

ผลของมอลโตเดกซ์ทรินและอุณหภูมิขาเข้าต่อคุณภาพของมั่งคุดฝงที่ทำแห้งแบบพ่นฝอย

มินตรา นักรธรรม¹ ปิติพร ฤทธิเรืองเดช^{2*} อริสรา หิริโอดีปะ¹ และ พัชรนันท์ สุขแสงพนมรุ่ง¹
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

* Corresponding Author: pitiporn@gmail.com

¹ นิสิตปริญญาโท ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร

² รองศาสตราจารย์ ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร

ข้อมูลบทความ

บทคัดย่อ

ประวัติบทความ :

รับเพื่อพิจารณา : 9 มิถุนายน 2563

แก้ไข : 11 พฤษภาคม 2564

ตอบรับ : 31 พฤษภาคม 2564

คำสำคัญ :

การทำแห้งแบบพ่นฝอย /

มั่งคุด / ฝง / มอลโตเดกซ์ทริน /

อุณหภูมิขาเข้า

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้มอลโตเดกซ์ทริน (ร้อยละ 25, 30 และ 35) และอุณหภูมิขาเข้า (150, 160 และ 170 องศาเซลเซียส) ที่มีต่อผลผลิตและคุณภาพทางกายภาพของมั่งคุดฝงที่ทำแห้งแบบพ่นฝอย จากผลการทดลอง พบว่า ปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินและอุณหภูมิขาเข้า มั่งคุดฝงที่ได้มีปริมาณความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 6.35 และการใช้มอลโตเดกซ์ทรินที่ความเข้มข้นแตกต่างกันส่งผลต่อค่าคุณภาพทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยการเพิ่มความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ทรินส่งผลให้ปริมาณผลผลิต ปริมาณความชื้น ค่าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง (T_g) และค่าความเป็นสีแดง (a^*) มีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความสามารถในการดูดความชื้นกลับและค่าความสว่าง (L^*) มีค่าลดลง นอกจากนี้ การใช้อุณหภูมิขาเข้าที่แตกต่างกันยังส่งผลต่อปริมาณความชื้น ค่าสี และลักษณะสันฐานวิทยาของมั่งคุดฝงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขาเข้า ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) สูงขึ้น จากภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า มั่งคุดฝงที่ผลิตโดยใช้มอลโตเดกซ์ทรินที่ความเข้มข้นร้อยละ 25 มีรูปร่างเป็นทรงกลมและมีขนาดแตกต่างกัน อนุภาคหดตัวเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ทริน นอกจากนี้ เมื่อใช้อุณหภูมิขาเข้าสูงขึ้น พบว่า อนุภาคจับตัวเป็นก้อน และมีขนาดใหญ่กว่ามั่งคุดฝงที่ผลิตได้ที่อุณหภูมิขาเข้าต่ำกว่า สรุปได้ว่าการใช้มอลโตเดกซ์ทรินที่ความเข้มข้นร้อยละ 35 และอุณหภูมิขาเข้า 150 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณผลผลิตมั่งคุดฝงสูงที่สุด (ร้อยละ 29.7) และให้คุณภาพด้านกายภาพที่ดี ในด้านความสามารถในการดูดความชื้นกลับ (0.025 กรัม/100 กรัม) และค่า T_g (37.6 องศาเซลเซียส)

Effects of Maltodextrin and Inlet Air Temperature on Quality of Spray-Dried Mangosteen Powder

Mintra Nugthum¹, Pitiporn Ritthiruangdej^{2*}, Arisara Hiriotappa¹ and Patcharanun Suksangpanomrung¹

Kasetsart University, Ladyaow, Chatuchak, Bangkok 10900

* Corresponding Author: pitiporn@gmail.com

¹ Graduate Student, Department of Product Development, Faculty of Agro-Industry.

² Associate Professor, Department of Product Development, Faculty of Agro-Industry.

Article Info

Article History:

Received: June 9, 2020

Revised: May 11, 2021

Accepted: May 31, 2021

Keywords:

Spray Drying / Mangosteen /

Powder / Maltodextrin /

Inlet Air Temperature

Abstract

The objective of this research was to study the effects of maltodextrin (25, 30 and 35%) and inlet air temperature (150, 160 and 170 °C) on product yield and some physical characteristics of spray-dried mangosteen powder. Product yield increased with increasing content of maltodextrin and temperature. Powder moisture contents were lower than 6.35%. Maltodextrin concentration had a significant ($p \leq 0.05$) effect on all of the responses. With an increase in maltodextrin concentration, powder yield, moisture content, glass transition temperature and a^* value increased, while hygroscopicity and L^* value decreased. Inlet air temperature significantly ($p \leq 0.05$) affected only moisture content, color and morphology of the powder. Higher temperatures led to higher a^* and b^* values. Based on scanning electron microscopic images, powders produced with 25% maltodextrin were spherical with varying sizes. At higher concentrations of maltodextrin, higher degrees of shrinkage were noted. Powders dried at higher inlet air temperatures exhibited relatively larger agglomerating form than those dried at lower temperatures. Using 35% maltodextrin and inlet air temperature of 150 °C led to powder with the most desirable characteristics, in terms of yield (29.7%), hygroscopicity (0.025 g/100g) and glass transition temperature (37.6 °C).

1. บทนำ

มังคุด มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Garcinia mangostana* Linn. มีถิ่นกำเนิดบริเวณคาบสมุทรมาลายู มังคุดเป็นผลไม้ที่ออกตามฤดูกาลสำหรับประเทศไทยมีการเพาะปลูกกันมากในภาคใต้และภาคตะวันออก [1] จากข้อมูลของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ใน พ.ศ. 2563 พบว่ามังคุดเป็นพืชผลทางเศรษฐกิจที่สำคัญในประเทศไทย โดยถือเป็นผู้ส่งออกรายใหญ่ของโลกที่มีส่วนแบ่งการตลาดถึงร้อยละ 80 ของตลาดโลก มีปริมาณผลผลิต 339,283 ตัน [2] คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อมังคุดใน 100 กรัม มีปริมาณน้ำ 80.94 กรัม เส้นใย 1.8 มิลลิกรัม น้ำตาล 7.04 กรัม และวิตามินซี 2.9 มิลลิกรัม [3] หลังการเก็บเกี่ยวแล้วมังคุดจะเริ่มเกิดกระบวนการสุก เนื่องจากมังคุดมีรูปแบบการหายใจแบบ Climacteric fruit [4] จึงทำให้อัตราการหายใจของมังคุดมีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาในการเก็บรักษา [5-6] อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันพบปัญหาในการผลิตมังคุดมีคุณภาพที่ไม่สม่ำเสมอ และการใช้ประโยชน์จากผลผลิตที่ได้ยังไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ [7] จากการรวบรวมงานวิจัยพบว่ามีการนำมังคุดที่ไม่ได้มาตรฐานหรือตกเกรดมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพื่อเพิ่มมูลค่าและลดการสูญเสีย เช่น น้ำมังคุดพร้อมดื่ม [8] และแยมมังคุดแคลอรีต่ำผสมเปลือกมังคุด [1] เป็นต้น

การทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying) เป็นวิธีการทำแห้งที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในผลิตภัณฑ์ประเภทนม กาแฟ ไข่ โปรตีนจากเคซีน และน้ำผลไม้ เป็นต้น [9] เป็นกระบวนการที่ใช้ความร้อนสูงควบคู่กับลมร้อนโดยใช้ระยะเวลาสั้น หลักการของกระบวนการนี้คือ การระเหยนํ้าออกจากอาหารอย่างรวดเร็ว เริ่มต้นที่ของเหลวจะถูกฉีดให้เป็นละอองฝอยภายในถังกระทบกับกระแสลมร้อน จนกระทั่งได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นลักษณะผง [10] ปัจจุบันที่มีผลต่อคุณภาพของผงที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย ได้แก่ สมบัติของตัวอย่างที่ป้อนเข้า (Feed properties) อัตราการป้อนตัวอย่าง (Feed rate) อัตราการไหลของอากาศ (Air flow) อุณหภูมิขาเข้าและอุณหภูมิขาออก (Inlet and outlet temperature) เป็นต้น [11] ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ผงที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยมักเกิดลักษณะเหนียวเหนอะเมื่อสัมผัสกับความชื้น โดยเฉพาะในน้ำผลไม้ที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบส่งผลทำให้การกระจายตัวของของเหลวในถังทำแห้งลดลง ซึ่งปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยเติมสารที่ช่วยในการทำแห้ง

(Carrier agent) เช่น การเติมมอลโตเดกซ์ทริน (Maltodextrin) ลงไปในของเหลวก่อนการทำแห้ง จากการรวบรวมงานวิจัยพบว่ามีการนำผลไม้ในไทยมาทำแห้งแบบพ่นฝอยหลายชนิด เช่น น้ำตาลโตนดผงแบบห่อหุ้ม [12] น้ำหอมผสมน้ำผึ้งชนิดผง [13] และน้ำสับปะรดผง [14]

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ เพื่อศึกษาสภาวะในการผลิตมังคุดผงโดยใช้กระบวนการการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยปัจจัยที่ศึกษาคือปริมาณมอลโตเดกซ์ทริน และอุณหภูมิขาเข้า

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเตรียมน้ำมังคุด

ในงานวิจัยนี้ใช้มังคุดพันธุ์เสียบยอด จากจังหวัดนครศรีธรรมราช โดยคัดเลือกมังคุดที่เก็บเกี่ยวในช่วงเดือนสิงหาคม-กันยายน พ.ศ. 2561 เป็นมังคุดที่ความสุกอยู่ในระยะที่ 6 พิจารณาจากผลมังคุดสุกต้องมีสีม่วงดำตลอดเท่ากันทั้งลูก (น้ำหนักลูกละ 60-70 กรัม) การเตรียมน้ำมังคุดเริ่มต้นจากล้างมังคุดให้สะอาด สะเด็ดน้ำให้แห้ง จากนั้นหั่นมังคุดตามแนวขวางนำเนื้อมังคุดที่ได้มาคั้นน้ำมังคุดด้วยเครื่องบีบน้ำผลไม้แบบคั้นโยกเหล็ก จากนั้นกรองผ่านตะแกรงและผ้าขาวบาง 2 รอบ (ขนาด 60 เมช) เพื่อแยกตะกอนและกากออก นำน้ำมังคุดที่ได้ไปผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรซ์ ที่อุณหภูมิ 62-65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที โดยควบคุมปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของน้ำมังคุดอยู่ในช่วง 18-20 °Brix บรรจุลงในถุงอะลูมิเนียมพอลิปิดสนิท แล้วแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในงานวิจัย

2.2 การทำแห้งโดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

เตรียมตัวอย่างมังคุดผงด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้เครื่อง Spray Dryer (NIRO - Gladsawxvej - 305 DK - 2860 Mobile Minor, NIRO A/S Inc., Denmark) หัวฉีดชนิดหัวฉีดน้ำทรงกรวยเต็มมุมมาตรฐาน (Full cone standard angle spray nozzle) ความดันที่หัวฉีด 5.0 บาร์ โดยทำการศึกษาปริมาณมอลโตเดกซ์ทริน ชนิด 10DE (X₁) ในช่วงร้อยละ 25-35 และอุณหภูมิขาเข้า (X₂) ในช่วง 150-170 องศาเซลเซียส ใช้การวางแผนการทดลองแบบ 2² Factorial design in CRD โดยทำซ้ำที่จุดกึ่งกลาง 3 ซ้ำ [15] ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แผนการทดลองที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างมั่งคุดผงโดยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย และปริมาณผลผลิตของมั่งคุดผง

TRT	Code Variables		Maltodextrin (%)	Inlet temperature (°C)	Powder yield (%)
	X ₁	X ₂			
1	-1	-1	25	150	23.7
2	-1	1	25	170	20.4
3	1	-1	35	150	29.7
4	1	1	35	170	25.6
5	0	0	30	160	22.2
6	0	0	30	160	23.6
7	0	0	30	160	25.5

ในการเตรียมน้ำมั่งคุดสำหรับการทำแห้งแบบพ่นฝอยจะทำการปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้โดยใช้ปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินความเข้มข้นตามแผนการทดลองในตารางที่ 1 เตรียมได้โดยนำน้ำมั่งคุดแช่แข็งจากข้อที่ 2.1 มาละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเติมมอลโตเดกซ์ทรินลงไปและคนจนละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

2.3 การวิเคราะห์ปริมาณผลผลิต (Powder yield) มั่งคุดผง

ชั่งน้ำหนักผงมั่งคุดที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยเทียบกับปริมาณน้ำหนักรวมของน้ำมั่งคุดเริ่มต้นที่ใช้ในการทำแห้ง แล้วนำไปคำนวณหาปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้ [16]

2.4 การศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยา

(Microstructure) ของอนุภาคมั่งคุดผง

ศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของอนุภาคมั่งคุดผงโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope) (JEOL JSM-6610LV, OXFORD Instrument Co., Tokyo, Japan) ควบคุมการทำงานด้วย Software SEM Control User Interface Version 3.12 เตรียมตัวอย่างมั่งคุดผงโดยใช้เครื่องฉาบผิว Sputter Coater (Balzers, SCD 040, TMAX BATTERY EQUIPMENT Co., Germany) ควบคุมความดันที่ 0.05 mbar และแรงดันไฟฟ้า 15 kV พิจารณาลักษณะสัณฐานวิทยาของอนุภาคของมั่งคุดผงโดยใช้กำลังขยายที่ 2,000X [17]

2.5 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของมั่งคุดผง

วิเคราะห์ปริมาณความชื้นของมั่งคุดผงด้วยวิธีของ AOAC [18] โดยชั่งน้ำหนักตัวอย่างมั่งคุดผง 2.00 กรัม ใส่ถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมฝาปิดสำหรับวิเคราะห์ปริมาณความชื้น จากนั้นอบในตู้อบลมร้อน (FD 115, Binder, Germany) ที่อุณหภูมิ 100-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง หรือจนมีน้ำหนักคงที่แล้วคำนวณร้อยละปริมาณความชื้น (%db)

2.6 การวิเคราะห์ค่าสีของมั่งคุดผง

วิเคราะห์ค่าสีของตัวอย่างมั่งคุดผง โดยดัดแปลงวิธีการของ Duangmal และคณะ [19] นำตัวอย่างมั่งคุดผงบรรจุลงใน Petri dish (CM-A128, Konica Minolta Sensing Americas, United States) จนเต็มแล้วเกลี่ยผงมั่งคุดให้เรียบ จากนั้นวัดค่าสีด้วยเครื่อง Spectrophotometer (3500d, Konica Minolta Sensing Americas, United States) ในระบบ CIE $L^*a^*b^*$ กำหนดแหล่งกำเนิดแสง D65 มุมมองในการวัด 10° ค่าสีที่วัด ได้แก่ L^* (ค่าความสว่างมีค่าอยู่ระหว่าง 0-100), a^* (เครื่องหมาย + หมายถึงสีแดง และ เครื่องหมาย - หมายถึงสีเขียว) และ b^* (เครื่องหมาย + หมายถึงสีเหลือง และ เครื่องหมาย - หมายถึงสีน้ำเงิน)

2.7 การวิเคราะห์ค่าความสามารถในการดูด

ความชื้นกลับ (Hygroscopicity) ของมั่งคุดผง

วิเคราะห์ค่าความสามารถในการดูดความชื้นกลับ โดยดัดแปลงวิธีการของ Sabhadinde [20] ชั่งน้ำหนักตัวอย่างมั่งคุดผง 1.00 กรัม ลงในถ้วยพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

20 มิลลิเมตร โดยวางเหนือโพลีเอทิลีนที่บรรจุสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์อิมมัลชันบรรจุอยู่ด้านล่าง ซึ่งมีความเข้มข้นพัทธ์ร้อยละ 76 ± 3 ที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส ค่าความสามารถในการดูดความชื้นกลับคำนวณจากปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นที่เวลา 120 นาทีต่อน้ำหนักมั่งคุดผง 100 กรัม (กรัม/100 กรัม)

2.8 การวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้ว (Glass transition temperature) ของมั่งคุดผง

วิเคราะห์ค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้ว (T_g) โดยใช้วิธีการของ Fazaeli และคณะ [21] ด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) (NERZSCH DSC 204F1, Phoenix, Germany) โดยชั่งตัวอย่างมั่งคุดผง ประมาณ 10.00-11.00 มิลลิกรัม บรรจุลงในภาชนะอลูมิเนียม และใช้ภาชนะอลูมิเนียมเปล่าเป็นภาชนะอ้างอิง จากนั้นวัดค่า T_g ในช่วงอุณหภูมิ -50 ถึง 200 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนเหลว โดยควบคุมอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทุกๆ 10 องศาเซลเซียส ต่อนาที

2.9 การวิเคราะห์ค่าความสามารถในการละลาย (Solubility) ของมั่งคุดผง

วิเคราะห์ค่าความสามารถในการละลาย ของผงมั่งคุด โดยชั่งน้ำหนักมั่งคุดผง 1.00 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ น้ำกลั่น 30 ± 2 องศาเซลเซียส กวนด้วยแท่งกวนแม่เหล็กที่ความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 5 นาที ด้วยเครื่อง Stirrer นำสารละลายที่ได้ไปเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง Laboratory Table Top Centrifuge (DSC-200A-1, Digisystem Laboratory Instruments Inc., Taiwan) ที่ความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 52 นาที แยกสารละลายส่วนใส 10 มิลลิลิตร ใส่ในถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมฝาปิดนำไปอบระเหยน้ำส่วนเกินออกทันทีด้วยตู้อบลมร้อน (FD 115, Binder, Germany) ที่อุณหภูมิ 70 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง จากนั้นนำไปหาปริมาณของแข็งโดยอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมงหรือจนได้น้ำหนักคงที่แล้วคำนวณค่าความสามารถในการละลาย [22]

2.10 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของมั่งคุดผง

วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และปริมาณน้ำตาล

ทั้งหมด โดยนำตัวอย่างมั่งคุดผง 2.00 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตรแล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ด้วยวิธีของ Lane และ Eynon [18]

2.11 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

ทำการศึกษาอิทธิพลของปริมาณมอลโตเดกซ์ทริน และอุณหภูมิเข้าต่อค่าคุณภาพของมั่งคุดผงโดยวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ Two-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละสิ่งทดลองด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ด้วยโปรแกรม SPSS (เวอร์ชัน 12.0, บริษัท IBM ประเทศสหรัฐอเมริกา)

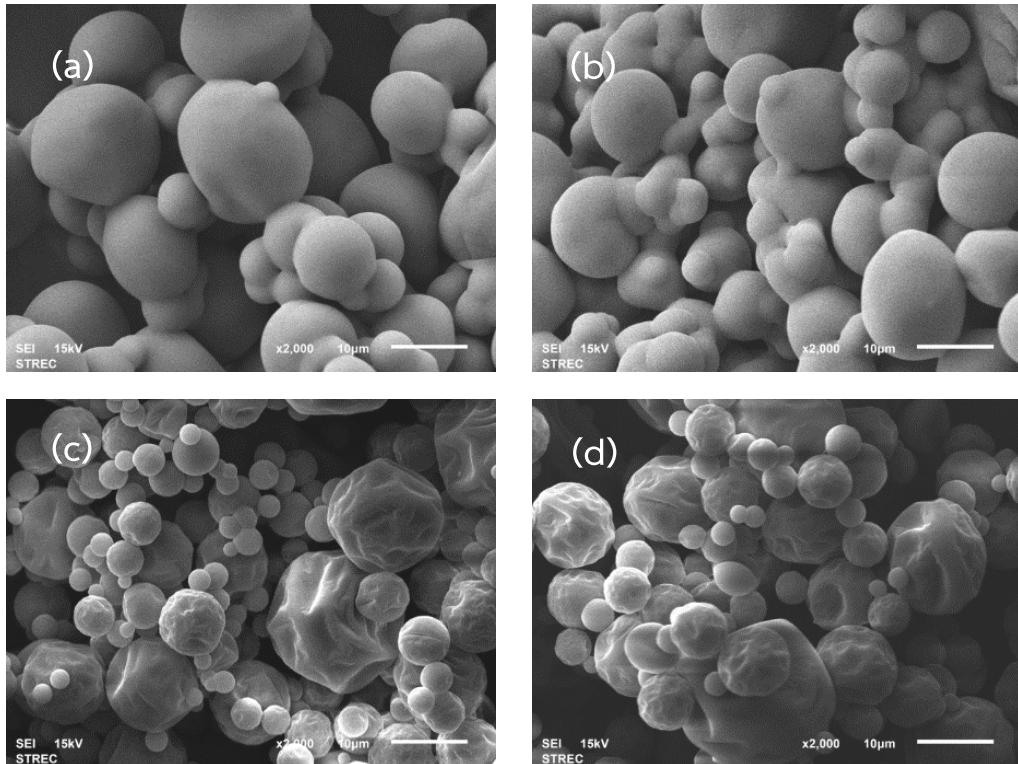
3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

ปริมาณผลผลิตของมั่งคุดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย แสดงดังตารางที่ 1 เมื่อเพิ่มปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินและอุณหภูมิเข้า พบว่าปริมาณผลผลิตที่ได้เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมอลโตเดกซ์ทรินทำหน้าที่ห่อหุ้มอนุภาคต่างๆ ของสารที่ต้องการทำแห้งแบบพ่นฝอยเมื่อใช้ในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นจึงไปทำให้ลดการสะสมของมั่งคุดผงในผนังของถังแห้งและไซโคลอน [23] และการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเข้าทำให้อนุภาคที่ได้มีขนาดเล็กลงอย่างรวดเร็ว จึงทำให้อนุภาคของมั่งคุดผงสามารถแยกออกจากไซโคลอนง่ายขึ้นลดการสูญเสียผลผลิตได้ [24] ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Quek และคณะ [25] ที่กล่าวว่า การเพิ่มปริมาณมอลโตเดกซ์ทริน (8-12DE) ร้อยละ 3-5 เป็นการเพิ่มปริมาณของแข็งทั้งหมดและลดปริมาณความชื้นในน้ำแดงโม ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้แดงโมมีปริมาณผลผลิตสูงขึ้น ในขณะที่ยานวิจัยของ Areekul และ Yudi [26] ให้ผลการทดลองในทางตรงกันข้าม โดยพบว่าการเติมมอลโตเดกซ์ทริน (10DE) ที่เพิ่มมากขึ้น (ร้อยละ 25-45) ทำให้ปริมาณผลผลิตลดลงซึ่งเกิดจากการเหนียวเกาะติดที่ผนังถังแห้งหรืออาจเกิดการอุดตันบริเวณหัวพ่นฝอย

รูปที่ 1 แสดงลักษณะของอนุภาคของมั่งคุดผงจากกล้อง SEM เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิเข้า 150 องศาเซลเซียส พบว่าการใช้มอลโตเดกซ์ทรินที่ความเข้มข้นร้อยละ 25 อนุภาคมั่งคุดผงที่ได้มีลักษณะเป็นก้อนกลมขนาดใหญ่ และเรียบ (รูป 1a) แต่เมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ทรินพบว่าอนุภาคมั่งคุดผงมีลักษณะที่ไม่แน่นอน มีรอยบุบ (Indentation) บริเวณ

พื้นผิว (รูป 1c) ทั้งนี้สาเหตุเกิดจากการหดตัวของเปลือกหุ้มที่ไม่สม่ำเสมอในระหว่างการทำแห้งและเกิดจากการชนกันของอนุภาคของมอลโตเดกซ์ทรินทำให้เกิดรอยบุบบริเวณพื้นที่ผิว [27] และเมื่อพิจารณาผลของการเพิ่มอุณหภูมิเข้าที่ปริมาณมอลโตเดกซ์ทริน ความเข้มข้นร้อยละ 25 ดังรูป 1a และ 1b พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิเข้าทำให้อนุภาคมังคุดผงมีลักษณะเป็น

ก้อนกลมและรวมตัวกันเป็นกระจุก เนื่องจากอุณหภูมิเข้าสูงทำให้อนุภาคเกิดการฟอร์มตัวของเปลือกแข็ง (Crust formation) บนผิวและเกิดการแตกหักของโครงสร้าง ซึ่งลักษณะเหล่านี้เป็นผลจากการระเหยน้ำอย่างรวดเร็วและความดันที่สูงขึ้นของอนุภาคในระหว่างการอบแห้ง [28]



รูปที่ 1 ลักษณะสัณฐานวิทยาของตัวอย่างมังคุดผงจากกล้อง SEM (a) ปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินร้อยละ 25 ที่อุณหภูมิเข้า 150 องศาเซลเซียส, (b) ปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินร้อยละ 25 ที่อุณหภูมิเข้า 170 องศาเซลเซียส, (c) ปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินร้อยละ 35 ที่อุณหภูมิเข้า 150 องศาเซลเซียส และ (d) ปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินร้อยละ 35 ที่อุณหภูมิเข้า 170 องศาเซลเซียส ที่กำลังขยายที่ 2,000X ตามลำดับ

ปริมาณความชื้น ค่าความสามารถในการดูดความชื้นกลับ ค่าความสามารถในการละลาย และค่า T_g ของมังคุดผงที่ได้

จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลของปริมาณมอลโตเดกซ์ทริน (MD) และ อุณหภูมิชาเข้า (Temp) ต่อปริมาณความชื้น ค่าความสามารถในการดูดความชื้นกลับ (Hygroscopicity) ค่าความสามารถในการละลาย (Solubility) ค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้ว (T_g) คุณภาพด้านสี (CIE $L^*a^*b^*$) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของมัจคุดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย

TRT	Moisture content (%db)	Hygroscopicity (g/100 g)	Solubility (%)	T_g (°C)	L^*	a^*	b^*	Total Sugar (%)	Reducing Sugar (%)
1	5.96cd	0.026a	90.19a	25.7f	91.93c	2.24c	3.07e	54.58d	17.12e
2	5.40e	0.027a	89.48a	22.3g	91.53f	2.56a	3.56a	54.67d	17.99d
3	5.69de	0.025a	90.05a	37.6a	92.12a	2.11e	3.19d	58.39a	19.09b
4	5.85d	0.023abc	89.24a	36.9b	91.98b	2.19d	3.49b	58.23a	19.92a
5	6.79a	0.023abc	90.23a	30.7e	91.28g	2.39b	3.46bc	56.58b	18.73c
6	6.32b	0.019c	90.45a	32.4d	91.62e	2.17d	3.44c	56.32bc	18.84c
7	6.24b	0.020bc	89.87a	34.2c	91.72d	2.27c	3.48bc	55.95c	18.76c
P-value									
MD	0.522	0.001*	0.349	0.001*	0.001*	0.001*	0.084	0.001*	0.001*
Temp	0.180	0.968	0.316	0.035*	0.001*	0.001*	0.001*	0.677	0.001*
MDxTemp	0.023*	0.948	0.650	0.136	0.035*	0.001*	0.001*	0.280	0.229

หมายเหตุ a-g ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

* ปัจจัยที่ศึกษามีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 2 เมื่อพิจารณาปริมาณความชื้นพบว่า การเพิ่มปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินและอุณหภูมิชาเข้าส่งผลทำให้ปริมาณความชื้นของมัจคุดผงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 5.12-6.35 เนื่องจากมอลโตเดกซ์ทรินมีความสามารถในการอุ้มน้ำ และเป็นตัวถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจึงทำให้การแพร่กระจายของน้ำออกจากโมเลกุลเกิดได้ยาก [29] และการเพิ่มอุณหภูมิชาเข้าเป็นการเร่งให้เกิดเปลือกแข็งอย่างรวดเร็วและเกิดการหดตัวของโครงสร้างอนุภาคทำให้อนุภาคมีเปลือกนอกที่หนา (ดังรูปที่ 1) ดังนั้นอัตราการแพร่กระจายของน้ำภายในอนุภาคจึงเป็นไปได้ยาก [30]

เมื่อพิจารณาค่าความสามารถในการละลายของมัจคุดผงพบว่า การเพิ่มปริมาณของมอลโตเดกซ์ทรินและอุณหภูมิชาเข้าไม่มีอิทธิพลต่อค่าความสามารถในการละลาย ($p > 0.05$) ซึ่งค่าความสามารถในการละลายของมัจคุดผงอยู่ในช่วงร้อยละ 89.24-90.45 และจากการรวบรวมงานวิจัยการทำแห้งแบบพ่นฝอยพบว่าค่าความสามารถในการละลายของมัจคุดผงมีค่าใกล้เคียงกับชาภูเขาแดง (ร้อยละ 98.5-99.5) เซอร์รี่ผง (ร้อยละ 70.7-80.0) และทับทิมผง (ร้อยละ 87.96-99.12) [31-33]

ค่าความสามารถในการดูดความชื้นจากบรรยากาศเป็นค่าที่บ่งบอกความสามารถในการดูดความชื้นกลับ ซึ่งส่งผลทำให้สถานะของอาหารผงเปลี่ยนไปเริ่มมีการจับตัวเป็นก้อน [34] และเมื่อพิจารณาจากตารางที่ 2 พบว่าเมื่อปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้นค่าความสามารถในการดูดความชื้นจากบรรยากาศมีค่าน้อยลงเนื่องจากมอลโตเดกซ์ทรินไปเพิ่มคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำ (Hydrophobicity) จึงทำให้ความสามารถในการดูดความชื้นจากบรรยากาศลดลง [35] นอกจากนี้ค่าความสามารถในการดูดความชื้นกลับยังมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับค่า T_g ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติจากผงที่แห้งคล้ายกระจก (Hard rigid solid) เปลี่ยนรูปไปเป็นลักษณะที่อ่อนนุ่ม ยางหรือเป็นของเหลว (Liquid or rubbery state) [36] จากการเพิ่มปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินทำให้ค่า T_g เพิ่มขึ้นสูงแสดงให้เห็นว่ามัจคุดผงคงอยู่ในสถานะของแข็ง และการเปลี่ยนแปลงสถานะไปเป็นของเหลวหรือลักษณะคล้ายยางเกิดได้ยากขึ้น [20]

เมื่อพิจารณาค่าคุณภาพด้านสีของมัจคุดผงจากตารางที่ 2 พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิชาเข้าส่งผลต่อค่าความเป็นสีแดง (a^*) โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากความร้อนที่เพิ่มสูงขึ้นร่วมกับการสัมผัสกับออกซิเจนขณะทำแห้ง [37] ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิด

สีน้ำตาล (Browning reaction) จากเอนไซม์ Polyphenol oxidase [38] ซึ่งทำให้แอนโทไซยานินที่มีอยู่ในน้ำมิ่งคุดถูกทำลายและเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ส่งผลทำให้มีการเปลี่ยนแปลงสีจากสีแดงธรรมชาติเป็นสีม่วงคล้ำมากขึ้น [39] และเมื่อพิจารณาผลการเพิ่มปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินที่เพิ่มขึ้น อุณหภูมิเข้าเตาเดียวกันพบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Quek และคณะ [27] ที่กล่าวว่า การเติมมอลโตเดกซ์ทรินปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ค่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมดในแฉงมอเพิ่มขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของสตาร์ชถูกย่อยให้กลายเป็นกลูโคสได้มากกว่า นอกจากนี้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เพิ่มขึ้นยังส่งผลทำให้ค่า T_g มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวมีค่า T_g ที่ต่ำจึงเป็นผลให้ค่า T_g ของมิ่งคุดมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ทริน [40]

4. สรุปผลการวิจัย

การทำแห้งมิ่งคุดผงโดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่าการผันแปรปริมาณมอลโตเดกซ์ทริน และอุณหภูมิเข้ามีอิทธิพลต่อปริมาณความชื้น ค่าความสามารถในการดูดความชื้นกลับ ค่า T_g ค่าสี ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ($p < 0.05$) ในขณะที่ไม่มีอิทธิพลต่อค่าความสามารถในการละลาย ($p > 0.05$) นอกจากนี้ผลการทดลองพบว่า การใช้มอลโตเดกซ์ทรินที่ ความเข้มข้นร้อยละ 35 และอุณหภูมิเข้า 150 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณผลผลิตสูงสุดและคุณลักษณะมิ่งคุดผงที่ได้เป็นตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของผลิตภัณฑ์ผงที่ระบุว่าเป็นผงละเอียดแห้ง ไม่จับตัวเป็นก้อน และปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 10

5. เอกสารอ้างอิง

1. Aphirattananuson, S., 2011, "Development of Mangosteen Jam Low-Calorie Mangosteen Peel," *KKU Research Journal*, 16 (7), pp. 825-834. (In Thai)
2. Office of Agricultural Economics, 2020, Thai Mangosteen Exports [Online], Available: <http://www.arda.or.th/kasetinfo/south/mangosteen/trends/index.php>. [20 January 2019] (In Thai)

3. Office of Nutrition, 2010, Nutritional Value in Thai Fruits [Online], Available: http://nutrition.anamai.moph.go.th/images/file/fruit_nutritioin.pdf. [20 January 2019] (In Thai)
4. Abdul-Rahman, A., Hoe-Han, G., Kok-Keong, L., Normah, M.N. and Wan, M.A., 2017, "R.N.A-Analysis of Mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) Fruit Ripening," *Genomics Data*, 12, pp. 159-160.
5. Lerslerwong, L., Rugkong, A., Imsabai, W. and Ketsa, S., 2013, "The Harvest Period of Mangosteen Fruit Can Be Extended by Chemical Control of Ripening-a Proof of Concept Study," *Scientia Horticulturae*, 157, pp. 13-18.
6. Palapol, Y., Ketsa, S., Stevenson, D., Cooney, J.M., Allan, A.C. and Ferguson, I.B., 2009, "Color Development and Quality of Mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) Fruit During Ripening and After Harvest," *Postharvest Biology and Technology*, 51, pp. 349-353.
7. National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards, 2013, Mangosteen Agricultural Product Standard, TU 2-2556. (In Thai)
8. Khammon, B., 2010, Processing Techniques: Mangosteen Ready to Drink, Production Promotion and Development Group [Online], Available: <http://www.edoae.doae.go.th/article-250110-1.pdf>. [29 April 2021] (In Thai)
9. Barbosa-Canovas, G.V. and Vega-Masshall, H., 1996, Dehydration of Food, Chapman and Hall, New York.
10. Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin O., Voilley, A. and Saurel, R., 2007, "Applications of Spray-Drying in Microencapsulation of Food Ingredients: An Overview," *Food Research International*, 40 (9), pp. 1107-1121.

11. Masters, K., 1991, *Spray Drying Handbook*, 5th ed., Longman Scientific and Technical, London.
12. Khamphanon, P., 2014, *Product Development of Encapsulation Palm Sugar Powder*, Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University. 105 p. (In Thai)
13. Inthipanya, P. and Thamee, T., 2014, "The Effect of Spray Drying on Quality of Mulberry Mixed with Honey Powder," *Thai Agricultural Research Journal*, 32 (2), pp. 139-153. (In Thai)
14. Suzihaque, M.U.H., Hashib, S.A. and Ibrahim, U.K., 2015, "Effect of Inlet Temperature on Pineapple Powder and Banana Milk Powder," *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 195, pp. 2829-2838.
15. Pongsirikul, I., 2001, *Statistical analysis of the results using programs for the agro-industry*, Department of Product Development Technology, Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University, 168 p. (In Thai)
16. Obón, J.M., Castellar, M.R., Alacid, M. and Fernández López, J.A., 2009, "Production of a Red-Purple Food Colorant from *Opuntia Stricta* Fruits by Spray Drying and Its Application in Food Model Systems," *Journal of Food Engineering*, 90, pp. 471-479.
17. Jirayucharoensak, R., Jittanit, W. and Sirisansa-neeyakul, S., 2015, "Spray-Drying for Inulin Powder Production from Jerusalem Artichoke Tuber Extract and Product Qualities," *Science and Technology*, 17 (3), pp. 13-18.
18. AOAC., 2000, *Official Methods of Analysis of AOAC International 17th ed.*, The Association of Office Analytical Chemist, Washington D.C., 2,200 p.
19. Duangmal, K., Saicheua, B. and Sueeprasan, S., 2008, "Colour Evaluation of Freeze-Dried Roselle Extract as a Natural Food Colorant in a Model System of a Drink," *LWT-Food Science and Technology*, 41, pp. 1437-1445.
20. Sabhadinde, V.N., 2014, "The Physicochemical and Storage Properties of Spray-Dried Orange Juice Powder," *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences*, 4 (4), pp. 153-159.
21. Fazaeli, M., Emam-Djomeh, Z., Kalbasi Ashtari, A. and Omid, M., 2012, "Effect of Spray Drying Conditions and Feed Composition on The Physical Properties of Black Mulberry Juice Powder," *Food and Bioproducts Processing*, 90 (4), 667-675.
22. Jaya, S. and Das, H., 2009, "Glass Transition and Sticky Point Temperatures and Stability/Mobility Diagram of Fruit Powder," *Food Bioprocess Technology*, 2, pp. 89-95.
23. Chegini, G.R. and Ghobadian, B., 2007, "Spray Dryer Parameters for Fruit Juice Drying," *World Journal of Agricultural Sciences*, 3 (2), pp. 230-236.
24. Goula, A.M. and Adamopoulos, K.G., 2003, "Spray Drying Performance of a Laboratory Spray Dryer for Tomato Powder Preparation," *Drying Technology*, 21 (7), pp. 1273-1289.
25. Quek, S.Y., Chok, N.K. and Swedlund, P., 2007, "The Physicochemical Properties of Spray Dried Watermelon Powders," *Chemical Engineering and Processing*, 46, pp. 386-392.
26. Areekul, W. and Yudi, P., 2013, *Microencapsulation of Gene Seed Membranes by Spray Drying: Characteristics and Stability During Storage*, Faculty of Agro-Industry, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. 75 p. (In Thai)
27. Nanthan, K., Thamtharak, B. and Lekhavat, S., 2015, "The Effect of Spray Drying on The Quality of Powdered Coconut Sugar," *Agricultural Science*, 46(3), pp. 785-788. (In Thai)
28. Maas, S.G., Schaldach, G., Littringer, E.M., Mescher, A., Griesser, U.J., Braun, D.E., Walzel, P.E. and Urbanetz, N.A., 2011, "The Impact of Spray Drying

Outlet Temperature on The Particle Morphology of Mannitol,” *Powder Technology*, 213 (13), pp. 27-35.

29. Goula, A.M. and Adamopoulos, K.G., 2010, “A New Technique for Spray Drying Orange Juice Concentrate,” *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11 (2), pp. 342-351.

30. Goula, A.M. and Adamopoulos, K.G., 2008, “Effect of Maltodextrin Addition During Spray Drying of Tomato Pulp in Dehumidified Air: II. Powder properties,” *Drying Technology*, 26, pp. 726-737.

31. Moghaddam, A.D., Pero, M. and Askari, G.R., 2017, “Optimizing Spray Drying Conditions of Sour Cherry Juice Based on Physicochemical Properties, Using Response Surface Methodology (RSM),” *Journal of Food Science and Technology*, 54 (1), pp. 174-184.

32. Muzaffar, K., Dinkarrao, B.V., Kumar, P. and Yildiz, F., 2016, “Optimization of Spray Drying Conditions for Production of Quality Pomegranate Juice Powder,” *Cogent Food and Agriculture*, 2 (1), pp. 1-9.

33. Sahin Nadeem, H., Torun, M. and Özdemir, F., 2011, “Spray Drying of The Mountain Tea (*Sideritis Stricta*) Water Extract by Using Different Hydrocolloid Carriers,” *LWT-Food Science and Technology*, 44 (7), pp. 1626-1635.

34. Pornchaloempong, P. and Rattanapanon, N., 2010, Hygroscopic/Sorption Behavior, Food Network Solution [Online], Available: <http://www.foodnetworksolution.com> [20 January 2019] (In Thai)

35. Farahnaky, A., Mansoori, N., Majzoobi, M. and Badii, F., 2016, “Physicochemical and Sorption Isotherm Properties of Date Syrup Powder: Antiplasticizing Effect of Maltodextrin,” *Food and Bioproducts Processing*, 98, pp. 133-141.

36. Yousefi, S., Emam-Djomeh, Z. and Mousavi, S.M., 2011, “Effect of Carrier Type and Spray Drying on The Physicochemical Properties of Powdered and Reconstituted Pomegranate Juice (*Punica Granatum L.*),” *Journal of Food Science and Technology*, 48 (6), pp. 677-684.

37. Gregory III, J.F. 2008, “Vitamins,” pp. 439-521, in S. Damodaran, Parkin, K.L. and Fennema, O.R. (Eds.) *Fennema’s Food Chemistry*, 4th ed., CRC Press, Florida.

38. Choothaweep, P., 2012, Improving The Shelf-Life and Safety of Fresh-Cut Mangosteen by Combined Methods, Faculty of Food Science and Technology, Songkla University. 194 p. (In Thai)

39. Schwartz, S.J., von Elbe, J.H. and Giusti, M.M. 2008, “Colorants,” pp. 571-638, in S. Damodaran, Parkin, K.L. and Fennema, O.R. (Eds.) *Fennema’s Food Chemistry*, 4th ed., CRC Press, Florida.

40. Shrestha, A.K., Ua-arak, T., Adhikari, B., Howes, T. and Bhandari, B.R., 2007, “Glass Transition Behavior of Spray Dried Orange Juice Powder Measured by Differential Scanning Calorimetry (DSC) and Thermal Mechanical Compression Test (TMCT),” *International Journal of Food Properties*, 10, pp. 661-673.