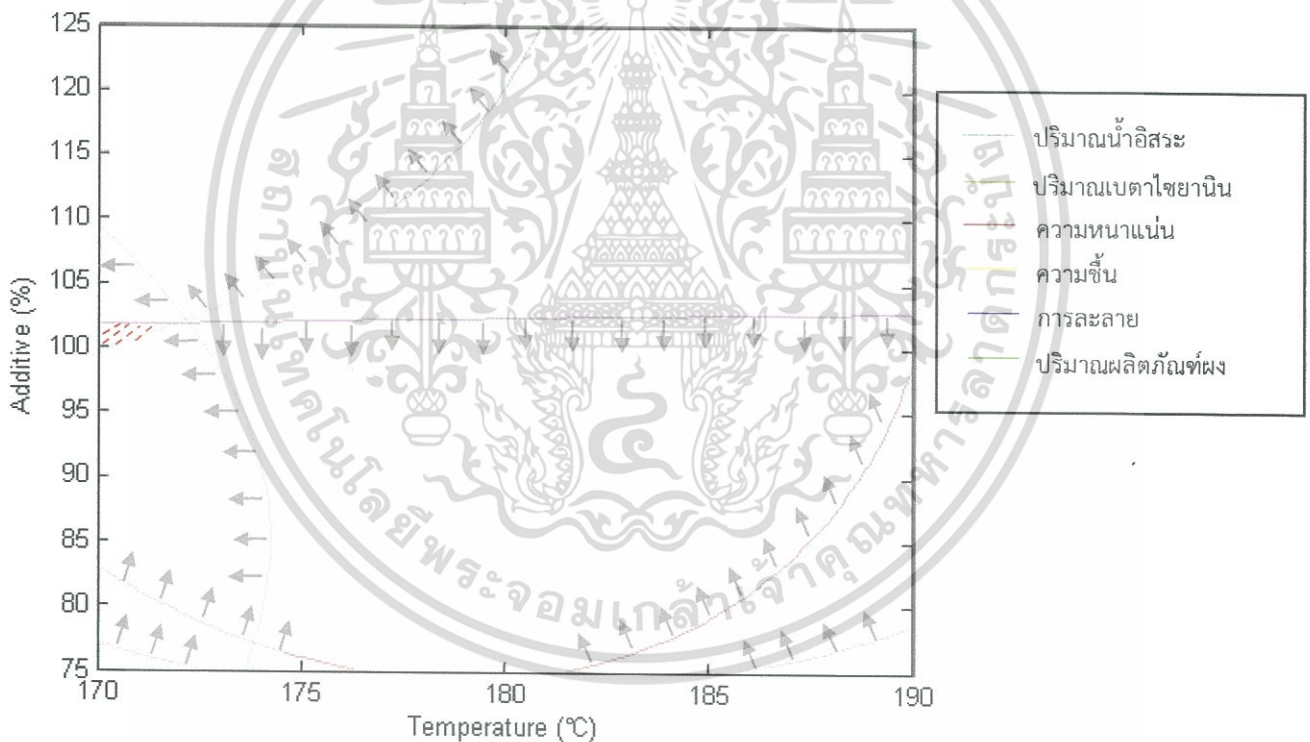
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และค่าสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำแห้งแก้วมังกรผง

เมื่อนำกราฟพื้นผิว (Response surface) ของคุณสมบัติต่างๆ มาพล็อตรวมกัน โดยใช้เกณฑ์ในการหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดดังนี้

เกณฑ์	ค่า
ปริมาณผลิตภัณฑ์ผง	> 50%
ปริมาณเบตาไซยานิน	> 84 mg/g
ความชื้น	< 3%
ความหนาแน่น	> 440 kg/m
ปริมาณน้ำอิสระ	< 0.6
การละลาย	< 72 sec



รูปที่ 4.14 สภาวะที่เหมาะสม

จากรูปที่ 4.14 จะได้ว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดอยู่ในพื้นที่แรเงาที่สีทุกเส้นตัดกัน นั่นคือเมื่ออุณหภูมิอากาศเข้าอยู่ในช่วง 170 – 172 องศาเซลเซียส ปริมาณมอลโตเดกทรินอยู่ในช่วง 100 – 102% ของของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลองการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

จากการศึกษาการทำแห้งแก้วมังกรผงด้วยกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยควบคุมสภาวะของเครื่องทำแห้งดังนี้ อุณหภูมิอากาศขาออก 75 องศาเซลเซียส, อัตราเร็วป้อน 40 mL/s โดยปัจจัยที่ศึกษาประกอบด้วยอุณหภูมิลมร้อน และปริมาณมอลโตเดกตริน

จากการทดลองพบว่า เมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อค่าความชื้น, ร้อยละปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้, ปริมาณเบตาไซยานิน, ค่าการดูดความชื้นกลับ, ค่าการละลาย, ค่าความเป็นกรดต่าง, ค่าความสว่าง, ค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลือง โดยจะส่งผลให้มีค่าลดลงในขณะที่ค่าความหนาแน่นและค่าการกระจายมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าค่าอุณหภูมิอากาศขาเข้านั้นมีผลเพียงเล็กน้อยเท่านั้นต่อค่าปริมาณน้ำอิสระ, ค่าความเป็นสีแดง และ ค่า ΔE

ปริมาณมอลโตเดกตรินที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อค่าร้อยละปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้, ค่าการดูดความชื้นกลับ, ค่าความสว่างและ ค่า ΔE โดยจะส่งผลให้มีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ ค่าความชื้น, ปริมาณเบตาไซยานิน, ค่าความหนาแน่น, ค่าปริมาณน้ำอิสระ, ค่าการละลาย, ค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลืองมีค่าลดลงเมื่อมีปริมาณมอลโตเดกตรินที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณมอลโตเดกตรินไม่มีผลต่อค่าการกระจายและค่าความเป็นกรดต่าง

โดยอุณหภูมิลมร้อนและปริมาณมอลโตเดกตรินมีผลต่อคุณภาพของแก้วมังกรผงดังนี้

- ความชื้น (Moisture content) โดยพบว่าความชื้นมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าและปริมาณมอลโตเดกตรินเพิ่มขึ้นโดยที่อุณหภูมิอากาศขาเข้าที่ 190 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโตเดกตริน 125% ของของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ มีค่าความชื้นต่ำสุด
- ร้อยละปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (% Yield) โดยพบว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ร้อยละปริมาณผลิตภัณฑ์ผงลดลง และปริมาณมอลโตเดกตรินเพิ่มขึ้นส่งผลให้ร้อยละปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้เพิ่มขึ้น โดยปริมาณมอลโตเดกตริน 125% ของของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้และอุณหภูมิอากาศขาเข้า 170 องศาเซลเซียส จะมีค่าร้อยละปริมาณผลิตภัณฑ์ผงสูงสุด
- ปริมาณเบตาไซยานิน (Betacyanins content) โดยพบว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณเบตาไซยานินลดลง ในขณะที่เดียวกันปริมาณมอลโตเดกตรินที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณเบตาไซยานินลดลงเช่นกัน โดยปริมาณมอลโตเดกตริน 75% ของของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ และอุณหภูมิอากาศขาเข้า 170 องศาเซลเซียส จะมีปริมาณเบตาไซยานินสูงสุด
- ความหนาแน่น (Density) โดยพบว่าอุณหภูมิอากาศขาเข้าที่ 170 องศาเซลเซียสมีความหนาแน่นสูงและลดลงเมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าเพิ่มขึ้นเป็น 180 องศาเซลเซียส แต่เมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มเป็น 190 องศาเซลเซียสพบว่า ความหนาแน่นมีค่าสูงที่สุดในขณะที่ปริมาณมอลโตเดกตรินที่ลดลงจะส่งผลให้ความหนาแน่นมีค่ามากขึ้น โดยพบว่ามีค่าความหนาแน่นสูงสุดเมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้า 190 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโตเดกตริน 75% ของของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้

● ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity) โดยพบว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าเพิ่มขึ้นค่าปริมาณน้ำอิสระจะมีค่าใกล้เคียงกันไม่ต่างกันมาก แต่เมื่อเพิ่มปริมาณมอลโตเดกตรินค่าปริมาณน้ำอิสระจะมีแนวโน้มลดลง และที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า 180 องศาเซลเซียสปริมาณมอลโตเดกตริน 100% ของของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ จะทำให้มีค่าปริมาณน้ำอิสระต่ำสุด

● ค่าการดูดความชื้นกลับ (Hygroscopicity) โดยพบว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าเพิ่มขึ้นการดูดความชื้นกลับมีแนวโน้มลดลง แต่เมื่อปริมาณมอลโตเดกตรินเพิ่มขึ้นส่งผลให้การดูดความชื้นกลับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

● ค่าการละลาย (Solubility) โดยพบว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการละลายที่ลดลง และเมื่อปริมาณมอลโตเดกตรินที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้การละลายลดลง ซึ่งจะเห็นได้จากเวลาที่ใช้ในการละลายที่เพิ่มขึ้น โดยอุณหภูมิอากาศขาเข้า 190 องศาเซลเซียสและปริมาณมอลโตเดกตริน 125 % ของของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ จะละลายได้ช้าสุด

● ค่าการกระจายตัว (Dispersibility) โดยพบว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าสูงขึ้นส่งผลให้ค่าการกระจายตัวสูงขึ้น ในขณะที่ปริมาณมอลโตเดกตรินไม่มีผลต่อค่าการกระจายตัวของอนุภาคมากนักที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า 190 องศาเซลเซียสและปริมาณมอลโตเดกตริน 125 % ของของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ จะมีค่าการกระจายตัวสูงสุด

● ความเป็นกรดต่าง (pH) โดยค่าความเป็นกรดต่างจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าลดลงแต่ปริมาณมอลโตเดกตรินมีผลไม่มากนัก

● ค่าความสว่าง (L^*) โดยพบว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความสว่างลดลงแต่การเติมมอลโตเดกตรินซึ่งเป็นสารช่วยทำแห้งสีขาวนั้นจะมีผลอย่างมากต่อค่าความสว่าง โดยเมื่อปริมาณมอลโตเดกตรินเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความสว่างเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดย ที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า 170 องศาเซลเซียสและปริมาณมอลโตเดกตริน 125% ของของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ จะมีค่าความสว่างสูงสุด

● ค่าความเป็นสีแดง (a^*) โดยพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิอากาศขาเข้าไม่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นสีแดงของผลิตภัณฑ์มากนัก แต่เมื่อเติมมอลโตเดกตรินซึ่งเป็นสารสีขาวนั้นทำให้ความเป็นสีแดงลดลง โดยที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า 180 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโตเดกตริน 75% ของของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ มีค่าความเป็นสีแดงสูงสุด

● ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) โดยพบว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าเพิ่มขึ้นและการเติมมอลโตเดกตรินจะส่งผลให้ค่าความเป็นสีน้ำเงินเพิ่มขึ้น โดยเมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้า 170 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโตเดกตริน 75% ของของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ มีค่าความเป็นสีน้ำเงินต่ำที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

●ค่าสี (ΔE) โดยพบว่าอุณหภูมิอากาศขาเข้าไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสี แต่การเติม มอลโตเดกตรินซึ่งมีค่าการเปลี่ยนแปลงของสีชัดเจนกว่าผลของอุณหภูมิอากาศขาเข้า โดยการ เปลี่ยนแปลงของสีมีค่ามากที่สุดเมื่อ อุณหภูมิอากาศขาเข้า 170 องศาเซลเซียส และปริมาณ มอลโตเดกตริน 125% ของของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้

โดยเมื่อนำค่าต่างๆ ที่ได้มาสรุปเพื่อหาสภาวะที่ดีที่สุดโดยใช้วิธี Response surface พบว่า ที่อุณหภูมิ อากาศขาเข้าช่วง 170 – 172 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโตเดกตรินอยู่ในช่วง 100 – 102% ของของแข็ง ทั้งหมดที่ละลายได้ คือสภาวะที่ดีที่สุดในการทำแห้ง

5.2 ข้อเสนอแนะ

- การต่อเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยต้องตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อป้องกันความผิดพลาดในการทำแห้งของ ผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ควรทำความสะอาดทุกครั้งหลังการทำแห้งเพื่อป้องกันการปนเปื้อน
- การเก็บรักษาแก้วมังกรผงหลังการทำแห้งควรเก็บในถุงสุญญากาศที่มิดชิดเพื่อป้องกันความชื้นซึ่งส่งผลต่อ คุณภาพของผลิตภัณฑ์อย่างสูง
- การเหนียวติดของผลิตภัณฑ์เป็นปัญหาเนื่องจากการเติมมอลโตเดกตรินลงไป เมื่อเจอกับความชื้นจะส่งผล ให้เกิดปัญหาดังกล่าวได้

เอกสารอ้างอิง

จินตน์กานต์ งามสุทธา. 2558. “แก้วมังกร ผลไม้มากคุณค่า” [online]. Available : http://it.doa.go.th/pibai/pibai/n15/v_8-sep/rai.html, 1-2.

จินตนา ศรีผุย. 2537. “การศึกษาผลของสภาวะการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อคุณภาพสารชีวภาพ”. กรุงเทพฯ : วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ถาวร วอนว่า และนิพนธ์ ฐานทองอรุณ. 2547. “การศึกษาองค์ประกอบทางพฤกษเคมีของสารสีแดงจากเปลือกผลแก้วมังกร”. ปัญหาพิเศษทางเภสัชเคมี คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

นิตดา หงส์วิวัฒน์ และทวีทอง หงส์วิวัฒน์. 2550. “ผลไม้ 111 ชนิด คุณค่าอาหารและการกิน”. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : แสงแดด.

นิธยา รัตนาปนนท์. 2549. “เคมีอาหาร”. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์. พืชเกษตร, 2558, “แก้วมังกร” [online]. Available : <http://puechkaset.com/แก้วมังกร>, 1-2.

พรรณจิรา วงศ์สวัสดิ์. 2545. “กระบวนการผลิตน้ำผักผลไม้รวมผงโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจายและไมโครเวฟสุญญากาศ”. วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 25(3) : 257-277.

พิศาล ฝ่ายชานา. ม.ป.ป. “การศึกษาระบบการอบแห้งแบบพ่นฝอย”. ขอนแก่น : วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

วิภาดา สอนงราชฎร์, วิภาวี ขาวจิตร, วารินทร์ ยางเดิม, ปริยาภัทร เช่าชาญ และพัชราภรณ์ สารเสนา. 2552. “การสกัดสารสีแดงจากแก้วมังกร”. วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, ปีที่ 2, ฉบับที่ 1, มกราคม-มิถุนายน 2552.

มณชัย เดชสังกรานนท์, นันทพร รุจิขจร และ จีสุดา เกตุกราย. 2552. “การแปรรูปผลแก้วมังกรโดยวิธีการหมัก”. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต.

ยุพร มูลคำ. 2558. “การสกัดสารสีแดงจากเปลือกแก้วมังกรและการประยุกต์ใช้ในน้ำสตรอเบอร์รี่ที่ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรซ์.” [ออนไลน์]. Available : http://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2552/agi p0952 ym_ch1.pdf. 25

สันติชัย สิริวัชโรดม และนางสาวอุษารัตน์ แวตระการ. ม.ป.ป. “ผลของอุณหภูมิการอบแห้งที่ใช้ในการอบแบบพ่นฝอยต่อความคงตัวของเบต้าไซยานินจากแก้วมังกร”.

สุนทรี วราอุบล. 2545. “การผลิตผลิตภัณฑ์น้ำใบเตยผง. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร”. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุทธิ ภมรสมิตร. 2544. “เอกสารประกอบการเรียนวิชา Food Additives”. ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหารและโภชนศาสตร์ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม : มหาสารคาม.

สวทช. 2558, “แก้วมังกร สูดยอดผลไม้เพื่อสุขภาพ” [online]. Available : <http://www.goosiam.com/health/html/0010163.html>, 1-2.

สวณิต อิชยาวณิชย์. 2556. “ความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดกลาสทรานซิชั่นระหว่างการอบแห้งกับคุณภาพของอาหารแห้งที่ผลิตได้.” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 23(1) : 241-249.

สุรพงษ์ โกสิยะจินดา. 2544. “แก้วมังกร สูดยอดผลไม้เพื่อสุขภาพ”. แก้วมังกร พืชเศรษฐกิจ ผลไม้สุขภาพ. กรุงเทพฯ : ฟีนนี่พับลิชชิง สวทช

สโรบล สโรชวิกลิต. 2554. “ผลของอุณหภูมิการอบแห้งและสารช่วยอบแห้งต่อคุณภาพของน้ำสับประรดผงโดยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย.” วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 34(3) : 203-215.

อรพิน ชัยประสพ, มานะ ฤกษ์ชัย, ศิริลักษณ์ บุตรศรี และปานีสมนชน จารุวาทีนกุล. 2553. “การพัฒนาการผลิตซอร์เบตแก้วมังกรพันธุ์สีแดงผง”. กรุงเทพมหานคร : สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

Amrita, K., Dabur, R.S., Kapoor, C.M. 1999. “Application of microencapsulation technology in dairy industry.” *Indian Food Industry*, 18 : 57-64.

Athanasia, M., Goulas, b., Konstantinos, G., Adamopoulos, b. 2010. “A new technique for spray drying orange juice concentrate”. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11 : 342-351.

Arvisenet, G., Voilley, A., Cayot, N. 2002. “Retention of aroma compounds in starch matrices : competitions between aroma compounds toward amylose and amylopectin.” *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50 : 7345-7349.

Bakar, J., Ee, S.C., Muhammad, K., Hashim, D.M., and Adzahan, N. 2013. “Spray Drying optimization for Red Pitaya peel (*Hylocereus polyshizus*).” *Food Bioprocess Technol*, 6 : 1332-1342.

Boutboul, A., Giampaoli, G., Feigenbaum, A., Duvruet, V. 2002. “Use of inverse gas chromatography with humidity control of the carrier gas to characterize aroma-starch interactions.” *Food Chemistry*, 71 : 387-392.

Buma T.J., Henstra S. 1971. “Particles structure of spray dried milk products as observed by scanning electron microscopy.” *Netherlands Milk and Dairy Journal*, 25 : 75-80.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Caparinoa, Q.A., Tang, J., Nindo, C.L., Sablani, S.S., Powers, J.R and Fellman, J.K. 2012. "Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine 'Carabao' var.) powder". *Journal of food Engineering*.111 : 135-148.

Chen,X and Mujumdar,A.S. 2008. "Drying Technology in food processing". **Chennai : Blackwell Publishing.**

Chin Nyuk Linga, Nor Amaiza Mohd Amina. 2013. "Compressibility and dissolution characteristics of mixed fruit tablets made from guava and pitaya fruit powders". *Powder Technology*. 112-119.

Dalgleish, D.G. 1997. "Adsorption of proteins and the stability of emulsions." *Trends Food Science and Technology*, 8 : 1-6.

Deis, R.C. 1997. "Spray-drying-innovative use of an old process." *Food Product Design*, 7 : 97-113.

Desobry S.A., Netto F.M., Labuza T.P. 1999. "Influence of maltodextrin systems at an equivalent 2.5 DE on encapsulated β -carotene loss during storage." *Journal of Food Processing Preservation* 23, 39-55.

Dickinson, E. 2001. "Milk protein interfacial layers and the relationship to emulsion stability and rheology." *Colloids Interfaces B*, 20 : 197-210.

Ducel, V., Richard, J., Saulnier, P., Popineau, Y., Boury, F. 2004. "Evidence and characterization of complex coacervates containing plant proteins: application to the microencapsulation of oil droplets." *Colloids and Surfaces A: Physicochemical Engineering Aspects*, 232 : 239-247.

Dziezak J.D. 1988. "Microencapsulation and encapsulated ingredients." *Food Technology* 42(4), 136-151.

Fang, Z and Bhandari, B. 2012. "Comparing the efficiency of protein and maltodextrin on spray drying of bayberry juice". *Food Research International*, 48 : 478-483.

Fazaeli, M., Djomeh, Z.E., Ashtari, A.K., and Ormid, 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.

Gourdel, Y., Tronel, J. 2001. "Flavoured Gelatin Capsules Capable of Containing Various Substances Used in the Food, Animal Feed, Dietetic and Pharmaceutical Sectors." **French Patent Application FR 2 807 677 A1, France.**

Hilal, I., Melike, S., Tansel, K., Ozgul, O., Gonul, G., Ali, U., Figen, K. 2013 "Baking kinetics of muffins in convection and steam assisted hybrid ovens (baking kinetics of muffin)". **Journal of Food Engineering.** 119 : 483-489.

Jayasundera, M., Adhikari, B., Adhikari, R and Aldred, P. 2011. "The effects of proteins and low molecular weight surfactants on spray drying of model sugar-rich foods: production and characterization". **Journal of Food Engineering.** 104: 259-271.

Jaya, S., and Das, H. 2004. "Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalcium phosphate on vacuum dried mango powder properties". **Journal of Food Engineering.** 125-134.

Kalab M. 1979. "Microstructure of dairy foods. 1. Milk products based on protein." **Journal Dairy Science.** 62 : 1352-1364

Kim, Y.D., Morr, C.V. 1996. "Microencapsulation properties of gum arabic and several food proteins : spray-dried orange oil emulsion particles." **Journal of Agricultural and Food Chemistry.** 44 : 1314-1320.

Lee, K.H., Wu, T.Y., and Siow L.F. 2013. "Spray drying of red(*Hylocereus polyshizus*) and white(*Hylocereus undatus*) dragon fruit juices." **International Journal of Food Science and Technology.** 48 : 2391-2399.

Lee, S.W., Kim, M.H., Kim, C.K. 1999. "Encapsulation of ethanol by spray-drying technique: effects of sodium lauryl sulfate." **International Journal of Pharmaceutics.** 187 : 193-198.

P.A. Sopadea, S.B. Leeb, E.T. Whitea, P.J. Halleya. 2007. "Glass transition phenomena in molasses". **LWT - Food Science and Technology.** 1117-1122.

Madene A., Jacquot M., Scher J., Desobry S. 2006. "Flavour encapsulation and controlled release. **International Journal of Food Science and Technology.** 41 : 1-21.

Markus, R., Moßhammer, Florian, C., Stintzing, Reinhold Carle. 2005. "Development of a process for the production of a betalain-based colouring foodstuff from cactus pear". **Innovative Food Science & Emerging Technologies.** 221-231.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

M.A. Silva, P.J.A. Sobral, T.G. Kieckbusch. 2006. "State diagrams of freeze-dried camu-camu (*Myrciaria dubia* (HBK) Mc Vaugh) pulp with and without maltodextrin addition". **Journal of Food Engineering**. 77 : 426-432.

Melanie M. Kenyon., Robert J. Anderson. 1988 "Maltodextrins and Low-Dextrose-Equivalence Corn Syrup Solids." **Food Chemistry**. 2 : 7-11.

Quek, S., Chok, N and Swedlund, P. 2007. "The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders". **Chemical Engineering and Processing**. 46(2007): 386-392.

Shahidi, F., Han, X.Q. 1993. "Encapsulation of food ingredients." **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. 33 : 501-547.

Sheu, T.Y., Rosenberg, M. 1995. "Microencapsulation by spray-drying ethyl caprylate in whey protein and carbohydrate wall systems." **Journal of Food Science**. 60 : 98-103.

Sheu, T.Y., Rosenberg, M. 1998. "Microstructure of microcapsules consisting of whey proteins and carbohydrates." **Journal of Food Science**. 63 : 491-494.

Trubiano, P.C., Lacourse, N.L. 1988. "Emulsion-stabilizing starches : use in flavour encapsulation. In : Flavour Encapsulation (edited by S.J. Risch & G.A. Reineccius)." **ACS Symposium Series 370**. Washington, DC : American Chemical Society. 45-54

Tze, N.L., Han, C.P., Yusof, Y.A., Ling, C.N., Talib, R.A., Taip, F.S., and Aziz, M.G. 2012. "Physiochemical and Nutritional Properties of Spray-dried Pitaya fruit powder as Natural Colorant." **Food Sci.Bio technol**. 21(3) : 675-682.

Wanitchang, J., Terdwongworakul, A., Wanitchang, P., and Noypitak, S. 2010. "Maturity sorting index of dragon fruit : *Hylocereus undatus*." **Journal of Food Engineering**. 100 : 409-416.

Williams, P. A., Phillips, G. O. 2000. "In Handbook of Hydrocolloids" **CRC Press: Cambridge**, 155-168.

Young, S.L., Sarda, X., Rosenberg, M. 1993. "Microencapsulating properties of whey proteins. 2. Combination of whey protein with carbohydrates." **Journal of Dairy Science**. 76 : 2878-2885.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำแก้มังกรผง : กรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (%)

Experiment No.	Temperature	Additive (%)	ผง (g)	Tss ผง (%)	น้ำแก้มังกร+น้ำ (g)	Tssเปียก (%)	Yield (%)
1	170	75	172.00	97.68	3241.00	14.33	36.81
2	180	75	155.66	97.85	3154.00	14.33	33.72
3	190	75	128.67	97.93	3159.00	14.33	27.80
4	170	100	264.67	98.15	3210.00	15.28	52.96
5	180	100	221.00	98.44	3178.36	15.28	44.81
6	190	100	175.67	98.56	3218.67	15.28	35.21
7	170	125	312.33	98.27	3237.00	16.02	59.17
8	180	125	281.82	98.70	3271.33	16.02	53.09
9	190	125	215.67	98.90	3298.33	16.02	40.37

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความชื้นของผลิตภัณฑ์ผง (%)

Experiment No.	Temperature	Additive (%)	ผง (g)	ผงหลังอบ (g)	Moisture content (%)
1	170	75	3.0649	2.9939	2.3155
2	180	75	3.0531	2.9876	2.1451
3	190	75	3.0787	3.0150	2.0694
4	170	100	3.0142	2.9584	1.8510
5	180	100	3.0894	3.0414	1.5553
6	190	100	3.0588	3.0148	1.4382
7	170	125	3.0337	2.9812	1.7297
8	180	125	3.0133	2.9742	1.2964
9	190	125	3.0384	3.0051	1.0943

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณเบตาไซยานิน

Experiment No.	Temperature	Additive (%)	ค่าการดูดกลืนแสง	Mw	ϵ	ρ	บีตาไซยานิน (mg/g)
1	170	75	0.523	550	60,000	0.4512	106.2541
2	180	75	0.183	550	60,000	0.43123	38.9006
3	190	75	0.156	550	60,000	0.46666	29.4644
4	170	100	0.666	550	60,000	0.42254	144.4844
5	180	100	0.119	550	60,000	0.44648	24.5168
6	190	100	0.087	550	60,000	0.41858	19.1983
7	170	125	0.019	550	60,000	0.42208	4.1264
8	180	125	0.012	550	60,000	0.40004	2.6734
9	190	125	0.004	550	60,000	0.45489	0.7389

ตารางแสดงวิเคราะห์ความหนาแน่น

Experiment No.	Temperature	Additive (%)	ผง (g)	ปริมาตรภาชนะ (ml)	Density (g/cm ³)
1	170	75	6.7680	15	0.45120
2	180	75	6.4684	15	0.43123
3	190	75	7.0000	15	0.46666
4	170	100	6.3381	15	0.42254
5	180	100	6.6973	15	0.44648
6	190	100	6.2788	15	0.41858
7	170	125	6.3312	15	0.42208
8	180	125	6.0005	15	0.40004
9	190	125	6.8234	15	0.45489

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ

Experiment No.	Temperature	Additive (%)	a_w	Temperature
1	170	75	0.2339	25.10
2	180	75	0.2279	25.35
3	190	75	0.2319	25.30
4	170	100	0.2068	25.15
5	180	100	0.1940	25.05
6	190	100	0.2149	25.11
7	170	125	0.1958	25.20
8	180	125	0.2053	25.30
9	190	125	0.2176	25.02

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์การดูดความชื้นกลับ

Experiment No.	Temperature	Additive (%)	ผง (g)	ผงที่เพิ่มขึ้น (g)	a_w	Hygroscopicity
1	170	75	3.3884	4.2313	0.2339	0.4513
2	180	75	3.1566	3.7871	0.2279	0.4418
3	190	75	3.2746	3.8413	0.2319	0.4331
4	170	100	3.2555	3.9439	0.2068	0.4543
5	180	100	3.1093	3.6004	0.1940	0.4467
6	190	100	3.3139	3.9534	0.2149	0.4460
7	170	125	3.2379	3.9871	0.1958	0.4641
8	180	125	3.0439	3.7201	0.2053	0.4576
9	190	125	3.1395	3.7831	0.2176	0.4478

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความสามารถในการละลาย

Experiment No.	Temperature	Additive (%)	การละลาย (วินาที)
1	170	75	47.5456
2	180	75	44.7208
3	190	75	47.9117
4	170	100	68.4078
5	180	100	71.8567
6	190	100	70.2833
7	170	125	105.8504
8	180	125	103.2633
9	190	125	100.4654

ตารางแสดงผลวิเคราะห์การกระจาย

Experiment No.	Temperature	Additive (%)	ผง (g)	ปริมาณน้ำ (ml)	ของแข็งที่ค้างบนตะแกรงกรอง (%)	ปริมาณของแข็งบนผงตัวอย่าง (%)	Dispersibility
1	170	75	15	100	30.0131	93.4342	23.87
2	180	75	15	100	24.3414	93.1293	29.33
3	190	75	15	100	21.0112	95.1193	34.71
4	170	100	15	100	27.3211	94.1872	26.43
5	180	100	15	100	22.3211	94.1872	32.35
6	190	100	15	100	19.9987	93.9002	36.00
7	170	125	15	100	22.1879	95.0012	32.83
8	180	125	15	100	19.8013	94.5213	36.60
9	190	125	15	100	19.0324	93.932	37.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด - ด่าง

Experiment No.	Temperature	Additive (%)	pH			
			1	2	3	Avg.
1	170	75	4.82	4.87	4.89	4.86
2	180	75	4.80	4.71	4.86	4.79
3	190	75	4.75	4.75	4.77	4.76
4	170	100	4.83	4.73	4.90	4.82
5	180	100	4.73	4.63	4.90	4.75
6	190	100	4.75	4.70	4.74	4.73
7	170	125	4.91	4.92	4.87	4.90
8	180	125	4.85	4.90	4.89	4.88
9	190	125	4.66	4.74	4.83	4.74

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ค่าความสว่าง (L*)

Experiment No.	Temperature	Additive (%)	Color L*	
			Solution	Powder
1	170	75	16.76	49.43
2	180	75	16.76	49.90
3	190	75	16.76	46.07
4	170	100	16.76	54.92
5	180	100	16.76	55.87
6	190	100	16.76	55.59
7	170	125	16.76	56.98
8	180	125	16.76	51.15
9	190	125	16.76	56.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นสีแดง (a*)

Experiment No.	Temperature	Additive (%)	Color a*	
			Solution	Powder
1	170	75	24.48	43.74
2	180	75	24.48	43.37
3	190	75	24.48	46.05
4	170	100	24.48	39.80
5	180	100	24.48	39.16
6	190	100	24.48	37.29
7	170	125	24.48	37.36
8	180	125	24.48	39.98
9	190	125	24.48	36.23

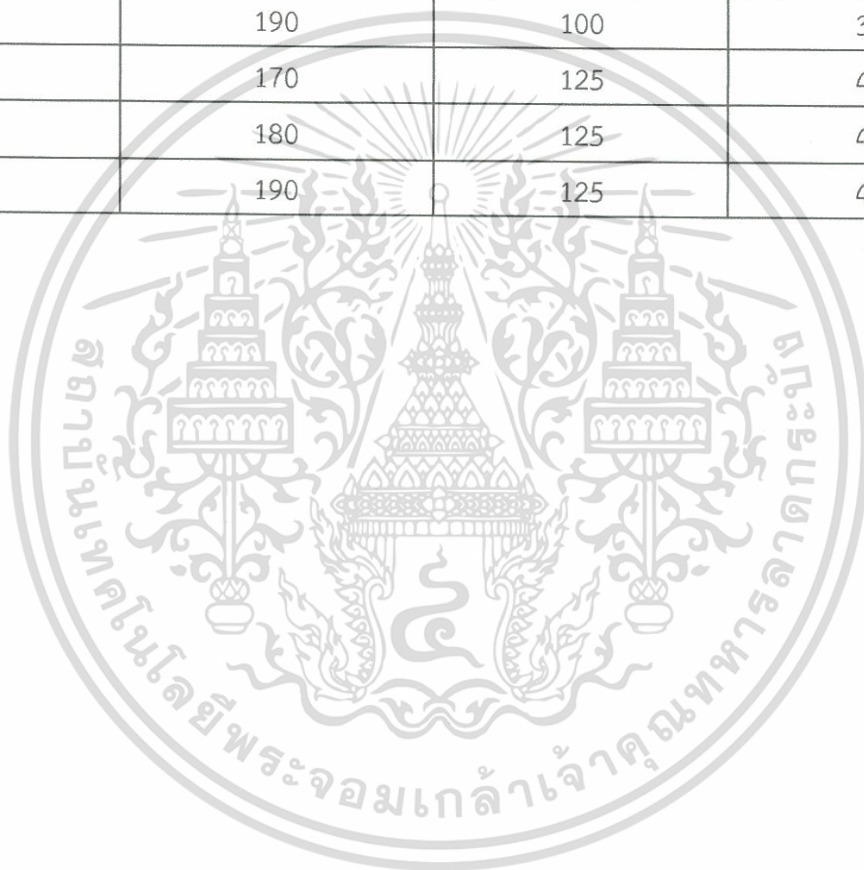
ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นสีเหลือง (b*)

Experiment No.	Temperature	Additive (%)	Color b*	
			Solution	Powder
1	170	75	4.25	-12.77
2	180	75	4.25	-11.57
3	190	75	4.25	-11.48
4	170	100	4.25	-9.25
5	180	100	4.25	-11.15
6	190	100	4.25	-9.35
7	170	125	4.25	-10.08
8	180	125	4.25	-9.65
9	190	125	4.25	-9.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ค่าสี (ΔE)

Experiment No.	Temperature	Additive (%)	total color change
1	170	75	38.0496
2	180	75	42.3643
3	190	75	37.7854
4	170	100	34.5768
5	180	100	31.0385
6	190	100	32.2253
7	170	125	41.7489
8	180	125	40.0064
9	190	125	42.4600



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข. ANOVA Table

Moisture content (%)

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.999320553
R Square	0.998641568
Adjusted R Square	0.996377515
Standard Error	0.024744296
Observations	9

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	5	1.350340519	0.270068104	441.0858	0.000169787
Residual	3	0.001836841	0.00061228		
Total	8	1.352177359			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	29.84914678	5.736331784	5.203525163	0.013793	11.59357889	48.10471467	11.59357889	48.10471467
X Variable 1	-0.285346983	0.06319088	-4.51563553	0.0203	-0.486448566	-0.0842454	-0.486448566	-0.0842454
X Variable 2	0.002710167	0.010529175	0.257395909	0.813518	-0.030798369	0.036218702	-0.030798369	0.036218702
X Variable 3	-0.000389227	4.94886E-05	-7.86498426	0.004282	-0.000546722	-0.000231732	-0.000546722	-0.000231732
X Variable 4	0.000840828	0.000174969	4.805595696	0.017154	0.000284	0.001397656	0.000284	0.001397656
X Variable 5	0.000256431	2.7995E-05	9.159891359	0.002751	0.000167338	0.000345523	0.000167338	0.000345523

Yield (%)

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.995884673
R Square	0.991786282
Adjusted R Square	0.978096751
Standard Error	1.558929411
Observations	9

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	5	880.3440905	176.0688181	72.448525	0.002508828
Residual	3	7.290782722	2.430260907		
Total	8	887.6348733			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	-659.4340632	361.3978858	-1.82467604	0.1655463	-1809.563429	490.6953031	-1809.563429	490.6953031
X Variable 1	6.765637601	3.981124408	1.699428832	0.187799602	-5.904077062	19.43535226	-5.904077062	19.43535226
X Variable 2	2.926371987	0.663354537	4.411475047	0.021612051	0.815281792	5.037462182	0.815281792	5.037462182
X Variable 3	-0.009800471	0.003117859	-3.143333922	0.051530353	-0.01972289	0.000121947	-0.01972289	0.000121947
X Variable 4	-0.018180543	0.011023296	-1.649283815	0.197651138	-0.053261589	0.016900503	-0.053261589	0.016900503
X Variable 5	-0.004001846	0.001763727	-2.268971175	0.108027541	-0.009614814	0.001611121	-0.009614814	0.001611121

Betacyanins content

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>								
Multiple R	0.909066544							
R Square	0.826401981							
Adjusted R Square	0.537071951							
Standard Error	34.27439968							
Observations	9							
ANOVA								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	5	16776.73924	3355.347848	2.856260648	0.208430191			
Residual	3	3524.203421	1174.734474					
Total	8	20300.94266						
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	10867.23949	7945.642372	1.367698039	0.264854158	-14419.34072	36153.8197	-14419.34072	36153.8197
X Variable 1	-114.0155799	87.52843343	-1.302611911	0.28368304	-392.5701195	164.5389596	-392.5701195	164.5389596
X Variable 2	-3.96672877	14.58441824	-0.271984025	0.803278616	-50.38085671	42.44739917	-50.38085671	42.44739917
X Variable 3	0.073402164	0.068548799	1.070801595	0.362749554	-0.14475071	0.291555037	-0.14475071	0.291555037
X Variable 4	0.286808269	0.242356604	1.183414292	0.32187845	-0.484478611	1.058095149	-0.484478611	1.058095149
X Variable 5	-0.051797651	0.038777057	-1.335780883	0.273916597	-0.175203552	0.07160825	-0.175203552	0.07160825

Density

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>									
Multiple R	0.699591671								
R Square	0.489428505								
Adjusted R Square	-0.361523985								
Standard Error	24.82417715								
Observations	9								
ANOVA									
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>				
Regression	5	1772.163038	354.4326076	0.575153737	0.725523356				
Residual	3	1848.719314	616.2397714						
Total	8	3620.882352							
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>	
Intercept	5128.438222	5754.850141	0.891150611	0.438501161	-13186.06335	23442.93979	-13186.06335	23442.93979	
X Variable 1	-49.27575	63.39487657	-0.777282845	0.493655666	-251.0265407	152.4750407	-251.0265407	152.4750407	
X Variable 2	-6.316406667	10.56316625	-0.59796528	0.591994464	-39.93311608	27.30030275	-39.93311608	27.30030275	
X Variable 3	0.017343	0.049648354	0.349316714	0.749933055	-0.140660222	0.175346222	-0.140660222	0.175346222	
X Variable 4	0.134111667	0.17553344	0.764023463	0.500447417	-0.424514081	0.692737414	-0.424514081	0.692737414	
X Variable 5	0.013570667	0.02808535	0.483193781	0.66202884	-0.075809453	0.102950786	-0.075809453	0.102950786	

Solubility

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.998287131
R Square	0.996577196
Adjusted R Square	0.990872523
Standard Error	2.353556433
Observations	9

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	5	4838.373532	967.6747064	174.6948721	0.000677818
Residual	3	16.61768364	5.539227881		
Total	8	4854.991216			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	-18.24364	545.6118237	-0.033437032	0.975426369	-1754.623972	1718.136692	-1754.623972	1718.136692
X Variable 1	0.053241	6.01040746	0.008858135	0.993488453	-19.07455801	19.18104001	-19.07455801	19.18104001
X Variable 2	0.635910133	1.001483664	0.634968054	0.570566774	-2.551257851	3.823078118	-2.551257851	3.823078118
X Variable 3	-0.00575105	0.004707113	-1.22177865	0.30903868	-0.020731184	0.009229084	-0.020731184	0.009229084
X Variable 4	0.0013041	0.016642157	0.078361236	0.942474707	-0.051658671	0.054266871	-0.051658671	0.054266871
X Variable 5	0.007643096	0.002662745	2.870382104	0.064030302	-0.000830947	0.016117139	-0.000830947	0.016117139

Hygroscopicity

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.972228481
R Square	0.94522822
Adjusted R Square	0.853941921
Standard Error	0.003464791
Observations	9

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	5	0.00062152	0.000124304	10.35454634	0.041398239
Residual	3	3.60143E-05	1.20048E-05		
Total	8	0.000657534			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	0.820915222	0.803223008	-1.022026529	0.381994256	-1.73529887	3.377129315	-1.73529887	3.377129315
X Variable 1	-0.0035028	0.008848228	-0.395875896	0.71867042	-0.031661809	0.024656209	-0.031661809	0.024656209
X Variable 2	-0.00014566	0.001474335	-0.098797071	0.927530832	-0.004837653	0.004546333	-0.004837653	0.004546333
X Variable 3	1.902E-06	6.92958E-06	0.274475468	0.801535002	-2.0151E-05	2.3955E-05	-2.0151E-05	2.3955E-05
X Variable 4	7.21667E-06	2.44998E-05	0.294560603	0.78753625	-7.07525E-05	8.51859E-05	-7.07525E-05	8.51859E-05
X Variable 5	4.61067E-07	3.91996E-06	0.117620158	0.913801529	-1.2014E-05	1.29361E-05	-1.2014E-05	1.29361E-05

Color L*

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.89240026
R Square	0.796378224
Adjusted R Square	0.457008598
Standard Error	2.849465809
Observations	9

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	5	95.26718031	19.05343606	2.346639662	0.256937336
Residual	3	24.35836618	8.119455394		
Total	8	119.6255465			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	339.6084767	660.5757206	0.514109838	0.642648662	-1762.638285	2441.855238	-1762.638285	2441.855238
X Variable 1	-3.652657	7.276838709	-0.50195657	0.650223182	-26.81080546	19.50549146	-26.81080546	19.50549146
X Variable 2	0.851358933	1.212502669	0.702150152	0.533160093	-3.007365707	4.710083574	-3.007365707	4.710083574
X Variable 3	0.00274889	0.005698932	0.482351813	0.662561754	-0.015387654	0.020885434	-0.015387654	0.020885434
X Variable 4	0.0092295	0.020148766	0.458067756	0.678046276	-0.054892866	0.073351866	-0.054892866	0.073351866
X Variable 5	-0.006093944	0.003223803	-1.890296908	0.155109033	-0.016353523	0.004165635	-0.016353523	0.004165635

Color a*

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>									
Multiple R	0.939150545								
R Square	0.882003745								
Adjusted R Square	0.685343321								
Standard Error	1.884483465								
Observations	9								
ANOVA									
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>				
Regression	5	79.63575917	15.92715183	4.48490717	0.123317949				
Residual	3	10.65383379	3.55127793						
Total	8	90.28959296							
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>	
Intercept	-212.6120467	436.8692613	-0.486672022	0.65983017	-1602.925013	1177.70092	-1602.925013	1177.70092	
X Variable 1	3.043798833	4.812509834	0.632476387	0.57199145	-12.27175531	18.359353	-12.27175531	18.35935297	
X Variable 2	-0.2709804	0.801884067	-0.337929647	0.75768174	-2.822933387	2.28097259	-2.822933387	2.280972587	
X Variable 3	-0.00343683	0.003768967	-0.91187587	0.42906874	-0.015431365	0.0085577	-0.015431365	0.008557705	
X Variable 4	-0.00756195	0.01332531	-0.56748772	0.61007383	-0.049969035	0.03484513	-0.049969035	0.034845135	
X Variable 5	0.003794888	0.00213205	1.77992477	0.17313076	-0.002990246	0.01058002	-0.002990246	0.010580022	

Color b*

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>								
Multiple R	0.889070705							
R Square	0.790446718							
Adjusted R Square	0.441191249							
Standard Error	0.922023006							
Observations	9							
ANOVA								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	5	9.620173489	1.924034698	2.26323361	0.266640802			
Residual	3	2.55037927	0.850126423					
Total	8	12.17055276						
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	67.97288444	213.7474363	0.318005613	0.77133141	-612.2668545	748.2126234	-612.2668545	748.2126234
X Variable 1	-1.196286167	2.354621234	-0.508058854	0.64641276	-8.689741814	6.297169481	-8.689741814	6.297169481
X Variable 2	0.4988088	0.392338575	1.271373327	0.29321559	-0.74978765	1.74740525	-0.74978765	1.74740525
X Variable 3	-0.00084933	0.001844046	-0.460579614	0.67643447	-0.006717907	0.005019247	-0.006717907	0.005019247
X Variable 4	0.003634283	0.006519687	0.557432162	0.61612269	-0.017114271	0.024382838	-0.017114271	0.024382838
X Variable 5	-0.001514515	0.00104315	-1.451866689	0.24246066	-0.004834283	0.001805254	-0.004834283	0.001805254

Color ΔE

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>								
Multiple R	0.923719954							
R Square	0.853258553							
Adjusted R Square	0.608689475							
Standard Error	2.71102155							
Observations	9							
ANOVA								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	5	128.2079772	25.64159543	3.488824345	0.166324673			
Residual	3	22.04891353	7.349637844					
Total	8	150.2568907						
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	177.9786067	628.4809624	0.283188541	0.795449507	-1822.12831	2178.085523	-1822.12831	2178.085523
X Variable 1	-0.145798333	6.923285935	-0.021059123	0.984520854	-22.17878408	21.88718741	-22.17878408	21.88718741
X Variable 2	-2.627896	1.153591967	-2.278011703	0.107131196	-6.299140492	1.043348492	-6.299140492	1.043348492
X Variable 3	0.00097532	0.005422043	0.179880532	0.868710551	-0.016280041	0.018230681	-0.016280041	0.018230681
X Variable 4	4.59E-05	0.019169817	0.002394389	0.998239874	-0.060961014	0.061052814	-0.060961014	0.061052814
X Variable 5	0.012462224	0.003067171	4.063100817	0.026882107	0.002701118	0.02222333	0.002701118	0.02222333

Water activity

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>								
Multiple R	0.974821206							
R Square	0.950276384							
Adjusted R Square	0.867403689							
Standard Error	0.005432842							
Observations	9							
ANOVA								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	5	0.001692243	0.000338449	11.46670075	0.035976689			
Residual	3	8.85473E-05	2.95158E-05					
Total	8	0.00178079						
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	3.312407407	1.259465434	2.630010573	0.078324418	-0.69577371	7.320588525	-0.69577371	7.320588525
X Variable 1	-0.029712963	0.01387415	-2.141605961	0.121668286	-0.073866701	0.014440775	-0.073866701	0.014440775
X Variable 2	-0.0091	0.002311779	-3.936362114	0.029206664	-0.016457113	-0.001742887	-0.016457113	-0.001742887
X Variable 3	2.37778E-05	1.08657E-05	2.188336844	0.116435591	-1.08017E-05	5.83572E-05	-1.08017E-05	5.83572E-05
X Variable 4	7.72222E-05	3.8416E-05	2.010158012	0.137962369	-4.50346E-05	0.000199479	-4.50346E-05	0.000199479
X Variable 5	0.0000216	6.14656E-06	3.514161129	0.039080787	2.0389E-06	4.11611E-05	2.0389E-06	4.11611E-05

pH

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.947072427
R Square	0.896946183
Adjusted R Square	0.725189821
Standard Error	0.032991344
Observations	9

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	5	0.028419967	0.005683993	5.222200634	0.102101053
Residual	3	0.003265286	0.001088429		
Total	8	0.031685254			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	2.719938272	7.648198767	0.355631222	0.745653067	-21.62004364	27.05992018	-21.62004364	27.05992018
X Variable 1	0.032166667	0.084251823	0.381791936	0.728053899	-0.235960237	0.30029357	-0.235960237	0.30029357
X Variable 2	-0.007455556	0.014038453	-0.53108098	0.632168216	-0.052132179	0.037221068	-0.052132179	0.037221068
X Variable 3	-5.16667E-05	6.59827E-05	-0.783033673	0.49073398	-0.000261653	0.00015832	-0.000261653	0.00015832
X Variable 4	-9.07407E-05	0.000233284	-0.388971077	0.723262624	-0.000833155	0.000651673	-0.000833155	0.000651673
X Variable 5	8.77037E-05	3.73254E-05	2.34970283	0.100332872	-3.10825E-05	0.00020649	-3.10825E-05	0.00020649

Dispersibility

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.99590564
R Square	0.99182805
Adjusted R Square	0.97820813
Standard Error	0.70639823
Observations	9

ANOVA						
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>	
Regression	5	181.6899903	36.33799806	72.82186429	0.002489811	
Residual	3	1.496995377	0.498998459			
Total	8	183.1869857				

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	-411.2074	163.7603505	-2.511031527	0.08685872	-932.3659255	109.9511195	-932.3659255	109.9511195
X Variable 1	3.94242842	1.803968297	2.185420012	0.11675421	-1.798603824	9.68346066	-1.798603824	9.68346066
X Variable 2	0.87890139	0.300586074	2.92395911	0.061299369	-0.077697651	1.835500428	-0.077697651	1.835500428
X Variable 3	-0.0058286	0.001412796	-4.125596087	0.025823434	-0.010324776	-0.001332479	-0.010324776	-0.001332479
X Variable 4	-0.0081553	0.00499499	-1.63269704	0.201037247	-0.024051592	0.007740982	-0.024051592	0.007740982
X Variable 5	0.00149638	0.000799198	1.87234665	0.157886179	-0.00104703	0.004039782	-0.00104703	0.004039782

ขั้นตอนการสกัดน้ำแก้วมังกร



ล้างทำความสะอาดแก้วมังกร



ตัดกลีบเลี้ยงแก้วมังกร



แยกเปลือกชั้นในและเนื้อ



ปั่นเนื้อและเปลือกชั้นในรวมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการสกัดน้ำแก้วมังกร (ต่อ)



กรองด้วยผ้าขาวบาง



กรองผ่านตะแกรง 50 mesh



น้ำแก้วมังกร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตัวอย่างผงแก้วมังกร



ตัวอย่างน้ำแก้วมังกรในการอบความชื้น



การวัดความเป็นกรด-ด่าง



ตัวอย่างผงที่ผ่านการวัดการดูดความชื้นกลับ



ตัวอย่างผงแก้วมังกรในเงื่อนไขต่างๆ



ตู้อบความชื้น

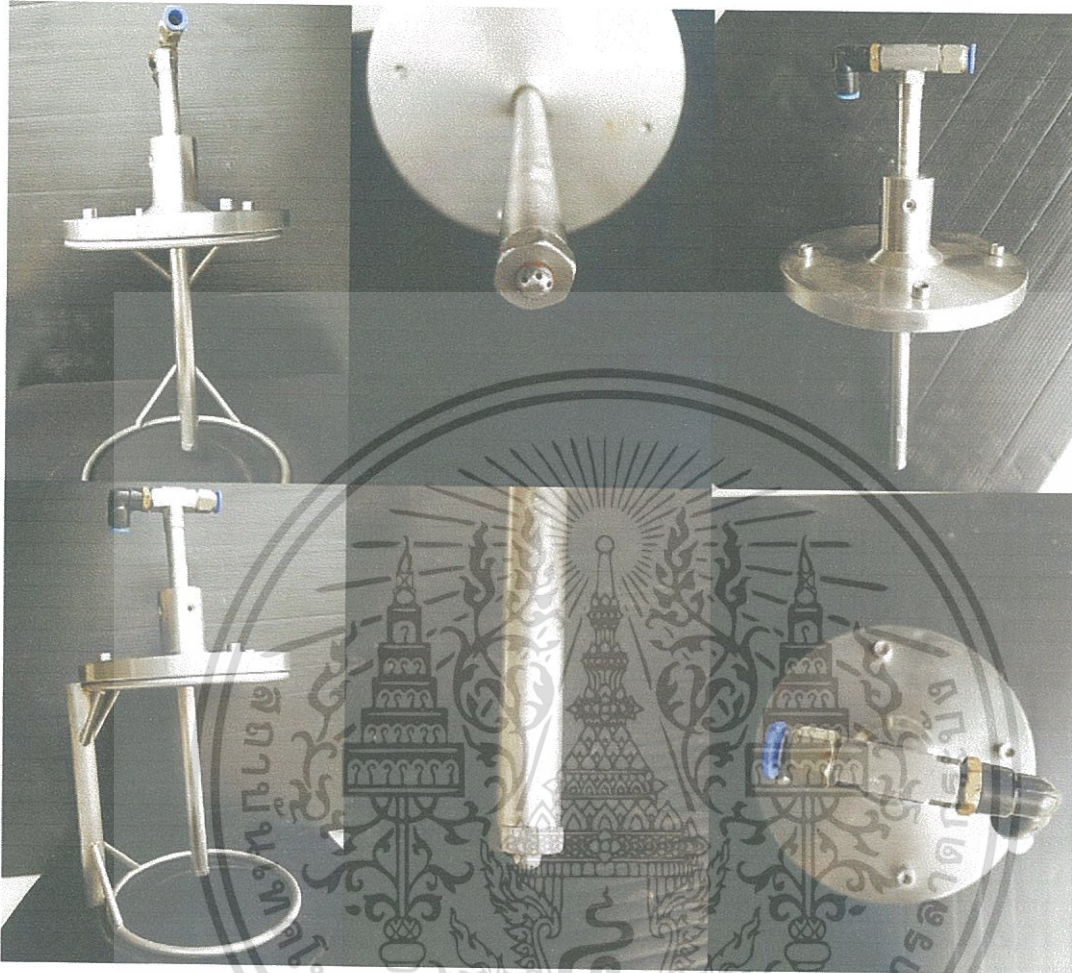
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวฉีดแบบหมุน (Rotary atomizer)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวฉีดแบบของไหลสองชนิด (Two fluid nozzle)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้