

การเปรียบเทียบคุณสมบัติของแป้งจากเมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งด้วย
ไมโครเวฟและตู้อบแห้งแบบถาด

COMPARISON OF PROPERTIES OF JACKFRUIT SEED FLOUR DRYING
WITH MICROWAVE AND TRAY DRYER



ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร
คณะอุตสาหกรรมอาหาร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ใบรับรองปัญหาพิเศษ

การเปรียบเทียบคุณสมบัติของแป้งจากเมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งด้วยไมโครเวฟและ
ตู้อบแห้งแบบถาด

COMPARISON OF PROPERTIES OF JACKFRUIT SEED FLOUR DRYING
WITH MICROWAVE AND TRAY DRYER

จัดทำโดย

ธัญชพร ไทยนนท์ รหัสนักศึกษา 59080152

สุชามาศ บริสุทธิ์ รหัสนักศึกษา 59080187

สุปรียา วงษ์พล รหัสนักศึกษา 59080189

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

.....*A. A. R.*.....

(ดร.กิตติชัย บรรจง)

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

....24.../.....มิถุนายน...../...2563....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ	การเปรียบเทียบคุณสมบัติของแป้งจากเมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งด้วยไมโครเวฟและตู้อบแห้งแบบถาด	
ชื่อนักศึกษา	ธนัชพร ไทยนันท์	รหัสนักศึกษา 59080152
	สุชามาศ บริสุทธิ์	รหัสนักศึกษา 59080187
	สุปรียา วงษ์พล	รหัสนักศึกษา 59080189
หลักสูตร	วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร	
พ.ศ.	2563	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.กิตติชัย บรรจง	

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติแป้งจากเมล็ดขนุนโดยเปรียบเทียบการอบแห้งด้วยไมโครเวฟและตู้อบแห้งแบบถาด โดยใช้เมล็ดขนุนหั่นหนา 2 มิลลิเมตรนำไปทำแห้งและบดเป็นแป้ง ในการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมการอบแห้งเมล็ดขนุนด้วยไมโครเวฟใช้วิธีการพื้นผิวตอบสนอง (response surface methodology) ด้วยการออกแบบการทดลองแบบ central composite design มีปัจจัยที่ใช้ศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ระดับกำลังไมโครเวฟ (300 400 และ 500 วัตต์) และเวลาอบแห้ง (6.30 8.30 และ 10.30 นาที) ผลการวิจัยพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งเมล็ดขนุนด้วยไมโครเวฟ คือ ระดับกำลังไมโครเวฟ 500 วัตต์ ระยะเวลา 7.68 ส่วนตู้อบแห้งแบบถาดใช้อุณหภูมิ 50°C ระยะเวลา 150 นาที การอบแห้งด้วยไมโครเวฟได้ปริมาณความชื้นเท่ากับ 7.18% ต่ำกว่าการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งแบบถาดได้ค่าเท่ากับ 10.49% ซึ่งสัมพันธ์กับค่า water activity โดยการอบแห้งด้วยไมโครเวฟได้ค่าเท่ากับ 0.32-0.36 และการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งแบบถาดได้ค่าเท่ากับ 0.45-0.50 ความเป็นกรด-ด่างจากแป้งที่ได้จากการอบแห้งทั้ง 2 วิธีมีค่าใกล้เคียงกัน (pH 5-6) สีของเมล็ดขนุนและแป้งที่ได้เป็นสีขาวแกมเหลือง โดยเมล็ดขนุนและแป้งที่อบแห้งด้วยไมโครเวฟมีค่าความสว่างน้อยกว่าตู้อบแห้งแบบถาด เมื่อวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของแป้งโดยใช้วิธีการ sieve analysis แป้งเมล็ดขนุนที่อบแห้งด้วยไมโครเวฟและตู้อบแห้งแบบถาดสามารถผ่านตะแกรงขนาด 0.18 มิลลิเมตร มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 0.011-0.012 มิลลิเมตร ซึ่งพบว่าขนาดอนุภาคไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) และเมื่อนำแป้งที่ได้จากการทดลองไปทำผลิตภัณฑ์ซอสพริกและวัดค่าความคงตัวเปรียบเทียบกับซอสพริกที่ใช้แป้งข้าวโพดพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน

คำสำคัญ: เมล็ดขนุน แป้ง การอบแห้ง

Special problem title	Comparison of properties of jackfruit seed flour drying with microwave and tray dryer
Student name	Tanatchaporn Thainun Student ID 59080152 Suchamas Borisut Student ID 59080187 Supreeya Wongpol Student ID 59080189
Program	Bachelor of Science in Food Process Engineering
Year	2020
Advisor	Dr. Kittichai Banjong

ABSTRACT

The objective of this research is to compare the properties of jackfruit seed flour grounded from microwave dried jackfruit seed and tray dried jackfruit seed. Jackfruit seed was sliced into 2 mm thickness before dried and grounded. The optimization of microwave drying of jackfruit seed was investigated by response surface methodology (RSM) using central composite design (CCD) with 2 factors, namely microwave power level (300, 400, and 500 watts) and drying time (6.30, 8.30 and 10.30 minutes). The results showed that the optimum microwaves drying condition was at 500 watts for 7.68 minutes and tray drying was at 50°C for 150 minutes. The moisture content of microwave dried jackfruit seed was 7.18% while tray dried jackfruit seed was 10.49%. These moisture contents were corresponded to water activity between 0.32-0.36 and 0.45-0.50 respectively. The result showed that the pH of flour from both methods were in similar range (pH 5-6). In term of color, the flour was yellowish-white and the lightness of microwave dried jackfruit seed and flour was less than the tray dried one. The sieve analysis of jackfruit seed flour of both drying method showed non-significant different ($P > 0.05$). The flour can pass through 0.18 mm sieve with the average particle size of 0.011-0.012 mm. When jackfruit seed flour was used in chili sauce product, the consistency of the sauce was not different from the chili sauce with cornstarch.

Keywords: jackfruit seed, flour, drying

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือจากอาจารย์ ดร.กิตติชัย บรรจง อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ ท่านได้ให้คำแนะนำ ให้ข้อมูลความรู้และข้อคิดเห็นต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิจัย อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาและปรับปรุงแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดจากการทำวิจัย จึงขอขอบคุณอาจารย์ที่ดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างดี ทำให้การนำเสนอปัญหาพิเศษเล่มนี้ผ่านไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการและนักวิทยาศาสตร์ประจำคณะอุตสาหกรรมอาหารทุกท่านที่ได้สละเวลาให้คำปรึกษา คำแนะนำในการใช้เครื่องมือต่างๆ ในการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้

สุดท้ายนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดามารดา และครอบครัว ซึ่งเปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียนตลอดจนคอยช่วยเหลือและให้กำลังใจผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา และขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือในการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้

คณะผู้วิจัยหวังว่า ปัญหาพิเศษเล่มนี้จะมีประโยชน์ต่อผู้ที่มาศึกษาไม่มากก็น้อย หากปัญหาพิเศษเล่มนี้มีข้อผิดพลาด คณะผู้วิจัยต้องขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ธนัชพร ไทยนนท์
สุชามาศ บริสุทธิ์
สุปรียา วงษ์พล
24 พฤษภาคม 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
2.1 ชนุน.....	2
2.2 แป้ง.....	2
2.3 การสกิด.....	6
2.4 การทำแห้ง.....	6
2.5 ไมโครเวฟ.....	7
2.6 ตู้อบแห้งแบบถาด.....	7
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	10
3.1 วัสดุดิบ.....	10
3.2 อุปกรณ์.....	10
3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง.....	10
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	14
4.1 การทดลองหาสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสมด้วยไมโครเวฟ.....	14
4.2 การทดลองอบแห้งด้วยตู้อบแห้งแบบถาด (tray dryer).....	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งจากเมล็ดขนุน.....	19
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	25
บรรณานุกรม.....	27
ภาคผนวก.....	29
ภาคผนวก ก.....	30
ภาคผนวก ข.....	32
ภาคผนวก ค.....	38
ประวัติผู้เขียน.....	43



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	อะไมโลสที่พบในแป้งชนิดต่างๆ.....	4
4.1	ปัจจัยและระดับของแต่ละปัจจัยที่ใช้ทดลอง.....	14
4.2	ลำดับการทดลองของการออกแบบการทดลองที่มี 2 ปัจจัย และมีการทำซ้ำที่จุดกึ่งกลาง 5 ครั้ง.....	14
4.3	แสดงผลลัพธ์สภาวะการทำแห้งด้วยไมโครเวฟที่เหมาะสมที่สุดจากโปรแกรมออกแบบการทดลอง.....	15
4.4	การวิเคราะห์ความแปรปรวน.....	15
4.5	ปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในเมล็ดขนุนอบแห้ง.....	18
4.6	ค่า water activity ที่มีอยู่ในเมล็ดขนุนอบแห้งและแป้งจากเมล็ดขนุน.....	18
4.7	เปรียบเทียบค่า pH ของแป้งแต่ละชนิด.....	20
4.8	ค่าสีของเมล็ดขนุนเมื่อผ่านกระบวนการทำแห้ง.....	20
4.9	เปรียบเทียบค่าสีของแป้งจากเมล็ดขนุน.....	22
4.10	เปรียบเทียบขนาดอนุภาคเฉลี่ยของแป้งเมล็ดขนุน.....	22
4.11	ค่าผลลิตร้อยละของแป้งจากเมล็ดขนุน โดยผ่านกระบวนการทำแห้งและกระบวนการบดเป็นแป้ง.....	24
4.12	ปริมาตรการแยกชั้นของซอสพริกที่มีส่วนผสมของแป้งแต่ละชนิด.....	24

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	แป้งชนิดต่างๆ.....	3
2.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความหนืดและอุณหภูมิ.....	4
2.3	น้ำแป้งจากแป้งชนิดต่างๆ ก่อนและหลังได้รับความร้อน.....	5
2.4	แสดงการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบถาดทั่วไป.....	8
4.1	แผนภาพพื้นผิวตอบสนองแสดงผลของระดับกำลังไมโครเวฟและเวลา.....	16
4.2	กราฟแสดงอัตราส่วนปริมาณความชื้นที่ทดลองจริง.....	16
4.3	กราฟแสดงอัตราส่วนค่า water activity ที่ทดลองจริง.....	17
4.4	การเปรียบเทียบปริมาณความชื้นของเมล็ดขนุนจากการทำแห้ง 2 วิธี.....	19
4.5	การเปรียบเทียบค่า water activity ของเมล็ดขนุนและแป้งจากเมล็ดขนุนจากการ ทำแห้ง 2 วิธี.....	19
4.6	การเปรียบเทียบค่า pH ของแป้งจากเมล็ดขนุนจากการทำแห้ง 2 วิธี.....	21
4.7	การเปรียบเทียบค่าสีของเมล็ดขนุนจากการทำแห้ง 2 วิธี.....	21
4.8	การเปรียบเทียบค่าสีแป้งเมล็ดขนุนจากการทำแห้ง 2 วิธี.....	23
4.9	การเปรียบเทียบค่าผลผลิตร้อยละแต่ละกระบวนการการทำแป้งจากการทำแห้ง 2 วิธี.....	23
4.10	การเปรียบเทียบขนาดของอนุภาคเมล็ดแป้งจากเมล็ดขนุนโดยการทำแห้ง 2 วิธี.....	23

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีศักยภาพในการผลิตและส่งออกสินค้าเกษตรและอาหารประเภทผลไม้และผลิตภัณฑ์แปรรูปจากผลไม้เป็นอันดับต้นของโลก และจากการแปรรูปสินค้าเกษตรในระดับอุตสาหกรรมทำให้เกิดปริมาณของเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต เช่น เปลือกและเมล็ด เป็นจำนวนมาก ทำให้เกิดเป็นขยะจำนวนมากมหาศาลต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงในการกำจัดหรือมักถูกกองทิ้งไว้ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมา

ผู้วิจัยมีความสนใจในการนำเมล็ดขนุนเหลือทิ้งมาประยุกต์เทคโนโลยีในด้านต่าง ๆ เข้ามาช่วยแปรรูปให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่ และเห็นว่าในเมล็ดขนุนนั้นมีคุณสมบัติสามารถทำเป็นแหล่งแป้งได้ ทำให้ได้เป็นผลิตภัณฑ์แป้งจากเมล็ดขนุน ทั้งยังเป็นแนวทางที่จะสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับของเหลือทิ้งเหล่านั้นและช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้

ในปัจจุบันไมโครเวฟเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่นิยมใช้การอย่างแพร่หลาย เนื่องจากการไมโครเวฟสามารถใช้ในการปรุงอาหารได้ นอกจากจะสะดวก ใช้เวลาสั้นลงและประหยัดพลังงาน ดังนั้นผู้วิจัยมีความต้องการศึกษาเรื่องการอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟแทนตู้อบลมร้อนซึ่งเป็นวิธีการเดิม เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างคุณสมบัติของแป้งจากเมล็ดขนุน และการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรมอาหารต่าง ๆ

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งเมล็ดขนุนด้วยไมโครเวฟ
- 1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งจากเมล็ดขนุน

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.3.1 สร้างทางเลือกใหม่ในการทำแป้งจากเมล็ดขนุนโดยการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ
- 1.3.2 ทราบข้อมูลสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งเมล็ดขนุนด้วยไมโครเวฟ
- 1.3.3 สามารถนำแป้งจากเมล็ดขนุนไปใช้ประโยชน์ทดแทนแป้งชนิดอื่นได้
- 1.3.4 ช่วยลดของเสีย มลภาวะ และสามารถเพิ่มมูลค่าจากเมล็ดขนุนได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ขนุน

ขนุน (ชื่อวิทยาศาสตร์: *Artocarpus heterophyllus* Lam) เป็นไม้ผลยืนต้นขนาดใหญ่ และเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญในเขตร้อน นิยมปลูกในประเทศแถบเอเชียเนื่องจากให้ผลผลิตต่อเนื่อง ในประเทศไทยมีการบริโภคทั้งเนื้อขนุนสุก และขนุนที่นำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ใน อุตสาหกรรม เช่น ขนุนอบแห้ง ขนุนเชื่อม ขนุนแผ่นทอด เป็นต้น (อมรรัตน์ และกมลทิพย์, 2546) ขนุนอ่อนนำมาปรุงอาหารใช้เป็นผัก เช่น ใส่ในแกง ยำ ส้มตำ เมล็ดนำมาต้ม รับประทานได้ แก่นไม้ใช้ย้อมสีจีวรของพระภิกษุ เนื้อไม้ใช้ทำเฟอร์นิเจอร์ เครื่องดนตรี เนื้อในเมล็ด รสมัน บำรุงน้ำนม บำรุงกำลัง ต้องต้มหรือเผาให้สุกก่อนรับประทาน เป็นอาหารที่มีแป้งมาก (วุฒิ, 2540)

นอกจากนั้นส่วนที่เหลือที่ได้จากการบริโภคขนุน คือ เมล็ดขนุนมีปริมาณ 8-15 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักอีกทั้ง เมล็ดขนุนมีคุณค่าทางโภชนาการไม่น้อยไปกว่าเนื้อขนุนยวงสุกผล แต่การนำเมล็ดไปใช้ประโยชน์ยังเป็นที่ยอมรับส่วนน้อย ซึ่งภายในเมล็ดขนุนมีปริมาณโปรตีนสูงถึง 10-12 เปอร์เซ็นต์ องค์ประกอบของเมล็ดขนุนแบ่งออกเป็น 2 ชั้น คือ เยื่อชั้นนอกและเยื่อชั้นใน ซึ่งเยื่อชั้นนอกเป็นสีขาวนำไปแช่น้ำ ลอกออกได้ง่าย เยื่อชั้นในสีน้ำตาลติดแน่นอยู่กับเนื้อ ลอกออกยาก และเมล็ดขนุนยังสามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น เมล็ดขนุนเชื่อม แป้งจากเมล็ดขนุน เป็นต้น (อมรรัตน์ และกมลทิพย์, 2546)

2.2 แป้ง

2.2.1 แป้งเกิดจากอะไร

แป้ง (flour) ได้จากการบดหรือโม่ส่วนต่างๆ ของพืช เช่น เมล็ดธัญพืช หัวที่อยู่ใต้ดินทั้งที่เป็นราก สะสมอาหารและลำต้นสะสมอาหาร เมล็ดถั่วต่างๆ จนมีลักษณะเป็นผงละเอียด ดังรูปที่ 2.1 แป้งจึงประกอบด้วยองค์ประกอบทั้งหมดที่พบในส่วนของพืชที่นำมาทำแป้ง เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน รวมทั้งวิตามินและแร่ธาตุด้วย



ภาพที่ 2.1 แป้งชนิดต่างๆ
ที่มา: สุนัดดา (2560)

2.2.2 องค์ประกอบของแป้ง

ถ้าสกัดองค์ประกอบอื่นในแป้งออกไปจนเหลือเฉพาะคาร์โบไฮเดรตซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของแป้งจะเรียกส่วนที่เหลือว่า สตาร์ช (starch) สตาร์ชเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่เก็บสะสมในส่วนต่างๆ ของพืช มีโครงสร้างแป้งเป็น 2 รูปแบบคือ อะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพกทิน (amylopectin) โดยทั่วไปสตาร์ชจะมีอะไมโลสเป็นส่วนประกอบประมาณร้อยละ 20 – 30 และมีอะไมโลเพกทินเป็นส่วนประกอบประมาณร้อยละ 70 – 80 ซึ่งสตาร์ชที่ได้จากพืชต่างชนิดกันจะมีปริมาณ โครงสร้าง และการจัดเรียงตัวของอะไมโลสและอะไมโลเพกทินแตกต่างกันจึงทำให้แป้งจากพืชแต่ละชนิดมีสมบัติต่างกัน

อะไมโลสเป็นพอลิเมอร์สายตรงของน้ำตาลกลูโคสเรียงต่อกันเป็นสายยาว ไม่มีการแตกแขนง โดยทั่วไปประกอบด้วยกลูโคส 300 – 3000 โมเลกุล ซึ่งแต่ละโมเลกุลของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bond) ชนิด $\alpha - 1,4$ (คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของกลูโคสเชื่อมกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของกลูโคสโมเลกุลถัดไป)

อะไมโลเพกทินเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสเรียงต่อกันเป็นสายยาวและมีการแตกแขนง โดยทั่วไปการแตกแขนงจะเกิดขึ้นทุกๆ กลูโคส 24 – 30 โมเลกุลบนสายยาว ส่วนที่เป็นสายยาวนั้นโมเลกุลของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก ชนิด $\alpha - 1,4$ เหมือนกับอะไมโลส (amylose) และส่วนที่แตกแขนงจะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก ชนิด $\alpha - 1,6$ (คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของกลูโคสโมเลกุลแรกของส่วนที่แตกแขนงเชื่อมกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ของกลูโคสที่อยู่บนสายยาว)

2.2.3 เพราะเหตุใดแป้งแต่ละชนิดจึงต่างกัน

ประเทศทางซีกโลกตะวันตก เช่น อเมริกาและประเทศในทวีปยุโรปมักจะใช้แป้งสาลีทำขนม แต่ขนมไทยใช้แป้งหลายชนิดในการทำ เช่น แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว และแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งทำมาจากพืชที่เพาะปลูกจำนวนมากในประเทศไทย แป้งแต่ละชนิดจะมีปริมาณอะไมโลสแตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.1

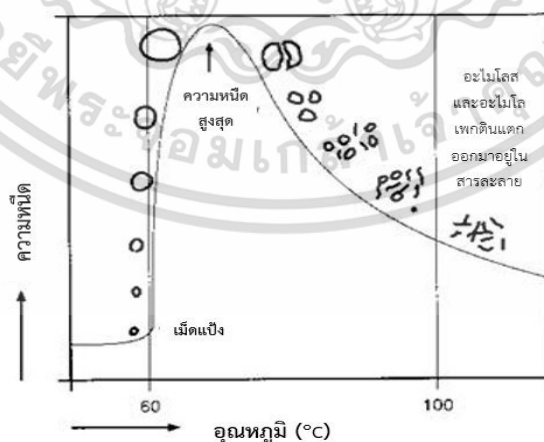
ตารางที่ 2.1 อะไมโลสที่พบในแป้งชนิดต่างๆ

ชนิดของแป้ง	ร้อยละของอะไมโลส
แป้งข้าวเหนียว	0 – 2
แป้งมันสำปะหลัง	17-18
แป้งข้าวเจ้า	17-21
แป้งเท้ายายม่อม	21
แป้งสาลี	26
แป้งถั่วเขียว	31

ที่มา: Kasemsuwan และคณะ (1999), Oates (1996), Setyaningsih และคณะ (2015)

เมื่อน้ำแป้งได้รับความร้อน พันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุลของสตาร์ชในเม็ดแป้งจะถูกทำลาย สายพอลิเมอร์ของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินที่อยู่ในเม็ดแป้งจะคลายตัวและรวมกับน้ำที่ล้อมรอบ ทำให้เม็ดแป้งพองตัวและมีความหนืดเพิ่มสูงขึ้นจนถึงความหนืดสูงสุด (peak viscosity) เนื่องจากเม็ดแป้งมีการพองตัวมากที่สุด ดังรูปที่ 2.2

ถ้ามีการกวนหรือให้ความร้อนเป็นเวลานาน โดยความหนืดอาจลดลงหรือคงที่ขึ้นกับชนิดของแป้ง ความหนืดจะเริ่มลดลงเมื่อโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินบางส่วนที่แตกสลายออกมาอยู่ในสารละลายมากกว่าการพองตัวของเม็ดแป้งที่เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 2.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความหนืดและอุณหภูมิ

ที่มา: Sander (1996)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยที่มีผลต่อความหนืด เช่น ชนิดของแป้ง สัดส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพกติน อุณหภูมิ ขนมหที่ทำจากแป้งต่างชนิดกันจะมีความหนืดที่แตกต่างกัน ดังนั้นความหนืดจึงเป็นสมบัติที่สำคัญและมีความเกี่ยวข้องกับการนำแป้งแต่ละชนิดมาใช้ประโยชน์ เมื่อนำแป้ง 2 ซ้อนชาผสมน้ำ 50 มิลลิลิตร กวนให้เข้ากันแล้วนำน้ำแป้งไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที รูปภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 น้ำแป้งจากแป้งชนิดต่างๆ ก่อนและหลังได้รับความร้อน
 ก. น้ำแป้งก่อนได้รับความร้อน
 ข. น้ำแป้งหลังได้รับความร้อน
 ค. แป้งเกาะบนแท่งแก้วหลังได้รับความร้อน
 ที่มา: สุรัตดา (2560)

น้ำแป้งก่อนได้รับความร้อนมีลักษณะขุ่น แต่เมื่อได้รับความร้อนแล้วจะมีลักษณะใสขึ้นและหนืดจนเกาะติดแท่งแก้วได้ แต่จะมีลักษณะแตกต่างกันในแป้งแต่ละชนิด เช่น แป้งข้าวเหนียว แป้งมันสำปะหลัง และแป้งเท้ายายม่อมมีความหนืดมาก แต่เฉพาะแป้งมันสำปะหลังที่มีลักษณะใสขึ้น แป้งข้าวเจ้าและแป้งสาลีมีความหนืดน้อย

โดยทั่วไปแป้งที่มีอะไมโลสปริมาณสูงจะดูดน้ำช้าและมีการพองตัวช้าด้วยเช่นกัน จึงต้องใช้ อุณหภูมิสูงกว่าเพื่อให้เกิดการพองตัวอย่างสมบูรณ์ โครงสร้างและสัดส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินในแป้ง จึงมีอิทธิพลต่อสมบัติของแป้ง ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ลักษณะของขนมแตกต่างกัน

2.3 การสกัด

การสกัด (extraction) หมายถึง กระบวนการแยก โดยใช้ของเหลวอีกชนิดหนึ่งเป็นตัวทำละลาย สารที่ต้องการแยกโดยให้ละลายออกมาในตัวทำละลาย

Leaching คือ การสกัดในระบบของแข็ง-ของเหลว

Supercritical fluid extraction เป็นการสกัดด้วยของไหลที่อยู่ในสภาวะเหนือจุดวิกฤติ

การแยกสาร(separation) หรือวัสดุต่างชนิดออกจากกัน มีหลายวิธี เช่น การกลั่น (distillation) การตกผลึก (crystallization) การแยกทางกล การเหวี่ยงด้วยแรงหนีศูนย์กลาง (centrifugation) การตกตะกอน (sedimentation) การกรอง (filtration) การกรองด้วยเยื่อ การร่อนหรือกรองผ่านตะแกรง (sifter, screen, sieve) การบีบอัด (พิมพ์เห็บ และนิธิยา, 2562ก)

การสกัดด้วยตัวทำละลาย คือ การแยกสารโดยอาศัยสมบัติการละลายของสารในตัวทำละลาย ต้องคำนึงถึงตัวทำละลายที่เหมาะสมเพื่อให้ได้สารที่ต้องการในปริมาณมาก มีหลักการดังนี้ เลือกตัวทำละลายที่เหมาะสมเพื่อสกัดให้ได้สารที่ต้องการออกมาและต้องมีสิ่งเจือปนติดน้อยที่สุด และไม่ทำปฏิกิริยากับสารที่ต้องการสกัด กรณีที่ต้องแยกสารผสมที่มีองค์ประกอบปนกันหลายชนิด ต้องเลือกตัวทำละลายที่ละลายสารใดสารหนึ่งได้มากและอีกสารได้น้อยมาก เพื่อให้เจือปนกันน้อยที่สุด แยกสารที่ไม่ต้องการออกไป โดยกระบวนการแยกสารต่างๆ เช่น การกรอง เป็นต้น แยกสารที่ต้องการออกจากตัวทำละลาย (ทฤษฎีปัญหา, 2558)

2.3.1 การสกัดแป้งเมล็ดขนุน

วิธีการสกัดโดย (Tulyathan et al., 2002) และ (Mukprasit and Sajjaanantakul, 2004) นำเมล็ดมาล้างทำความสะอาด ผึ่งให้แห้ง นำไปแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นนำไปแช่ในกรดซิตริก 5 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร เป็นเวลา 2 นาที อัตราส่วนเมล็ดขนุนต่อสารละลายเป็น 1 ต่อ 1 ล้างเมล็ดขนุนด้วยน้ำสะอาด และลอกเยื่อสีน้ำตาลออก ทั่นเมล็ดขนุนให้มีความหนา 2 มิลลิเมตร เข้าอบที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส จนกว่าจะมีปริมาณความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 13 จากนั้นนำมาบดและผ่านเครื่องร่อนตะแกรงขนาด 0.18 มิลลิเมตร ได้เป็นแป้งจากเมล็ดขนุน เก็บแป้งในถุงพลาสติกที่อุณหภูมิห้อง

2.4 การทำแห้ง

พิมพ์เห็บ และนิธิยา (2562ข) การทำแห้ง (dehydration) หรือการดึงน้ำออก อาจเรียกว่า drying การทำแห้งเป็นวิธีการถนอมอาหาร (food preservation) ที่นิยมใช้มานาน โดยลดความชื้น (moisture content) ของอาหารด้วยการระเหยน้ำ ด้วยการอบแห้ง (dehydration) การทอด (frying) หรือการระเหิดน้ำส่วนใหญ่ในอาหารออก วัตถุประสงค์ของการทำแห้งอาหาร

I. ยืดอายุการเก็บรักษา การทำแห้งเป็นการลดปริมาณน้ำในอาหาร เพื่อ ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ทุกชนิด เช่น รา (mold) ยีสต์ (yeast) แบคทีเรีย (bacteria) ที่เป็นสาเหตุให้อาหารเสื่อมเสีย (microbial spoilage) ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ (enzyme) หรือชะลอปฏิกิริยาต่างๆ ทั้งทางเคมีและทางชีวเคมีซึ่งมีน้ำเป็นส่วนร่วมและเป็นสาเหตุให้อาหารเสื่อมเสีย (food spoilage)

II. ทำให้อาหารปลอดภัย การลดปริมาณน้ำในอาหารโดยการทำแห้ง ทำให้อาหารมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (water activity) น้อยกว่า 0.6 ซึ่งเป็นระดับที่ปลอดภัยจากจุลินทรีย์ก่อโรค (pathogen) รวมทั้งยับยั้งการสร้างสารพิษของเชื้อรา (mycotoxin) เช่น aflatoxin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

III. เพื่อให้ทำให้อาหารมีน้ำหนักเบา ลดปริมาตร ทำให้สะดวกต่อการขนส่ง การบริโภค หรือการนำไปเป็นวัตถุดิบในการแปรรูปต่อเนื่องด้วยวิธีอื่นๆ สร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ที่เป็นทางเลือกของผู้บริโภคมากขึ้น

2.5 ไมโครเวฟ

ไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงมากถึง 2,450 ล้านรอบต่อวินาทีที่มีลักษณะคล้ายกับคลื่นวิทยุแต่มีความถี่ที่สูงกว่า หัวใจสำคัญของเตาไมโครเวฟ คือตัวแมกนีตรอนที่จะเป็นตัวเปลี่ยนพลังงาน ไฟฟ้าเป็นคลื่นไมโครเวฟ

ระบบการทำงานของเตาไมโครเวฟคลื่นไมโครเวฟจะพุ่งเข้าสู่อาหารจากทุกทิศทางโดยรอบของ ฉนวนเตาด้านในแล้วแผ่กระจายไปสู่อาหาร เมื่อคลื่นไปกระทบอาหาร ทำให้โมเลกุลของอาหารเกิดการสั่น และเสียดสีกันก่อให้เกิดเป็นพลังงานความร้อนทำให้อาหารสุกอย่างรวดเร็ว ลักษณะเช่นเดียวกับการที่เรา ใช้อ้อมูถูกันไปมาเร็วๆ จะรู้สึกร้อนขึ้นมาทันที

จากคุณสมบัติเด่นของคลื่นไมโครเวฟที่ทำให้อาหารสุกอย่างรวดเร็ว จึงเป็นการรักษาคุณค่าของ อาหารไว้อย่างครบถ้วน ไม่ว่าจะเป็นการหุง ต้ม อบ นึ่ง ปิ้งย่าง ทอด และคุณสมบัติพิเศษที่ได้รับมากกว่า การประกอบอาหารด้วยวิธีดั้งเดิมหลายประการ อาทิความสะดวกรวดเร็ว ประหยัด ปลอดภัย และไร้เขม่า คิวไพ คลื่นไมโครเวฟ มีลักษณะเด่น 3 ประการ

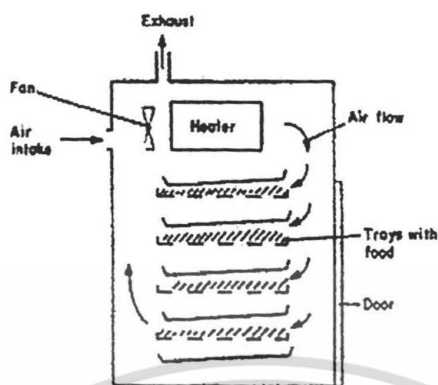
I. การสะท้อนกลับ (reflection) คลื่นไมโครเวฟเมื่อไปกระทบกับภาชนะที่เป็น โลหะหรือมีส่วนผสมของโลหะคลื่นไมโครเวฟไม่สามารถทะลุผ่านภาชนะดังกล่าวได้ จะสะท้อนกลับหมด ดังนั้นอาหารที่ใส่ในภาชนะที่เป็นโลหะก็จะไม่สุก

II. การส่งผ่าน (transmission) คลื่นไมโครเวฟสามารถทะลุผ่านภาชนะที่ทำด้วยแก้ว กระจก ไม้ เซรามิกและพลาสติกได้ เพราะภาชนะดังกล่าวไม่มีส่วนผสมของโลหะ จึงเป็นภาชนะที่ใช้ได้ดีในเตาไมโครเวฟ

III. การดูดซึม (absorption) ปกติอาหารโดยทั่ว ๆ ไป จะประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำในอาหาร ซึ่งจะดูดซึมคลื่นไมโครเวฟ ทำให้อาหารร้อนอย่างรวดเร็ว และอีกนัยหนึ่งเมื่อโมเลกุลของน้ำดูดซึมคลื่นไมโครเวฟแล้วจะสลายตัวในทันทีที่ไม่สะสมในอาหาร

2.6 ตู้อบแห้งแบบถาด

เครื่องอบแห้งแบบถาด ประกอบด้วยถาดเดี่ยวๆ ที่มีช่องตาข่ายอยู่ด้านล่างและบุเครื่องด้วยฉนวนในแต่ละถาดจะบรรจุอาหารชิ้นบางๆ 2-6 เซนติเมตร อากาศร้อนจะไหลเวียนอยู่ในตู้ที่ความเร็วลม 0.5-5 เมตร/วินาที/เมตร² ของพื้นที่ผิวของถาด มีระบบท่อแบบบัพเฟิล เพื่อนำลมร้อนขึ้นไปด้านบนผ่านแต่ละถาดเพื่อเพิ่มอัตราการแห้ง นิยมใช้เครื่องอบแห้งแบบถาดในการผลิตอาหารปริมาณต่ำ (1-20 ตัน/วัน) หรือสำหรับใช้ในโรงงานต้นแบบ เครื่องอบชนิดนี้ใช้เงินลงทุนและค่าดูแลรักษาต่ำแต่ควบคุมดูแลยาก และคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่สม่ำเสมอ ภาพที่ 2.4 แสดงการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบถาดทั่วไป (อัจฉราพร, 2552)



ภาพที่ 2.4 แสดงการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบถาดทั่วไป (ที่มา: วิไล, 2543)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Guo และคณะ (2018) วัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติโครงสร้างและหน้าที่ของแป้งจากเมล็ดผลไม้ทั้ง 5 ชนิด โดยแป้งถูกแยกได้จากเมล็ดขนุน ลำไย โลควอท ลิ้นจี่ และมะม่วง ซึ่งมีแป้งโดยประมาณ 56, 59, 71, 53 และ 64% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเมล็ดของผลไม้เหล่านี้เป็นแหล่งแป้งที่ดี เมื่อคุณสมบัติเชิงโครงสร้างและหน้าที่ของแป้งที่แยกได้เหล่านี้ถูกพิจารณาและเปรียบเทียบ พบว่าแป้งมีรูปร่างไม่สม่ำเสมอถูกตัดปลายเป็นทรงกลมและเป็นรูปไข่โดยมีอิลาอยู่ตรงกลางและมีขนาดต่างกัน โดยมีแป้งมะม่วงเป็นแป้งที่มีขนาดใหญ่ที่สุดและขนุนกับลำไยมีขนาดเล็กที่สุด แป้งทั้งห้ามีปริมาณอะไมโลสที่คล้ายกัน แต่มีคุณสมบัติของผลึกที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญซึ่งรวมถึงชนิดของผลึกความเป็นผลึกสัมพัทธ์โครงสร้างและความเข้มของแสง และในกลุ่มแป้งทั้ง 5 ชนิดนั้นแป้งเมล็ดขนุนและแป้งเมล็ดโลควอท มีอุณหภูมิเจลลิตีในเซชันสูงสุดและต่ำสุดและเอนทัลปี ตามลำดับ ส่วนแป้งลิ้นจี่และมะม่วงมีความหนืดสูงสุดและต่ำสุดตามลำดับ แป้งจากลำไยและ โลควอทมีความอ่อนไหวต่อการไฮโดรไลซ์ของเอนไซม์มากกว่าแป้งชนิดอื่น

Rengsutthi และ Charoenrein (2011) การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้ประโยชน์ของแป้งที่สกัดได้จากเมล็ดขนุนจากอุตสาหกรรมขนุนทอด และเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของแป้งเมล็ดขนุน (JFSS) กับ แป้งข้าวโพด(CS) และ แป้งมันฝรั่ง (PS) จากนั้นเปรียบเทียบ JFSS กับ CS ในกรณีเป็นสารให้ความหนืดและความคงตัวในซอสพริกทดแทนแป้งข้าวโพด(CS) ผลที่ได้ คือ JFSS มีปริมาณอะไมโลสสูงกว่าและเม็ดเล็กมากกว่า CS และ PS นอกจากนั้นอุณหภูมิที่เกิดเจลลิตีในเซชัน (pasting temperature) และค่าความหนืดสุดท้ายของ JFSS มีค่าสูงกว่า CS และ PS และ JFSS มีการสลายตัวขณะเป็นแป้งเปียกน้อยกว่า CS และ PS ซึ่งบ่งบอกได้ว่า JFSS ทนต่อความร้อนและแรงเฉือนเชิงกลระหว่างการปรุงอาหาร รูปแบบ XRD แสดงให้เห็นว่าแป้งเมล็ดขนุนมีความคล้ายกับแป้งข้าวโพด และเหมาะสมเป็นตัวทดแทนแป้งข้าวโพดเนื่องจาก มีการแยกชั้นน้อยที่สุดและความหนืดสูงที่สุดในระหว่างการเก็บรักษา และในด้านการประเมินทางประสาทสัมผัส JFSS ได้คะแนนสูงสุดในด้าน สี ความรู้สึกภายในปาก ความเป็นเนื้อเดียวและคุณภาพโดยรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กึ่งกาญ (2545) การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติของแป้งเมล็ดขนุนเพื่อใช้ในคุกกี้เนย ด้วยการใช้แป้งเมล็ดขนุนมาผลิตทดแทนการใช้แป้งสาลี โดยนำแป้งเมล็ดขนุนผสมกับส่วนผสมทั้งหมดตามอัตราส่วนที่กำหนดในแต่ละสูตรแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 150 – 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 – 15 นาทีแล้วจึงนำมาทดสอบทางประสาทสัมผัส ผลที่ได้จากการศึกษาพบว่า ปริมาณแป้งเมล็ดขนุนปริมาณร้อยละ 15 เหมาะสมกับการผลิตคุกกี้เนยเนื่องจากการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุด และมีกลิ่นกับสีที่เฉพาะตัว

นันทวัน และสุพิชา (2555) การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของฟักทองอบแห้งที่ผ่านจากการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส การอบแห้งด้วยลมร้อน 8 W/g และการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ 8 W/g และ 9.6 W/g ที่สภาวะสูญญากาศ (13.3 kPa) พบว่าการใช้ไมโครเวฟร่วมกับการอบแห้งแบบลมร้อน สามารถลดเวลาในการอบแห้งให้สั้นลงและค่าความสว่าง ค่าสีเหลือง ของฟักทองมีค่าสูงกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว และยังรักษาปริมาณเบต้าแคโรทีนได้มากกว่า และจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด SEM พบว่าโครงสร้างฟักทองที่อบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน มีความเป็นรูพรุนและอัตราการคืนตัวมากกว่าการใช้ลมร้อน

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุดิบ

3.1.1 เมล็ดขนุน ขนุนสายพันธุ์ทองประเสริฐ

3.2 อุปกรณ์

- | | |
|------------------------------------|---|
| 3.2.1 ไมโครเวฟ | (Samsung, ME711K, Malaysia) |
| 3.2.2 ตู้อบแห้งแบบถาด | (Tray Dryer, Thailand) |
| 3.2.3 เครื่องวัดค่าปริมาตรน้ำ | (Aqua lab 4TE, California) |
| 3.2.4 เครื่องร่อนแยกแบบเขย่า | (Endecotts EFL 2000/2, England) |
| 3.2.5 เครื่องบดแป้ง | (Retsch ZM 1000, Germany) |
| 3.2.6 เครื่องวัดสี | (Minolta CR400, Japan) |
| 3.2.7 เครื่องวัดค่ากรด-ด่าง | (SevenCompact S220, Switzerland) |
| 3.2.8 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง | (Mettler Toledo ML-series, Switzerland) |
| 3.2.9 ถ้วยเก็บความชื้น | |
| 3.2.10 พัดลมขนาดเล็ก | |
| 3.2.11 เทอร์โมมิเตอร์ | |
| 3.2.12 อุปกรณ์เครื่องแก้ว | |
| 3.2.13 โถดูดความชื้น | |
| 3.2.14 นาฬิกาจับเวลา | |
| 3.2.15 ที่คืบ | |

3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมเมล็ดขนุน

นำเมล็ดมาล้างทำความสะอาด ผึ่งให้แห้ง นำไปต้มด้วยน้ำสะอาดเป็นเวลา 2 นาที และลอกเยื่อสีน้ำตาลออก หั่นเมล็ดขนุนให้มีความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร เพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

3.3.2 หาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งด้วยไมโครเวฟ

ในการทดลองนี้วางแผนการทดลองได้ใช้โปรแกรม design expert 7.0 วางแผนการทดลองโดยวิธีการใช้พื้นผิวตอบสนอง (RSM) ด้วยการออกแบบการทดลองแบบ central composite design มีปัจจัยที่ใช้ศึกษา 2 ปัจจัยได้แก่ ระดับกำลังไมโครเวฟ (วัตต์) และเวลา (นาที) ที่ระดับกำลังไมโครเวฟที่ 300 400 และ 500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตต์ เวลาที่ใช้ในการทำการทดลอง 6.30 8.30 10.30 นาที ตามลำดับ โดยใช้เมล็ดเมล็ดขนุนหั่นสไลด์ 50 กรัมต่อ การทดลอง จากข้อ 3.2.1 ใส่ภาชนะ ทำแห้งเมล็ดขนุน จดชั่งน้ำหนักเมล็ดขนุนก่อนอบและหลังอบ นำมา คำนวณหาปริมาณความชื้นจนได้ปริมาณความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 13 ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อหาเวลาและ ระดับกำลังไมโครเวฟที่เหมาะสมไปใช้ในการทดลองต่อไป

3.3.3 การอบแห้งเมล็ดขนุนด้วยไมโครเวฟ

เมื่อทราบเวลาและระดับกำลังไมโครเวฟที่เหมาะสมที่ระดับไมโครเวฟ 500 วัตต์ เวลา 7.68 นาที นำเมล็ดขนุนที่ผ่านการเตรียมหั่นสไลด์ ครั้งละ 50 กรัม โดยทำทั้งหมด 2000 กรัม ตรวจวัดปริมาณความชื้นของ เมล็ดขนุนทุกครั้ง เพื่อให้ทราบว่าปริมาณความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 13 จากนั้นนำไปเข้ากระบวนการทำให้เป็นแป้ง แล้วนำมาวิเคราะห์ผลทางเคมีและกายภาพต่อไป

3.3.4 การอบแห้งเมล็ดขนุนด้วยตู้อบแห้งแบบถาด

นำเมล็ดขนุนที่ผ่านการเตรียมหั่นสไลด์ ถาดละ 500 กรัม แบ่งเป็น 4 ถาดรวม 2000 กรัมแล้วนำ อบแห้งด้วยตู้อบแห้งแบบถาด (tray dryer) ใช้อุณหภูมิในการอบ 50 องศาเซลเซียส ตรวจวัดปริมาณความชื้นของ เมล็ดขนุนทุกๆ 30 นาที เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อวัดปริมาณความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 13 ทำการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ จากนั้นนำไปเข้ากระบวนการทำให้เป็นแป้งแล้วนำมาวิเคราะห์ผลทางเคมีและกายภาพต่อไป

3.3.5 การหาปริมาณความชื้น (AOAC, 2005)

3.3.5.1. อบ moisture can 135 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง

3.3.5.2. นำ moisture can ออกด้วยที่คีบ และใส่ไว้ใน desiccator ปิดไว้ 30 นาที

3.3.5.3. นำเมล็ดขนุนอบแห้ง ใส่ moisture can ประมาณ 2-3 กรัม

3.3.5.4. อบที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง

3.3.5.5. นำออกจากเตาอบ และพักไว้ที่โถดูดความชื้น 30 นาที

3.3.5.6. ชั่งน้ำหนักหลังอบด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

3.3.5.7. นำมาคำนวณผล

$$\% \text{Moisture content} = \frac{w_1 - w_2}{w_1 - w} \times 100$$

W = น้ำหนักของจานหาความชื้น

W₁ = น้ำหนักของจานอบความชื้นและตัวอย่างก่อนอบ

W₂ = น้ำหนักของจานอบความชื้นและตัวอย่างหลังอบ

3.3.6 การวิเคราะห์ผล

3.2.6.1 การวิเคราะห์ทางเคมี

3.3.6.1.1. ความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้เครื่อง pH meter

ชั่งแป้งเมล็ดขนุน 20 กรัม ชั่งในปิ๊กเกอร์ เต็มน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร แล้วเขย่าติดต่อกันเป็นเวลา 5 นาที เมื่อหยุดเขย่า ทำการวัด pH ทันที และจดค่า (สนั่น และคณะ, 2541)

3.3.6.1.2 หาปริมาณค่า water activity

นำเมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้ง ปริมาณ 1 กรัม นำมาบดให้ละเอียดใส่ถ้วยวัด Aw วิเคราะห์ค่า Aw โดยใช้เครื่องวัดวอเตอร์แอกติวิตี (ยี่ห้อ aqua lab รุ่น 4TE) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส วิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

3.3.6.2 การวิเคราะห์ทางกายภาพ

3.3.6.2.1 การวิเคราะห์การวัดสี

นำเมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งด้วยไมโครเวฟและอบแห้งแบบถาด (tray dryer) วางบนพื้นราบสีขาวแล้ววัดสีด้วยเครื่องวัดสี minolta CR-400 แบบหัวเปิด ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ในการอบทุกครั้ง และวัดสีแป้งเมล็ดขนุนอีกครั้งตอนเข้าสู่กระบวนการทำแป้งเป็นผง นำมาวัดสีด้วย เครื่องวัดสี minolta CR-400 แบบหัวปิด ทำการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ

3.3.6.2.2 ขนาดอนุภาคของแป้ง โดยใช้วิธี sieve analysis (Sonaye and Baxi, 2012)

นำแป้งเมล็ดขนุนที่ผ่านกระบวนการทำให้เป็นผงด้วยเครื่องบดแป้ง pin mill ขนาดหัวบด 0.25 มิลลิเมตร นำแป้งที่บดได้มาเข้าเครื่องวัดขนาดอนุภาคโดยผ่านตะแกรง 80 mesh (0.18 มิลลิเมตร) และ 100 mesh (0.15 มิลลิเมตร) โดยเขย่าเป็นเวลา 5 นาที นำขนาดของแป้งเมล็ดขนุนที่ผ่านตะแกรง 80 mesh และ 100 mesh ไปชั่งน้ำหนัก แล้วนำขนาดที่ไม่ผ่านตะแกรง 80 mesh นำมาบดอีกหนึ่งครั้ง

3.3.6.2.3 ความคงตัว

วัดความคงตัวของแป้ง 3 ชนิด เพื่อเปรียบเทียบ ได้แก่ แป้งข้าวโพด แป้งจากการอบด้วยไมโครเวฟ และแป้งจากการอบด้วยตู้อบแบบถาด (tray dryer) สังเกตจากการแยกชั้นของน้ำในซอสพริกจากสูตรซอสพริกศรีราชา ด้วยอัตราส่วน

พริกชี้ฟ้าแดง 40%

น้ำตาลทราย 17%

น้ำส้มสายชู 10%

กระเทียม 15%

เกลือ 5%

น้ำเปล่า 9 %

ให้นำพริกชี้ฟ้าแดงหั่นท่อน และปลอกเปลือกกระเทียมออก ไปต้มเป็นเวลา 10-15 นาทีจนกว่าพริกและกระเทียมนิ่ม แล้วนำไปใส่เครื่องปั่น เติมน้ำเปล่าลงไป แล้วปั่นให้ละเอียด จากนั้นนำมากรองเอากากออก แล้วนำซอสที่ได้ไปต้มปรุงรสชาติด้วย น้ำตาลทราย เกลือ น้ำส้มสายชู แล้วนำซอสที่ได้ มาแบ่งเป็น 4 ส่วน เพื่อวัดความคงตัวของแป้ง โดยการเติมแป้งลงในซอสพริก 1 กรัม สังเกตการแยกชั้นของซอส โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 4 สัปดาห์ (Rengsutthi and Charoenrein, 2011)

3.3.6.2.4 การตรวจสอบค่าผลลิตร้อยละ

$$\text{ค่าผลลิตร้อยละหลังผ่านกระบวนการอบแห้ง (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักเมล็ดขนุนหลังอบ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักเมล็ดขนุนก่อนอบ (กรัม)}} \times 100$$

$$\text{ค่าผลลิตร้อยละหลังผ่านกระบวนการบด (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักเมล็ดขนุนอบแห้งหลังผ่านการบด (กรัม)}}{\text{น้ำหนักเมล็ดขนุนก่อนอบ (กรัม)}} \times 100$$

3.3.3.2.5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลแบบ t-test ใช้โปรแกรม IBM SPSS ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การทดลองหาสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสมด้วยไมโครเวฟ

ในการทดลองนี้ใช้โปรแกรม design expert 7.0 วางแผนการทดลองโดยใช้วิธีการพื้นผิวตอบสนอง (RSM) ด้วยการออกแบบการทดลองแบบ central composite design มีปัจจัยที่ใช้ศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ระดับกำลังไมโครเวฟ (วัตต์) และเวลา (นาที) โดยใช้เมล็ดขนุนหั่นสไลด์ 50 กรัมต่อการทดลอง และนำมาหาปริมาณความชื้นจนได้ปริมาณความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 13 ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ซึ่งระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองมี 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ (-1) ระดับกลาง (0) และระดับสูง (1) ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ปัจจัยและระดับของแต่ละปัจจัยที่ใช้ทดลอง

ปัจจัย	ระดับ		
	-1	0	1
ระดับกำลังไมโครเวฟ (X_1) (วัตต์)	300	400	500
เวลา (X_2) (นาที)	6.30	8.30	10.30

ตารางที่ 4.2 ลำดับการทดลองของการออกแบบการทดลองที่มี 2 ปัจจัย และมีการทำซ้ำที่จุดกึ่งกลาง 5 ครั้ง

Std	Run	Block	X_1 :power (watt)	X_2 :time (min)	Moisture content (%)
4	1	1	500	10.30	1.9553
9	2	1	400	8.30	19.4002
10	3	1	400	8.30	18.8048
12	4	1	400	8.30	18.2241
13	5	1	400	8.30	16.8675
2	6	1	500	6.30	21.0058
3	7	1	300	10.30	28.0765
5	8	1	300	8.30	34.0907
6	9	1	500	8.30	5.4861
8	10	1	400	10.30	7.4510
7	11	1	400	6.30	29.9812
11	12	1	400	8.30	20.2362
1	13	1	300	6.30	41.9179

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองได้สมการทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$\text{Moisture content} = + 159.84023 - 0.29015 * X_1 - 9.11435 * X_2 - 6.51137E-003 * X_1 * X_2 + 2.74298E-004 * X_1^2 + 0.41767 * X_2^2$$

โดยที่ X_1 คือ ระดับกำลังไมโครเวฟ (วัตต์) และ X_2 คือ เวลา (นาที)

ตารางที่ 4.3 แสดงผลลัพธ์สภาวะการทำแห้งด้วยไมโครเวฟที่เหมาะสมที่สุดจากโปรแกรมออกแบบการทดลอง

Factor		Moisture content (%)
Power (watt)	Time (min)	
500	7.68	13

จากการทดลองทำแห้งเมล็ดขนุน 50 กรัมพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งด้วยไมโครเวฟที่ได้จากโปรแกรมออกแบบการทดลอง คือ ระดับกำลังไมโครเวฟ 500 วัตต์ 7.68 นาที

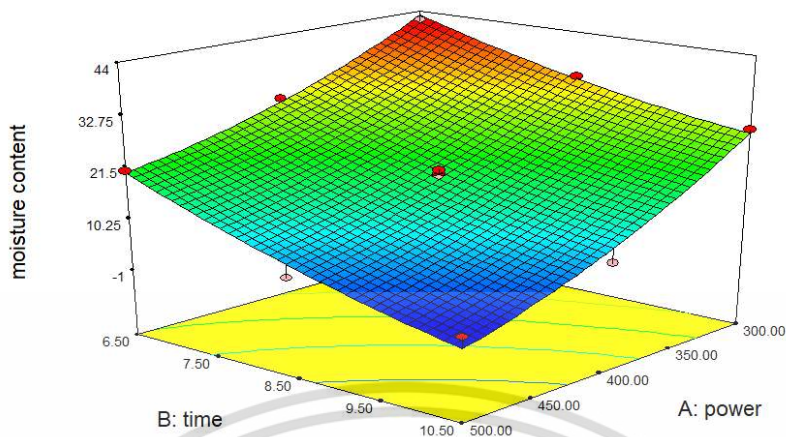
ตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F	P
Model	1516.84	5	303.37	59.69	<0.0001
A-power	953.52	1	953.52	187.60	<0.0001
B-time	511.93	1	511.94	100.72	<0.0001
AB	6.78	1	6.78	1.33	0.2859
A ²	20.78	1	20.78	4.09	0.0829
B ²	7.71	1	7.71	1.52	0.2579
Residual	35.58	7	5.08		
Lack of Fit	29.13	3	9.71	6.03	0.0577
Pure Error	6.45	4	1.61		
Total	1552.42	12			

$R^2 = 0.9771$ (Adj $R^2 = 0.9607$)

จากตารางที่ 4.4 จะสรุปได้ว่า ค่า P ของปัจจัย A และ B มีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงให้เห็นว่า ปัจจัยด้านระดับกำลังไมโครเวฟและเวลา มีผลต่อปริมาณความชื้นในการอบแห้งเมล็ดขนุนอย่างมีนัยยะสำคัญ

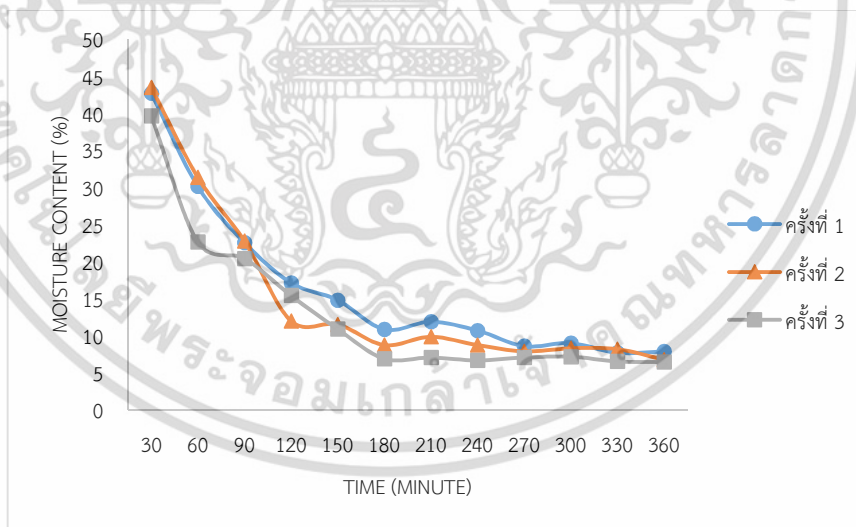
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.1 แผนภาพพื้นผิวตอบสนองแสดงผลของระดับกำลังไมโครเวฟและเวลา

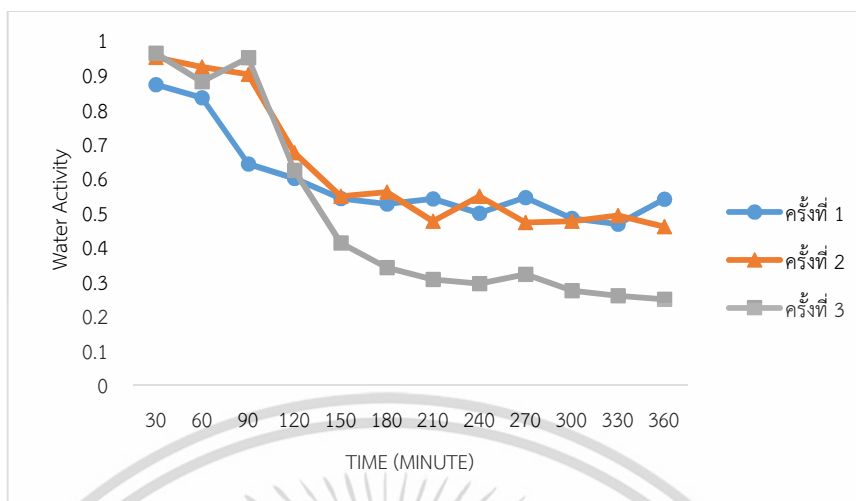
4.2 การทดลองอบแห้งด้วยตู้อบแห้งแบบถาด (tray dryer)

ในการทดลองนี้ต้องการทราบเวลาที่ใช้อบแห้งด้วยตู้อบแห้งแบบถาดให้เมล็ดขนุนมีปริมาณความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 13 เช่นเดียวกับไมโครเวฟ ปริมาณเมล็ดขนุน 50 กรัมต่อการทดลอง อุณหภูมิในการอบคือ 50 องศาเซลเซียส (กิ่งกาญ, 2545) หาปริมาณความชื้นทุก ๆ 30 นาที เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ได้ผลการทดลองดังนี้



ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงอัตราส่วนปริมาณความชื้นที่ทดลองจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงอัตราส่วนค่า water activity ที่ทดลองจริง

จากภาพที่ 4.1 และ 4.2 จะเห็นได้ว่า ปริมาณความชื้นลดลงต่ำกว่าร้อยละ 13 และค่า water activity ลดลงในระยะเวลา 150 นาที เป็นต้นไป และเริ่มคงที่หลังจากนั้น ซึ่งค่า water activity ในผลิตภัณฑ์อบแห้งควรต่ำกว่า 0.6 จึงจะเหมาะแก่การเก็บรักษา

4.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งจากเมล็ดขนุน

จากการเปรียบเทียบปริมาณเมล็ดขนุน 2 กิโลกรัม แบ่งที่ได้จากเมล็ดขนุนนำมาทำการตรวจสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น ค่า water activity ความเป็นกรด-ด่าง และทางกายภาพ ได้แก่ สี ขนาดอนุภาคของแป้ง และความคงตัว ได้ผลการตรวจสอบดังนี้

4.3.1 ปริมาณความชื้น

เป็นค่าที่บ่งชี้ปริมาณน้ำในเมล็ดขนุนที่มีความสำคัญมาก เนื่องจากปริมาณความชื้นนั้นมีผลต่อการเสื่อมเสียของจุลินทรีย์และการเก็บรักษา ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสูงจะเสื่อมเสียได้ง่าย เพราะมีสภาวะที่เหมาะสมทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโต มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นต่ำ ซึ่งปริมาณความชื้นนั้นสอดคล้องกับค่า water activity ดังนั้นจึงต้องทำให้เมล็ดขนุนอบแห้งมีปริมาณความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 13 การทำแห้งเมล็ดขนุนด้วยตู้อบแห้งแบบถาดใช้เวลา 150 นาทีต่อเมล็ดขนุน 2 กิโลกรัม และไม่โครเวฟใช้เวลา 7.68 นาทีต่อเมล็ดขนุน 50 กรัม ใช้เวลา 307.2 นาทีต่อเมล็ดขนุน 2 กิโลกรัม โดยใช้วิธีการหาปริมาณความชื้นของ (AOAC, 2005) การเปรียบเทียบได้จากรูปภาพที่ 4.4 พบว่ามีปริมาณความชื้นดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.5 ปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในเมล็ดขนุนอบแห้ง

ชนิด	Moisture content (%)
Microwave	7.18±0.79 ^a
Tray dryer	10.49±0.89 ^b

หมายเหตุ: a และ b ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันกำกับด้วยอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยวิธี t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$)

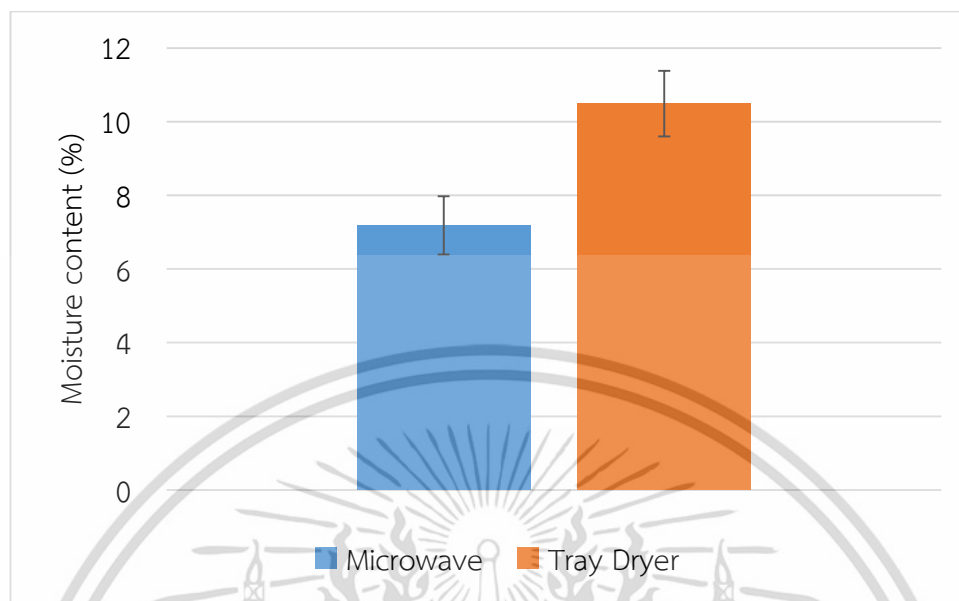
4.3.2 ค่า water activity

เป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมและป้องกันการเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์มีผลโดยตรงต่อการกำหนดอายุการเก็บรักษาและความปลอดภัยอาหาร อาหารแห้งควรมีค่า water activity น้อยกว่า 0.6 โดยใช้เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ aqua lab 4TE จากการทดลองได้ผลการตรวจสอบ พบว่าค่า water activity ของเมล็ดขนุนและแป้งเมล็ดขนุน ที่ผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยไมโครเวฟมีค่าต่ำกว่าการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งแบบถาดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดูได้จากรูปที่ 4.5 และตารางที่ 4.6

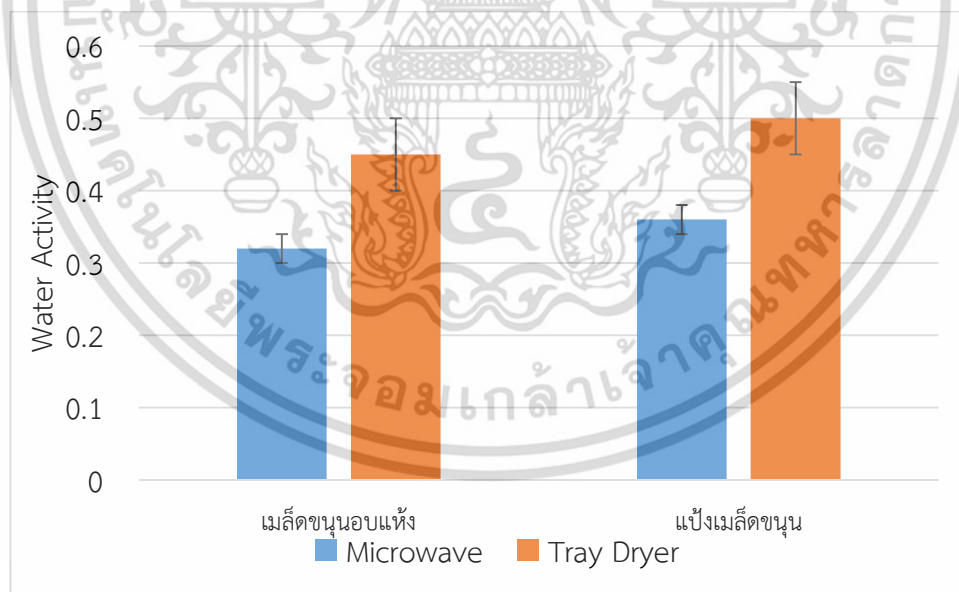
ตารางที่ 4.6 ค่า water activity ที่มีอยู่ในเมล็ดขนุนอบแห้งและแป้งจากเมล็ดขนุน

ชนิด	เมล็ดขนุนอบแห้ง	แป้งเมล็ดขนุน
Microwave	0.32±0.02 ^a	0.36±0.02 ^a
Tray dryer	0.45±0.05 ^b	0.50±0.03 ^b

หมายเหตุ: a และ b ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันกำกับด้วยอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยวิธี t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.4 การเปรียบเทียบปริมาณความชื้นของเมล็ดขนุนจากการทำแห้ง 2 วิธี



ภาพที่ 4.5 การเปรียบเทียบค่า water activity ของเมล็ดขนุนและแป้งจากเมล็ดขนุนจากการทำแห้ง 2 วิธี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 ความเป็นกรด-ด่าง

วัดปริมาณกรดต่างในแป้งจากเมล็ดขนุนแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับแป้งข้าวโพดทั่วไป ใช้ปริมาณแป้ง 20 กรัมต่อปริมาณน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร (สนั่น และคณะ, 2541) โดยใช้เครื่อง pH meter เป็นตัววัด พบว่าค่า pH ที่ได้จากการอบแห้งด้วยไมโครเวฟและตู้อบแห้งแบบภาคเมื่อเทียบกับแป้งข้าวโพด แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติได้ดูได้จากรูปภาพที่ 4.6 และผลการตรวจสอบดังนี้

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบค่า pH ของแป้งแต่ละชนิด

Sample	pH
JFSS microwave	5.54±0.02 ^a
JFSS tray dryer	5.71±0.02 ^b
Corn starch	5.28±0.02 ^c

หมายเหตุ: a b และ c ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันกำกับด้วยอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$)

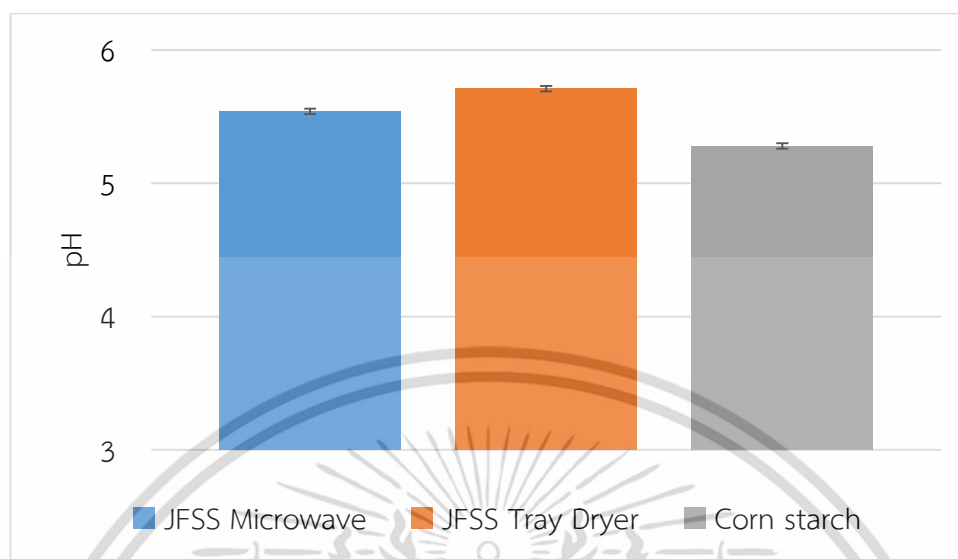
4.3.4 สี

การวัดค่าสีของเมล็ดขนุนที่ผ่านกระบวนการทำแห้งมาแล้วด้วยเครื่อง minolta CR-400 ซึ่งค่าที่แสดงคือ ค่า L* คือ ค่าความสว่าง ยังมีค่าใกล้เคียง 100 แสดงว่ามีความสว่างมาก ค่า C* คือ ความบริสุทธิ์หรือความเข้มของสี และค่า h คือ ทิศทางของสี เช่น สีแดง น้ำเงิน เขียว เหลือง จากตารางที่ 4.8 และ 4.9 พบว่าเมล็ดขนุนและแป้งจากเมล็ดขนุนที่ทำแห้งด้วยไมโครเวฟมีสีเหลืองเข้มเกือบน้ำตาล ส่วนเมล็ดขนุนและแป้งจากเมล็ดขนุนที่ทำแห้งด้วยตู้อบแห้งแบบภาคมีสีเหลืองนวล เนื่องจากค่า L* ของไมโครเวฟที่ได้มีความสว่างน้อยกว่าตู้อบแห้งแบบภาค ค่า C* ของไมโครเวฟมีค่ามากกว่าตู้อบแห้งแบบภาคเช่นเดียวกัน และค่า h ของไมโครเวฟมีค่าน้อยกว่าเมล็ดขนุนและแป้งจากเมล็ดขนุนที่อบแห้งด้วยตู้อบแห้งแบบภาค ค่า h ที่เข้าใกล้ 90 แสดงว่าเข้าใกล้เฉดสีเหลือง เมล็ดขนุนและแป้งจากเมล็ดขนุนที่ทำแห้งด้วยตู้อบแห้งแบบภาคจึงมีความเป็นสีเหลืองมากกว่าของไมโครเวฟ ดูได้จากรูปภาพที่ 4.7 และ 4.8 และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

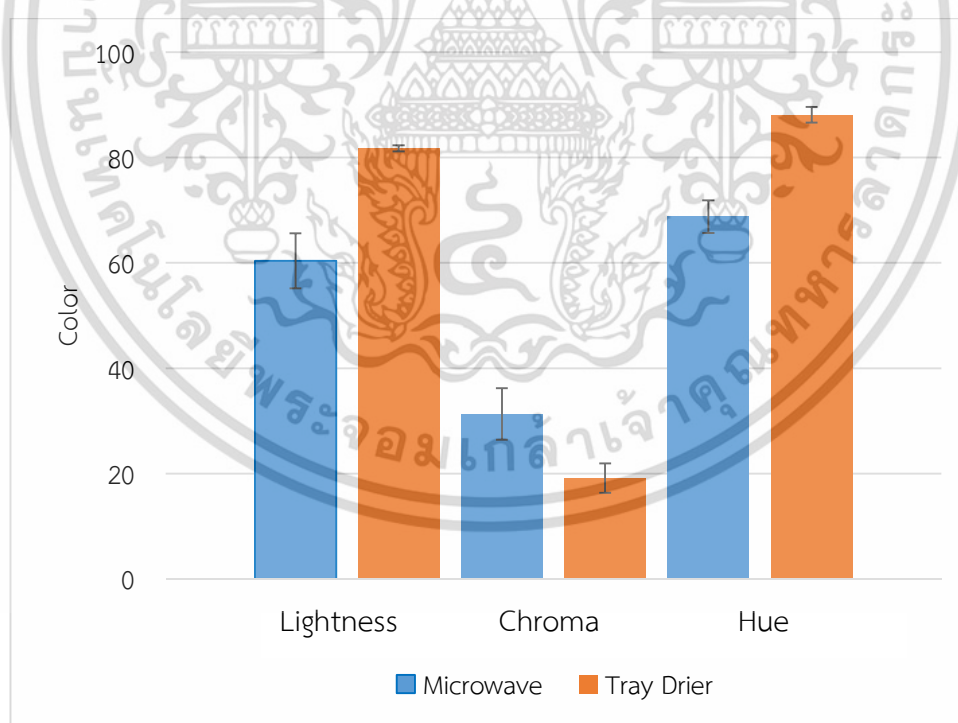
ตารางที่ 4.8 ค่าสีของเมล็ดขนุนเมื่อผ่านกระบวนการทำแห้ง

ตัวอย่าง	ค่าสี		
	L*	C*	h
Microwave	60.39±5.25 ^a	31.31±4.97 ^a	68.75±3.12 ^a
Tray dryer	81.73±0.64 ^b	19.14±2.86 ^b	88.10±1.56 ^b

หมายเหตุ: a และ b ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันกำกับด้วยอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยวิธี t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.6 การเปรียบเทียบค่า pH ของแป้งจากเมล็ดขนุนจากการทำแห้ง 2 วิธี



ภาพที่ 4.7 การเปรียบเทียบค่าสีของเมล็ดขนุนจากการทำแห้ง 2 วิธี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบค่าสีของแป้งจากเมล็ดขนุน

ตัวอย่าง	ค่าสี		
	L*	C*	h
Microwave	56.68±5.84 ^b	16.42±2.08 ^a	72.89±1.15 ^a
Tray dryer	61.08±2.90 ^b	9.77±0.78 ^b	84.89±2.67 ^b

หมายเหตุ: a และ b ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันกำกับด้วยอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยวิธี t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$)

4.3.5 ขนาดอนุภาคของแป้ง โดยใช้วิธี sieve analysis (Sonaye and Baxi, 2012)

วิธีที่ใช้ในการวัดขนาดอนุภาคคือ การใช้ตะแกรงร่อน (screen analysis) เป็นการร่อนแยกแบบเขย่าเป็นชุด ทำให้แยกขนาดของอนุภาคต่าง ๆ ได้ โดยใช้ตะแกรง 2 ชั้นแยกขนาด ขนาดช่องเปิดตะแกรง 0.18 และ 0.15 มิลลิเมตร ซึ่งแป้งควรมีขนาดต่ำกว่า 0.18 มิลลิเมตร (Rengsutthi and Charoenrein, 2011) จากการทดลองสรุปได้ดังนี้ แป้งเมล็ดขนุนอบแห้งด้วยไมโครเวฟสามารถผ่านตะแกรงได้ 75.22 เปอร์เซ็นต์ มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 0.011 มิลลิเมตร และแป้งเมล็ดขนุนอบแห้งด้วยตู้อบแห้งแบบถาดสามารถผ่านตะแกรงได้ 63.30 เปอร์เซ็นต์ มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 0.012 มิลลิเมตร ดูได้จากรูปภาพที่ 4.9

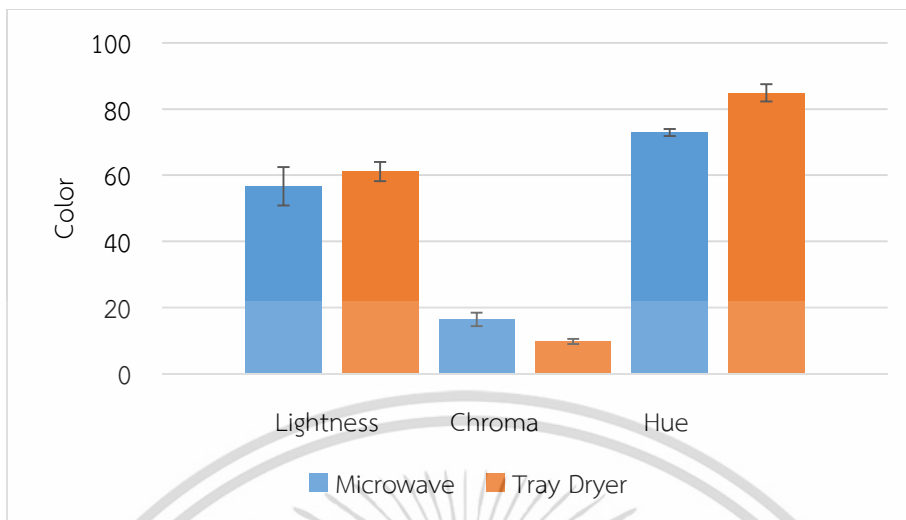
ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบขนาดอนุภาคเฉลี่ยของแป้งเมล็ดขนุน

ตัวอย่าง	ขนาดอนุภาคเฉลี่ย
Microwave	0.011±0.001 ^a
Tray dryer	0.012±0.002 ^a

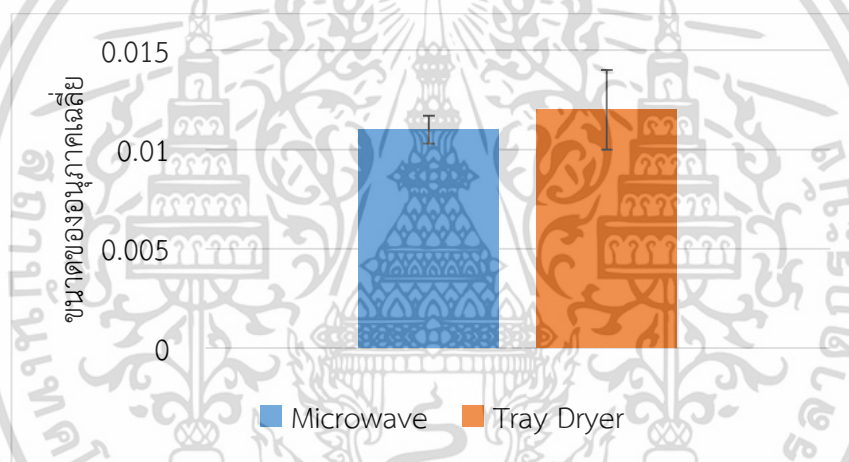
หมายเหตุ: a ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันกำกับด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยวิธี t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P > 0.05$)

4.3.6 ค่าผลผลิตร้อยละ

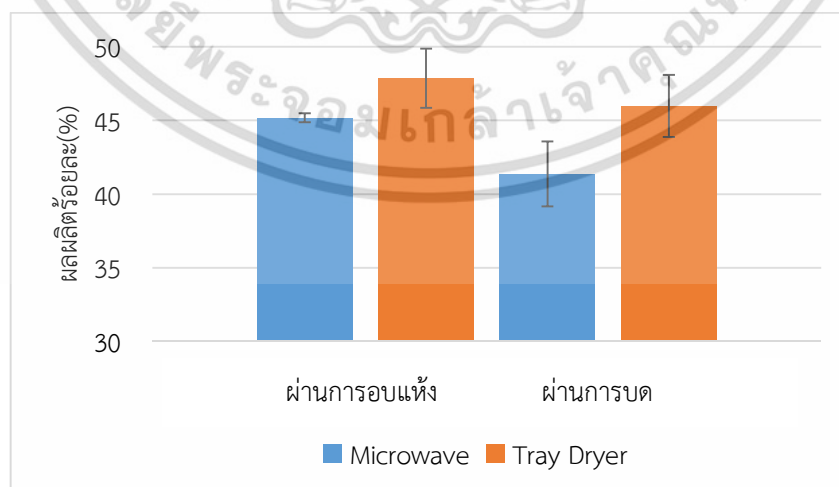
จากการคำนวณหาค่าผลผลิตร้อยละของแป้งจากเมล็ดขนุน โดยผ่านกระบวนการทำแห้งและกระบวนการบดเป็นแป้ง จากตารางที่ 4.10 พบว่าค่าผลผลิตร้อยละหลังผ่านกระบวนการอบแห้งและหลังผ่านกระบวนการบดมีค่าการสูญเสียของไมโครเวฟคิดเป็นร้อยละ 54.82, 3.81 % และผลต่อการสูญเสียของตู้อบแห้งแบบถาดคิดเป็นร้อยละ 52.14, 1.88 % ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าผลผลิตร้อยละของกระบวนการทำแป้งจากเมล็ดขนุนระหว่างไมโครเวฟกับตู้อบแห้งแบบถาด พบว่าทั้ง 2 วิธีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญดูได้จากรูปภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.8 การเปรียบเทียบค่าสีแป้งเมล็ดขนุนจากการทำแห้ง 2 วิธี



ภาพที่ 4.9 การเปรียบเทียบขนาดของอนุภาคแป้งจากเมล็ดขนุนโดยการทำแห้ง 2 วิธี



ภาพที่ 4.10 การเปรียบเทียบค่าผลผลิตร้อยละแต่ละกระบวนการการทำแป้งจากการทำแห้ง 2 วิธี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ค่าผลผลิตร้อยละของแป้งจากเมล็ดขนุน โดยผ่านกระบวนการทำแห้งและกระบวนการบดเป็นแป้ง

ตัวอย่าง	ผลผลิต (ร้อยละ)	
	Microwave	Tray dryer
ก่อนผ่านกระบวนการ	100.00	100.00
หลังผ่านกระบวนการอบแห้ง	45.18±0.32 ^a	47.86±2.02 ^b
หลังผ่านกระบวนการบด	41.37±2.20 ^c	45.98±2.13 ^d

หมายเหตุ: a b c และ d ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันกำกับด้วยอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$)

4.3.7 ความคงตัว

จากการทดลองศึกษาความคงตัวของซอสพริกที่ใช้แป้งจากเมล็ดขนุนมาทดแทนแป้งข้าวโพด โดยพิจารณาจากการแยกชั้นของซอสพริกที่ผสมแป้ง 3 ชนิด ได้แก่ แป้งจากเมล็ดขนุน 2 วิธี แป้งข้าวโพดทั่วไป และซอสพริกซูดควบคุมที่ไม่ใส่แป้งชนิดใดเลย ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($\sim 32^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าซอสพริกทั้ง 4 ตัวอย่างที่บรรจุในกระบอกตวงไม่เกิดการแยกชั้นของน้ำ แต่พบว่ามีสารจับตัวกันบริเวณชั้นบนและเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีไปจากเดิมคือมีความเข้มขึ้นดูได้จากรูปภาพที่ 4.4

ตารางที่ 4.12 ปริมาณการแยกชั้นของซอสพริกที่มีส่วนผสมของแป้งแต่ละชนิด

ระยะเวลา (สัปดาห์)	Control	JFSS microwave	JFSS tray dryer	Corn starch
4	0	0	0	0
8	0	0	0	0

หมายเหตุ: ผลที่ได้เป็นศูนย์ (0) หมายถึง ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงหรือการแยกชั้น, หน่วยปริมาตร คือ มิลลิลิตร

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากผลการศึกษาหัวข้อปัญหาพิเศษเรื่องการเปรียบเทียบคุณสมบัติของแป้งจากเมล็ดขนุนโดยการอบแห้งด้วยไมโครเวฟและตู้อบแห้งแบบถาด ในขั้นตอนการหาสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสมจากเมล็ดขนุน 50 กรัมด้วยไมโครเวฟและตู้อบแห้งแบบถาด พิจารณาจากปัจจัยหลักคือปริมาณความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 13 พบว่าการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมด้วยไมโครเวฟที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้วิธีการพื้นผิวตอบสนอง (RSM) ด้วยการออกแบบการทดลองแบบ central composite design คือ ระดับกำลังไมโครเวฟ 500 วัตต์ เวลา 7.68 นาที ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และสภาวะการทำแห้งด้วยตู้อบแห้งแบบถาด คือ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 150 นาที

จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเมล็ดขนุนและแป้งจากเมล็ดขนุน โดยใช้เมล็ดขนุน 2 กิโลกรัม พิจารณาคุณสมบัติ 7 ปัจจัย คือ ปริมาณความชื้น ค่า water activity ความเป็นกรด-ด่าง สี ขนาดอนุภาคของแป้ง ค่าผลผลิตร้อยละและความคงตัว เมื่อเวลาอบแห้งที่เวลา 150 นาที พบว่าตู้อบแห้งแบบถาดสามารถอบได้ในปริมาณ 2 กิโลกรัม และไมโครเวฟอบได้ 1 กิโลกรัม ภายในระยะเวลา 153.6 นาที โดยความชื้นสุดท้ายของไมโครเวฟคือ 7.18% และตู้อบแห้งแบบถาดคือ 10.49% และค่า water activity นั้นสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นจึงส่งผลให้ค่า water activity ที่อบแห้งด้วยไมโครเวฟและตู้อบแห้งแบบถาด ค่า water activity คือ 0.32-0.36 และ 0.45-0.50 ตามลำดับ และสามารถเก็บรักษาได้นานเนื่องจากค่า water activity ต่ำกว่า 0.6 คุณสมบัติความเป็นกรด-ด่างของแป้งจากเมล็ดขนุนทั้ง 2 วิธีมีค่าใกล้เคียงกับแป้งข้าวโพดทั่วไป แต่ในทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) คุณสมบัติด้านสี สีของแป้งจากเมล็ดขนุนที่ทำแห้งด้วยไมโครเวฟได้สีที่เข้มกว่าตู้อบแห้งแบบถาด ซึ่งแป้งจากเมล็ดขนุนที่ทำแห้งด้วยไมโครเวฟได้สีน้ำตาลอ่อนส่วนแป้งจากตู้อบแห้งแบบถาดได้สีขาวนวล ขนาดอนุภาคไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แป้งเมล็ดขนุนอบแห้งด้วยไมโครเวฟสามารถผ่านตะแกรงได้ 75.22% มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 0.011 มิลลิเมตร และแป้งเมล็ดขนุนอบแห้งด้วยตู้อบแห้งแบบถาดสามารถผ่านตะแกรงได้ 63.30% มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 0.012 มิลลิเมตร ค่าผลผลิตร้อยละพบว่าค่าผลผลิตร้อยละหลังผ่านกระบวนอบแห้งและหลังผ่านกระบวนการบดมีค่าการสูญเสียของไมโครเวฟคิดเป็นร้อยละ 54.82, 3.81% และผลต่อการสูญเสียของตู้อบแห้งแบบถาดคิดเป็นร้อยละ 52.14, 1.88% ตามลำดับ ค่าผลผลิตร้อยละของไมโครเวฟมีค่าน้อยกว่าและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับตู้อบแห้งแบบถาด และ เมื่อนำแป้งที่ได้จากการทดลองไปทำผลิตภัณฑ์ซอสพริกและวัดค่าความคงตัวเปรียบเทียบกับซอสพริกที่ใช้แป้งข้าวโพดพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 จากการทดลองใช้ระดับกำลังไมโครเวฟเกิน 500 วัตต์ ทำให้ปริมาณความชื้นลดลงอย่างรวดเร็วแต่ส่งผลให้เมล็ดขนุนไหม้ ระดับกำลังไมโครเวฟและเวลาที่ใช้ในการทำแห้งสามารถเพิ่มลดได้ตามความเหมาะสมสามารถใช้สีเป็นอีกหนึ่งปัจจัยเพื่อหาความเหมาะสมของแป้งเมล็ดขนุนได้เช่นกัน และควรมีการทำ sensory evaluation เพื่อทำการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

5.2.2 ในการเปรียบเทียบการอบแห้งทั้งสองวิธี เวลาและอุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติเมล็ดขนุน จึงควรหาสภาวะที่เหมาะสมของตู้อบแห้งแบบถาดเช่นเดียวกับการหาสภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ



บรรณานุกรม

- กึ่งกาญ พรหมใจ. 2545. การศึกษาคุณสมบัติของแป้งเมล็ดขนุนเพื่อใช้ในคุกกี้เนย. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://fic.nfi.or.th/knowledgebankResearch-detail.php?id=857>. 26 พฤศจิกายน 2562.
- ทรูปลุยกปัญญา. 2558. การสกัดด้วยตัวทำละลาย. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.trueplookpanya.com/new/asktrueplookpanya/questiondetail/13998>. 26 พฤศจิกายน 2562.
- นันทวัน เทอดไทยและสุพิชา กระจ่างเมธิกุล. 2555. ผลของการใช้ไมโครเวฟร่วมกับการอบแห้งแบบลมร้อนต่อคุณภาพของฟักทองอบแห้ง. หน้า 1. ในการประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์และนิธิยา รัตนานนท์. 2562ก. การสกัด. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0309/extraction>. 26 พฤศจิกายน 2562.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์และนิธิยา รัตนานนท์. 2562ข. การทำแห้ง. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0277/dehydration>. 26 พฤศจิกายน 2562.
- วีไล รังสาดทอง. 2543. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- วุฒิ วุฒิธรรมเวช. 2540. ขนุน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://library.cmu.ac.th/ntic/lannafood/detail_ingredient.php?id_ingredient=129. 26 พฤศจิกายน 2562.
- สุนัดดา โยมญาติ. 2560. แป้งทำมาจากอะไร. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://biology.ipst.ac.th/>. 26 พฤศจิกายน 2562.
- สนั่น ศุภธีรสกุล, สุปรียา ยืนยงสวัสดิ์, จินดากร ภูริพัฒนาวงษ์, ดำรงค์ศักดิ์ ฟ้ารุ่งแสง, วิชาญ เกตุจินดา และนฤบดี ผดุงสมบัติ. 2541. ศึกษาคุณสมบัติในการเป็นสารยึดเกาะและสารช่วยแตกกระจายตัวของแป้งจากเตี๋ย เผือก มันเทศ และเมล็ดทุเรียน (รายงานผลการวิจัย). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- อัจฉราพร อภิวงค์งาม. 2552. การศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งไบโรสแมรี่ ดอกลาเวนเดอร์ และกลีบดอกกุหลาบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- อมรรัตน์ มุขประเสริฐ และกมลทิพย์ สัจจอนันตกุล. 2546. ปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดแป้งจากเมล็ดขนุน. ในการประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตรครั้งที่5. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- AOAC. 2005. Official methods of analysis. Washington DC, USA: Association of Official Analytical Chemistry.

- Guo, K., Lin, L., Fan, X., Zhang, L. and Wei, C. 2018. Comparison of structural and functional properties of starches from five fruit kernels. *Food Chemistry*, 257, 75-82.
- Kasemsuwan, T., Jane, J., Chen, Y.Y., Lee, L.F., McPherson, A.E., Wong, K.S. and Radosavljevic, M. 1999, Effects of Amylopectin Branch Chain Length and Amylose Content on the Gelatinization and Pasting Properties of Starch, *Cereal chemistry*. Vol. 76, No. 5, pp. 629-637.
- Mukprasit, A., and Sajjaanantakul, K. 2004. Physico-chemical properties of flour and starch from jackfruit seeds (*Artarpus heterophyllus* Lam.) compared with modified starches. *International Journal of Food Science and Technology*, 39, 271-276.
- Oates, C.G., 1996, Physical Modification of Starch, In *Advanced Post Academic Course on Tapioca Starch Technology*, Jan. 22–26 and Feb. 19–23, 1996. AIT Center, Bangkok.
- Rengsutthi, K. and Charoenrein, S. 2011. Physico-chemical properties of jackfruit seed starch (*Artocarpus heterophyllus*) and its application as a thickener and stabilizer in chili sauce. *LWT-Food Science and Technology*, 44, 1309-1313.
- Sander, J.P.M. 1996. Starch Crop Selection and Breeding. In *Advanced Post-Academic Course on Tapioca Starch Technology (I)*. 22–26 January and 19–23 February 1996. Asian Institute of Technology Center Bangkok.
- Setyaningsih, W., Saputro, I.E., Palma, M. and Barroso, C.G. 2015. Optimisation and validation of the microwave-assisted extraction of phenolic compounds from rice grains. *Food Chemistry*, 169, 141-149.
- Sonaye, S.Y. and Baxi, R.N. 2012. Particle size measurement and analysis of flour. *International Journal of Engineering Research and Applications*. 2: 1839-1842
- Tulyathan, V., Tananuwong, K., Songjinda, P., and Jaiboon, N. 2002. Some physicochemical properties of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam) seed flour and starch. *Science Asia*, 28, 37-41.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์ผล

ก.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 2005)

อุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน (hot air oven)
2. ถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมฝา
3. โถดูดความชื้น (desiccator)
4. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
5. ที่คีบ

วิธีการ

1. อบ moisture can 135 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง
2. นำ moisture can ออกด้วยที่คีบ และใส่ไว้ใน desiccator ปิดไว้ 30 นาที
3. นำเมล็ดขนุนอบแห้ง ใส่ moisture can ประมาณ 2-3 กรัม
4. อบที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง
5. นำออกจากเตาอบ และพักไว้ที่โถดูดความชื้น 30 นาที
6. ชั่งน้ำหนักหลังอบด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
7. นำมาคำนวณผล

$$\% \text{Moisture content} = \frac{w_1 - w_2}{w_1 - w} \times 100$$

W = น้ำหนักของจานหาความชื้น

W₁ = น้ำหนักของจานอบความชื้นและตัวอย่างก่อนอบ

W₂ = น้ำหนักของจานอบความชื้นและตัวอย่างหลังอบ

ก.2 การวัดปริมาณน้ำอิสระด้วยเครื่อง water activity (4TE)

อุปกรณ์

1. น้ำ D.I
2. ตลับใส่ตัวอย่าง

วิธีการ

1. เปิดเครื่อง
2. ใส่ น้ำ D.I. ในตลับเพื่อ calibration รอให้เครื่องอ่านค่า (ทำซ้ำ 2-3 ครั้ง) จนค่าคงที่
3. นำตัวอย่างใส่ตลับ แล้วนำลงเครื่อง รออ่านค่า

ก.3 การวิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่อง minolta CR-400

การวัดสีในระบบ Hunter Lab ทำการวัดสีโดยเครื่องวัดสี minolta CR-400 โดยที่

- แขน L^* บ่งบอกถึง ความสว่าง (lightness) มี ค่าตั้งแต่ 0-100 โดย 0 คือ สีดำ และ 100 คือ สีขาว
- แขน a^* บรรยายแกนสี จากสีเขียว ($-a^*$) จนถึง สีแดง ($+a^*$)
- แขน b^* บรรยายแกนสี จากสีน้ำเงิน ($-b^*$) จนถึงสีเหลือง ($+b^*$)

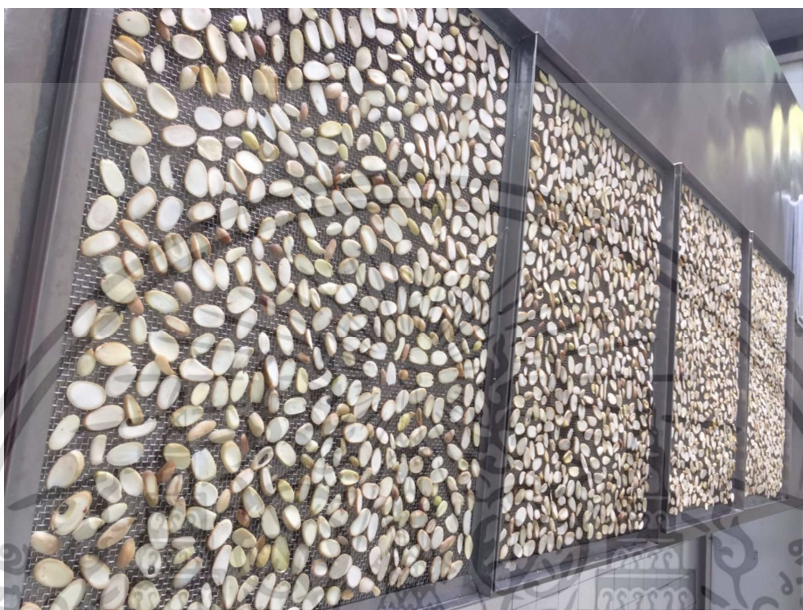
อุปกรณ์

1. ชุดเครื่องวัดสี

วิธีการ

1. ทำการปรับมาตรฐานเครื่อง (calibration) โดยการวางหัววัดทาบลงบนแผ่นสีขาวสำหรับ calibrate แล้ว กดปุ่ม measure
2. นำตัวอย่างวางลงบนพื้นราบ โดยมีกระดาษสีขาวรอง แล้วกดวัดค่า
3. บันทึกค่าที่ได้ นำไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ภาคผนวก ข รูปภาพประกอบการทำปัญหาพิเศษ



ภาพที่ ข.1 เมล็ดขนุนสไลด์ก่อนอบด้วยตู้อบแห้งแบบถาด



ภาพที่ ข.2 เมล็ดขนุนสไลด์หลังอบด้วยตู้อบแห้งแบบถาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ข.3 เมล็ดขนุนสไลด์ก่อนอบด้วยไมโครเวฟ



ภาพที่ ข.3 เมล็ดขนุนสไลด์หลังอบด้วยไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ข.4 เครื่องวัดค่า Aw (รุ่น 4TE)



ภาพที่ ข.5 เครื่องบดแป้ง (pin mill)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ข.5 แป้งเมล็ดขนุนหลังถูบด



ภาพที่ ข.6 เครื่องร้อนแยกแบบเขย่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ข.7 แป้งเมล็ดขนุนหลังจากผ่านเครื่องแยกขนาด



ภาพที่ ข.8 วัตถุดิบในการทำซอสพริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ข.9 แบ่ง 3 ชนิดที่นำไปผสมซอสพริกเพื่อวัดความคงตัว



ภาพที่ ข.10 ซอสพริกหลังจากผสมแบ่ง 3 ชนิด และหลอดควบคุม เพื่อวัดความคงตัว

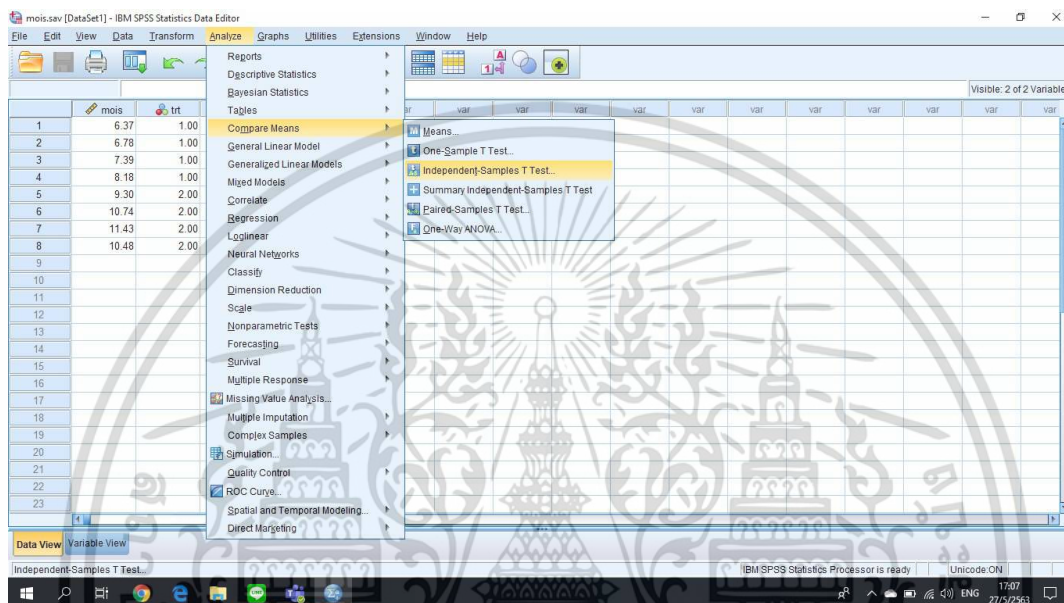
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

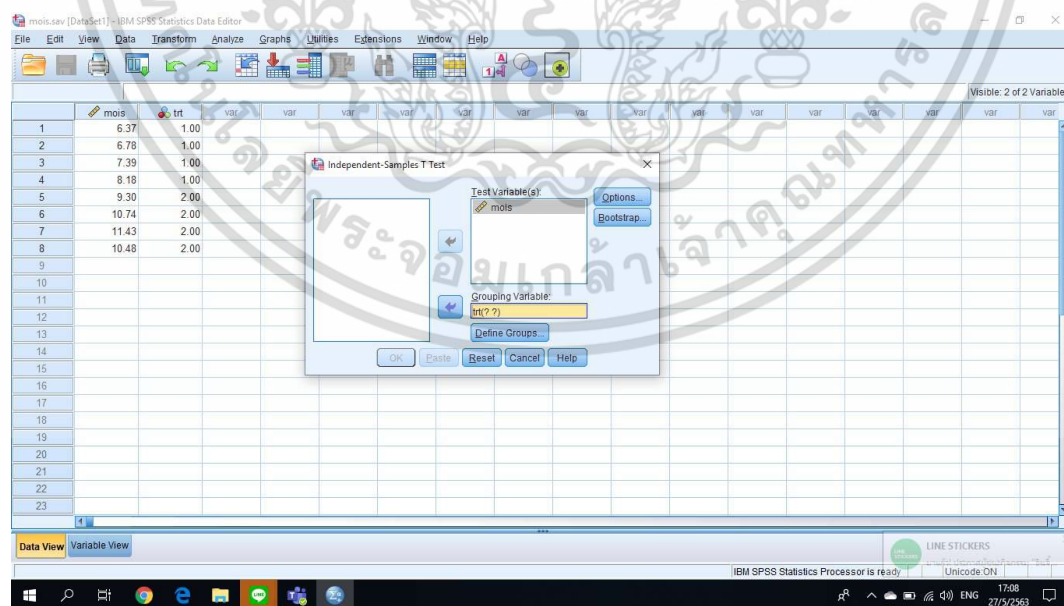
การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลสถิติ

ค.1 การวิเคราะห์ข้อมูล t-test ด้วย BMI SPSS statistic 22

1. สร้างเซลล์ และใส่ข้อมูลที่ต้องการทราบ ปริมาณความชื้น (MC) และวิธีที่ทำการทดลอง(method)

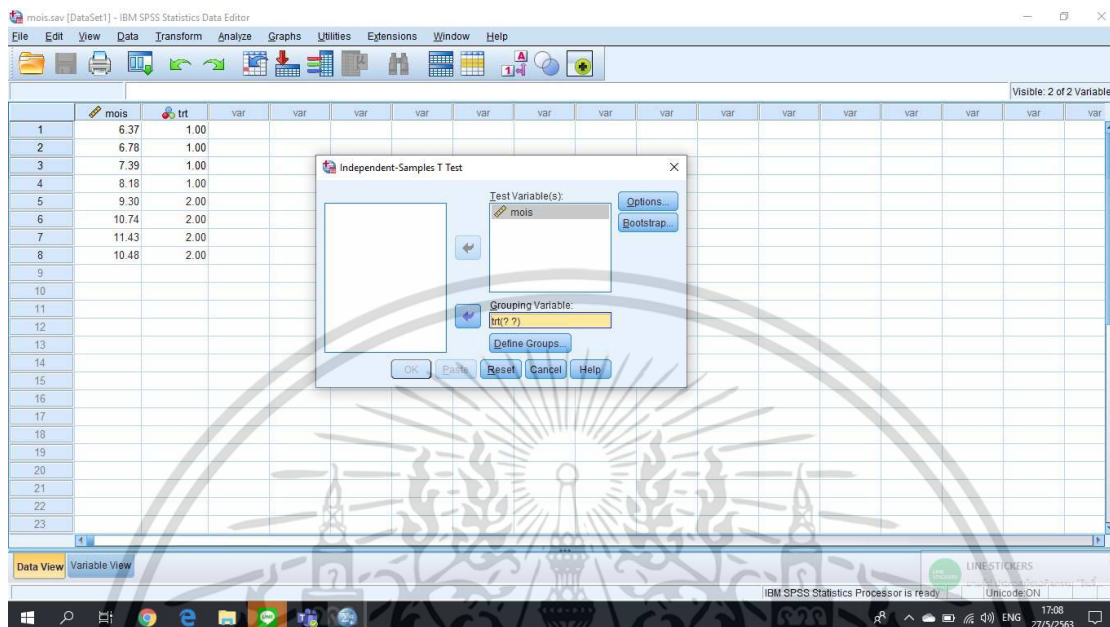


2. เลือก analyze — compare means — independent-samples t-test

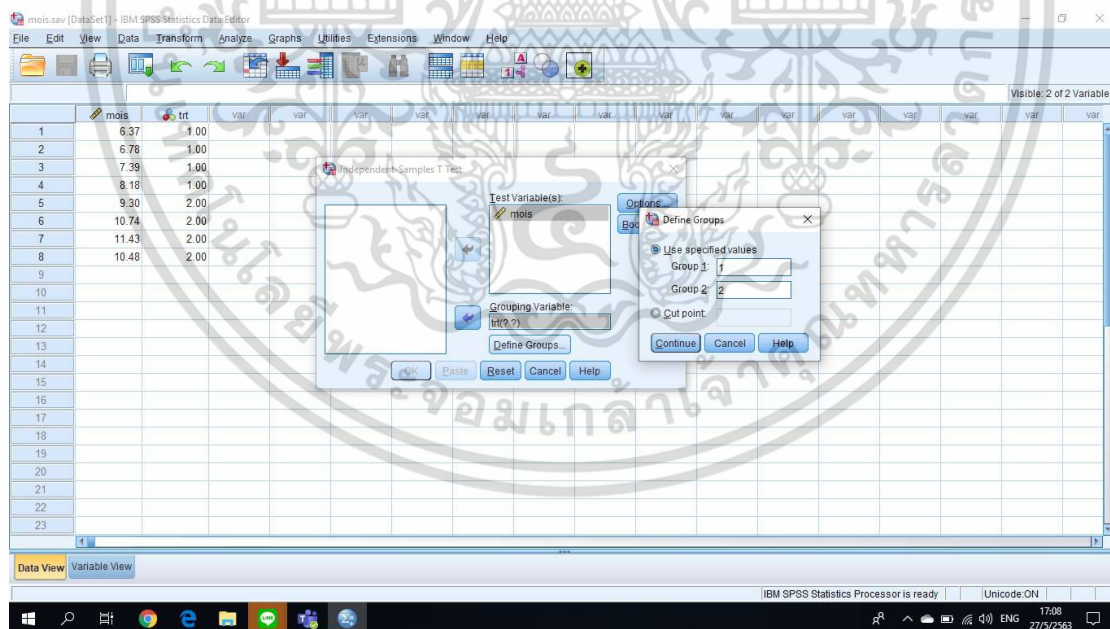


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เป็น test variable เลือก method เป็น grouping variable

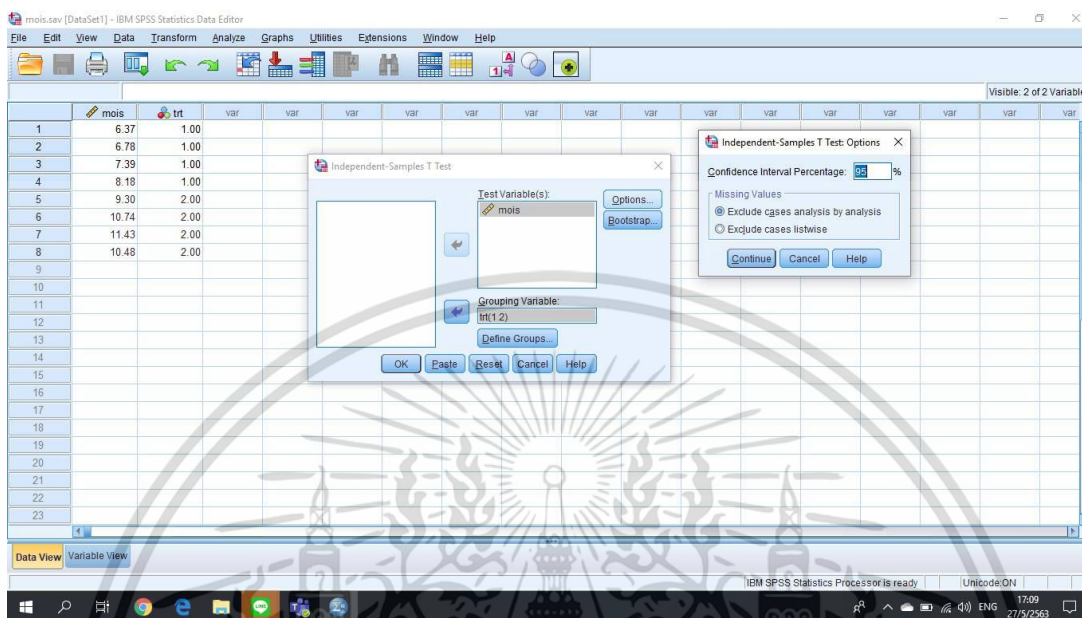


4. กด define groups กำหนด method ที่ 1 เป็น หมายเลข 1 และ method ที่ 2 เป็น หมายเลข 2

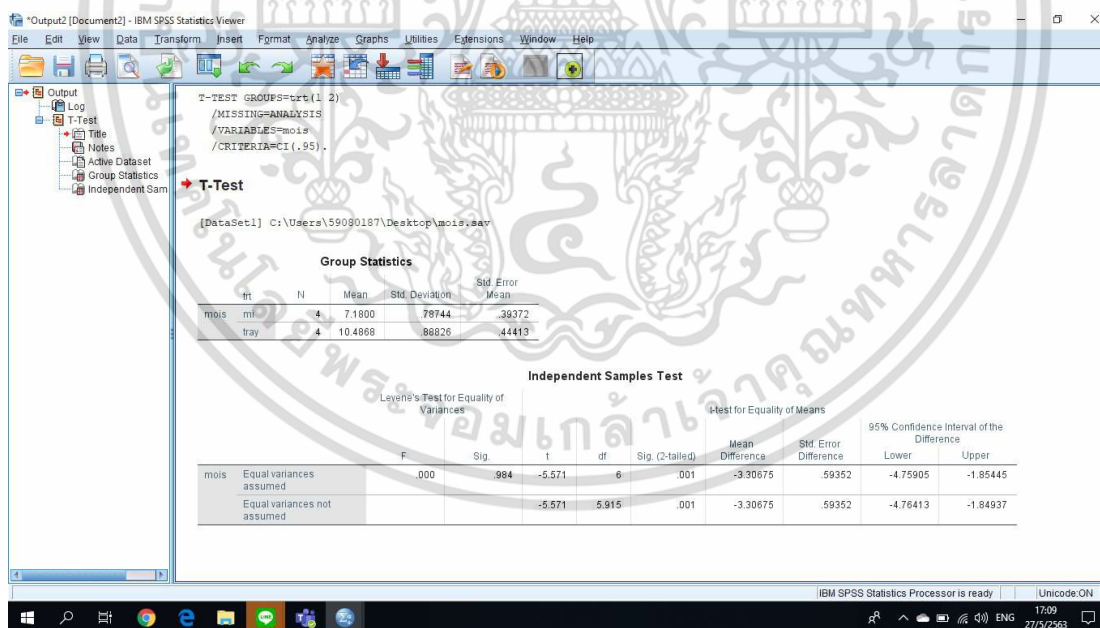


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. กด options เพื่อกำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ 95 %



6. จากนั้นกด OK และอ่านผลจากตารางที่ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.2 การคำนวณค่าความสว่างของสี และมุมของสีของเมล็ดขนุนและแป้งจากเมล็ดขนุนด้วยโปรแกรม excel

จากสูตร $Chroma = \sqrt{a^2 + b^2}$

$$Hue\ angle = \tan^{-1} \frac{b}{a}$$

ค่า L* a* และ b* คือค่าที่อ่านได้จากเครื่อง minolta CR-400

เมล็ดขนุน		ค่าสี				
ตัวอย่าง	L*	a*	b*	chroma	hue	
Microwave	60.39	11.34	29.15	31.28	68.74	
Tray Drier	81.73	0.63	18.09	19.00	88.10	
แป้งเมล็ดขนุน		ค่าสี				
ตัวอย่าง	L*	a*	b*	chroma	hue	
Microwave	56.68	4.83	15.69	16.42	72.89	
Tray Drier	61.08	0.87	9.73	9.77	84.89	

ภาพที่ ค.2 ตัวอย่างการคำนวณค่าความสว่างของสี และมุมของสีของเมล็ดขนุนและแป้งจากเมล็ดขนุนจากค่า L* a* และ b* ที่ได้จากเครื่อง minolta CR-400 ด้วยโปรแกรม excel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.3 การคำนวณขนาดอนุภาคของแป้งจากเมล็ดขนด้วยโปรแกรม excel

จากสูตร $D = 0.0041(2)^{F.M}$

Fineness Modulus (F.M.) = ผลรวมทั้งหมดของเปอร์เซ็นต์สะสมของแป้งที่ค้ำบน
ตะแกรง /100

เปอร์เซ็นต์ของสารบนตะแกรง = (น้ำหนักแป้งที่ค้ำบนตะแกรง/น้ำหนักแป้งทั้งหมด) x100

และ เปอร์เซ็นต์สะสมของสารบนตะแกรง = ผลบวกของเปอร์เซ็นต์สะสมของแป้งที่ค้ำบนตะแกรง
ที่หยาบกว่า

ตัวอย่าง		ขนาดตะแกรง						
ชนิด	น้ำหนัก	mesh no.	น้ำหนัก	%ของสารบนตะแกรง	%สะสมของสารบนตะแกรง	น้ำหนักตัวอย่างที่ค้ำบนตะแกรง	F.M.	ขนาดอนุภาคเฉลี่ย
1	100	80	0.0071	17.00	17.00	17.00	1.4000	0.0108
		100	0.0059	6.00	23.00	6.00		
		Pan		77.00	100.00	77.00		
		Total		100.00	140.00			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาวธนัชพร ไทยนันทน์

วัน เดือน ปี เกิด 26 มกราคม 2541

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2555 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น :

โรงเรียนนวมินทราชินูทิศสตรีวิทยา 2

พ.ศ. 2558 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย :

โรงเรียนนวมินทราชินูทิศสตรีวิทยา 2

สายวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ intensive english program (IEP)

พ.ศ. 2559 เข้าศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ.)

คณะอุตสาหกรรมอาหาร สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประสบการณ์การทำงาน

พ.ศ. 2562 ฝึกงานที่แผนก Quality assurance

บริษัทเอฟแอนด์ เอ็นแตรี้ส์ (ประเทศไทย) จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาวสุชามาศ บริสุทธิ์

วัน เดือน ปี เกิด 28 มีนาคม 2541

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2555 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น :

โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) 2

พ.ศ. 2558 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย :

โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) 2

สายวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์

พ.ศ. 2559 เข้าศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.)

คณะอุตสาหกรรมอาหาร สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประสบการณ์การทำงาน

พ.ศ. 2562 ฝึกงานที่แผนก Quality assurance

บริษัท เจริญโภคภัณฑ์อาหาร จำกัด (มหาชน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาวสุปรียา วงษ์พล

วัน เดือน ปี เกิด 24 มกราคม 2541

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2555 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น :

โรงเรียนสระแก้ว

พ.ศ. 2558 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย :

โรงเรียนสระแก้ว

สายวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์

พ.ศ. 2559 เข้าศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.)

คณะอุตสาหกรรมอาหาร สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประสบการณ์การทำงาน

พ.ศ. 2562 ฝึกงานที่แผนก Production

บริษัท ซีพีเอฟ ฟู้ด แอนด์ เบฟเวอเรจ จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้