ผลของเจลาติไนเซชันและรีโทรกราเดชันของเมล็ดมะขามคั่ว

Effect of Gelatinization and Retrogradation of Tamarind seed roasted

สุพจน์ กลีบสุวรรณ์

ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร

คณะอุตสาหกรรมอาหาร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบรับรองปัญหาพิเศษ

ผลของเจลาติไนเซชันและรีโทรกราเดชันของเมล็ดมะขามคั่ว

Effect of Gelatinization and Retrogradation of Tamarind seed roasted

จัดทำโดย

นายสุพจน์ กลีบสุวรรณ์ รหัสนักศึกษา 59080190

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

.....

(ผศ.ดร.พงษ์เสริฐ ศรีพรหม)

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

29 / ก.ค. / 63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ ผลของเจลาติไนเซชันและรีโทรกราเดชันของเมล็ดมะขามคั่ว
ชื่อนักศึกษา สุพจน์ กลีบสุวรรณ์ รหัสนักศึกษา 59080190
หลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร
พ.ศ. 2563
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.พงษ์เสริฐ ศรีพรหม

บทคัดย่อ

ปัญหาพิเศษนี้ทำการศึกษาผลของการเจลาติไนเซชันและรีโทรกราเดชันของเมล็ดมะขามคั่ว โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะของการเจลาติไนเซชันและปัจจัยที่มีผลต่อการรีโทรกราเดชันของเมล็ดมะขามคั่ว โดยมีการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการเจลาติไนเซชัน คือ อุณหภูมิ และเวลา ซึ่งสภาวะที่ทำการศึกษาได้แก่ การคั่วเป็นเวลา 15, 20 และ 25 นาที การแช่ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60, 120 และ 180 นาที การนึ่งที่อุณหภูมิ 96 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30, 60 และ 120 นาที และการอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ผลการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสม คือ ตัวอย่างเมล็ดมะขามที่ทำการคั่วเป็นเวลา 15 นาที แช่ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาทีและนึ่งที่อุณหภูมิ 96 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที โดยค่าสีของเมล็ดมะขามหวานและเมล็ดมะขามเปรี้ยวที่ได้ เท่ากับ 7.28 และ 7.07 ตามลำดับ ค่าความแข็งของเมล็ดมะขามหวานและเมล็ดมะขามเปรี้ยวที่ได้ เท่ากับ 3857.3 และ 3330.6 กรัม ตามลำดับ ซึ่งจะสามารถลดการเกิดการรีโทรกราเดชันของเมล็ดมะขามคั่วได้

คำสำคัญ: เมล็ดมะขาม เจลาติไนเซชัน รีโทรกราเดชัน ค่าสี ค่าความแข็ง ค่ากิจกรรมของน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special problem title	Effect of Gelatinization and Retrogradation of Tamarind seed roasted
Student name	Supoj Kleebsuwan Student ID 59080190
Program	Bachelor of Science in Food Process Engineering
Year	2020
Advisor	Asst.Prof.Dr.Pongsert Sriprom

Abstract

This special problem studied the effect of gelatinization and retrogradation on roasted tamarind seeds in order to find the suitable conditions of gelatinization and the factors that influence on the retrogradation of roasted tamarind seeds. The studies factors that matter with gelatinization are temperature and time. The studied conditions including roasting the tamarind seeds for 15, 20 and 25 minutes, soaking the tamarinds seeds at 25 degree Celsius for 60, 120 and 180 minutes, steaming the tamarind seeds at 96 degree Celsius for 30, 60 and 120 minutes, and incubating the tamarind seeds at 40 degree for 60 minutes. The results found that rhe suitable condition to process the tamarind seeds roasted for 15 minutes, soaked in water at room temperature for 180 minutes, and steamed at 96 degrees Celsius for 120 minutes. The color value of roasted sweet and sour tamarind seeds is 7.28 and 7.07 respectively. The hardness of roasted sweet and sour tamarind seeds is 3857.3 and 3330.6 grams respectively. Which can reduce retrogradation of roasted tamarind seeds.

Keyword: Tamarind seed Gelatinization Retrogradation Color value Hardness Water activity

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การทำปัญหาพิเศษเรื่องผลของเจลาติไนเซชันและรีโทรกราเดชันของเมล็ดมะขามคั่วนี้จะประสบความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีไม่ได้ หากไม่ได้รับความกรุณาจากบุคคลหลายๆท่าน ข้าพเจ้าจึงอยากจะขอบคุณบุคคลสำคัญดังที่จะเอ่ยดังต่อไปนี้เป็นอย่างยิ่งที่คอยช่วยให้คำแนะนำ ช่วยแก้ปัญหา ตลอดจนช่วยให้การทำปัญหาเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ซึ่งได้แก่ บิดามารดาที่ให้การสนับสนุนมาโดยตลอด ผศ.ดร.พงษ์เสริฐ ศรีพรหม อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำแนะนำในการทำปัญหาพิเศษในครั้งนี้ ตลอดจนคณาจารย์ในสาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหารที่อบรมสั่งสอน นักวิทยาศาสตร์ภายในคณะอุตสาหกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้คำปรึกษาต่างทั้งยังรวมถึงเพื่อนๆสาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหารที่ช่วยเหลือและให้กำลังใจในการทำปัญหาพิเศษในครั้งนี้

สำหรับคุณงามความดีใดๆที่เกิดจากปัญหาพิเศษครั้งนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และถ่ายถอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

สุพจน์ กลีบสุวรรณ์

29 พฤษภาคม 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	V
สารบัญภาพ	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 ขอบเขตงานวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 เมล็ดมะขาม	3
2.2 สมบัติของแป้ง	3
2.3 ค่ากิจกรรมของน้ำ	9
2.4 ค่าสี	12
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	13
3.1 วัตถุดิบและสารเคมี	13
3.2 อุปกรณ์	13
3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง	13
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	16
4.1 ค่าสี	16
4.2 ค่าความแข็ง	17
4.3 ค่ากิจกรรมของน้ำ	19
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	22
บรรณานุกรม	23
ภาคผนวก	28
ภาคผนวก ก	29
ภาคผนวก ข	36
ประวัติผู้เขียน	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	ความหมายของรหัสข้อมูลโดยย่อที่ใช้ในการวิเคราะห์ในการศึกษาปัญหาพิเศษนี้	15
4.1	ค่ากิจกรรมของน้ำของตัวอย่างเมล็ดมะขามที่ดีที่สุด	21
ข.1	ค่าสีเฉลี่ยของเมล็ดมะขามหวาน	36
ข.2	ค่าสีเฉลี่ยของเมล็ดมะขามเปรี้ยว	37
ข.3	ค่าความแข็งเฉลี่ยของเมล็ดมะขามหวาน	38
ข.4	ค่าความแข็งเฉลี่ยของเมล็ดมะขามเปรี้ยว	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	การพองตัวของเม็ดแป้ง	4
2.2	การเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งขณะให้ความร้อน	5
2.3	DSC thermogram ของแป้ง	6
2.4	การคืนตัวของแป้ง	7
2.5	การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเมื่อให้ความร้อน	8
2.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ปริมาณความชื้นและค่า Water activity	10
2.7	แสดงประเภทของอาหารโดยอาศัยค่า pH และค่า Water Activity	10
2.8	แสดงระดับค่า Water Activity ที่จำกัดการเจริญของเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ	11
2.9	Munsell Color System แสดงค่า Chroma, Lightness และ Hue	12
4.1	แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่าสี (ความบริสุทธิ์) ที่เวลาคั่วต่างกันของตัวอย่างเมล็ดมะขามเปรี้ยว	16
4.2	แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่าสี (ความบริสุทธิ์) ที่เวลาคั่วต่างกันของตัวอย่างเมล็ดมะขามหวาน	17
4.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ใช้ให้การกด (กรัม) กับตัวอย่างเมล็ดมะขามหวานที่เวลาคั่วเดียวกัน	18
4.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ใช้ให้การกด (กรัม) กับตัวอย่างเมล็ดมะขามเปรี้ยวที่เวลาคั่วเดียวกัน	18
4.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ใช้ในการกด (กรัม) กับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบ (องศาเซลเซียส) ของเมล็ดมะขามที่มีคุณภาพที่ดีที่สุด	19
4.6	แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่าสี (ความบริสุทธิ์) ของเมล็ดมะขามหวานและเมล็ดมะขามเปรี้ยว เมื่อเวลาที่ใช้ในการอบเป็น 30, 45 และ 60 นาที	20
ก.1	เครื่องวัดสี Minolta Chroma Meter CR-400 color meter	29
ก.2	กล่องใส่ตลับสำหรับใส่ตัวอย่าง	30
ก.3	ภาพแสดงการวางหัววัดให้ปิดรูกล่องใส่ตลับสำหรับใส่ตัวอย่าง	31
ก.4	ตัวอย่างค่าที่ได้จากการวัดสี	31
ก.5	เครื่องวัดเนื้อสัมผัส พร้อมฐานเรียบ ตัวล็อค ข้อต่อยาว และหัววัด P/2	32
ก.6	Project ที่ Load มาใช้กับตัวอย่าง	33
ก.7	การตั้งค่า T.A. Settings	33
ก.8	เครื่องวัดค่ากิจกรรมของน้ำ (Water Activity)	34
ก.9	ตัวอย่างเมล็ดมะขามที่ใส่ลงในตลับใส่ตัวอย่าง	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เมล็ดมะขามเป็นของเหลือทิ้งจากครัวเรือนและโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องใช้มะขามเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตประมาณ 200 ตันต่อปี จึงเห็นได้ว่าในแต่ละปีมีเมล็ดมะขามที่เหลือทิ้งในปริมาณมากพอสมควร แต่โรงงานสามารถส่งออกเมล็ดมะขามได้ราวๆ 60 ตันต่อปี ทำให้เกิดมลภาวะในด้านสิ่งแวดล้อม เมล็ดมะขามประกอบด้วยเปลือกของเมล็ดที่มีสีน้ำตาลแดงในปริมาณ 30-35% และเนื้อในสีขาวมีปริมาณ 60-65% ส่วนประกอบทั้งสองส่วนนี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน ผู้คนที่อาศัยอยู่ในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะนิยมนำเมล็ดมะขามมารับประทาน โดยนำเมล็ดมะขามไปคั่ว แต่การคั่วจะทำให้เมล็ดมะขามมีความแข็งซึ่งยากต่อการรับประทาน เนื่องจากเมล็ดมะขามเกิดการรีโทรกราเดชัน หรือแม้กระทั่งการนำเมล็ดมะขามไปแช่น้ำ เพื่อให้เมล็ดมะขามนิ่มลง ให้สามารถรับประทานได้ ง่าย แต่เมื่อเวลาผ่านไปเมล็ดมะขามก็จะเกิดการรีโทรกราเดชันแล้วกลับไปแข็งดังเดิม (ภัคสิริ และไมตรี, 2554)

การเจลาติไนชัน เป็นทางเลือกหนึ่งในการที่ทำให้แป้งไม่เกิดการแข็งตัว สามารถรับประทานได้ง่าย การเกิดเจลาติไนเซชันจะเกิดขึ้นเมื่อแป้งได้รับความร้อน โดยมีน้ำเป็นตัวกลาง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของเม็ดแป้ง นั่นเป็นผลมาจากความร้อนได้ทำลายพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุลของสตาร์ชในเม็ดแป้ง สายพอลิเมอร์ของอะไมโลสและอะไมโลเพกทินที่อัดแน่นอยู่เม็ดแป้งจะคลายตัวและรวมกับน้ำที่ล้อมรอบ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของลักษณะปรากฏ เม็ดแป้งพองตัวและความหนืดของแป้งเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง (พิมพ์เพ็ญ และคณะ, 2562) การนึ่งเป็นกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลที่สามารถทำการเปลี่ยนแปลงรูปแบบผลึกของแป้งให้อยู่ในรูปแบบที่ไม่แน่นอน เนื่องจากการขยายตัวที่คืนรูปไม่ได้และทำให้แป้งเกิดการรวมตัวกัน การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้ทำได้โดยการแช่ในน้ำร้อนและนึ่งด้วยความดันต่ำ ระหว่างการเกิดเจลาติไนเซชัน เม็ดแป้งจะทำการปิดรอยแตกที่อยู่ภายในของเอ็นโดสเปิร์ม นำไปสู่การรวมตัวของเมล็ดข้าว ทำให้สามารถทราบได้ว่าการเกิดเจลาติไนเซชันนี้ได้รับผลกระทบจากการได้รับความร้อนอย่างมีนัยสำคัญจากการรวมตัวกันในระหว่างการแช่และการนึ่ง อุณหภูมิที่สตาร์ชเริ่มเกิดการเจลาติไนเซชัน อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับชนิดพืช เม็ดแป้งจะยังคงมีสภาพอยู่ได้โดยไม่แตกออก เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นและมีความหนืดสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ความหนืดจะเพิ่มสูงขึ้นจนกระทั่งถึงจุดที่เม็ดแป้งเกิดการพองตัวสูงสุด และให้หนืดสูงสุด ของเหลือทิ้งอย่างเมล็ดมะขามจะสามารถนำมาเพิ่มมูลค่าได้อย่างมากหากนำมาใช้ถูกวิธี การเจลาติไนเซชันจะเป็นการช่วยปรับปรุงคุณภาพทางลักษณะสัมผัสของเมล็ดมะขามให้มีความนิ่มลง แต่ว่าการเปลี่ยนแปลงนี้จะไม่ได้คงอยู่เสมอไปหากทำด้วยวิธีการและอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่มีความเหมาะสม เนื่องจากอุณหภูมิและเวลามีกระทบอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพทางกายภาพของเมล็ด

การศึกษานี้จึงทำการศึกษาเกี่ยวกับการเจลาติไนเซชันและรีโทรกราเดชันของเมล็ดมะขาม เพื่อที่จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศึกษาถึงผลกระทบของอุณหภูมิ และเวลาที่ส่งผลต่อการเกิดเจลาติไนเซชัน รวมถึงการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการรีโทรกราเดชันของเมล็ดมะขาม เพื่อการปรับปรุงคุณภาพทางกายภาพทั้งด้านเนื้อสัมผัสและสีของเมล็ดมะขาม ให้สามารถรับประทานได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาสภาวะเหมาะสมในการเกิดเจลาติไนเซชันและคุณสมบัติของเมล็ดมะขามคั่วภายหลังการเจลาติไนเซชัน

1.2.2 เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการรีโทรกราเดชันของเมล็ดมะขามคั่ว

1.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา

1.3.1 ทราบถึงผลของการเจลาติไนเซชันและรีโทรกราเดชันของเมล็ดมะขามคั่ว

1.3.2 ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดเจลาติไนเซชันและคุณสมบัติของเมล็ดมะขามคั่วภายหลังการเจลาติไนเซชัน

1.3.3 ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อการรีโทรกราเดชันของเมล็ดมะขามคั่ว

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

ศึกษาวิธีการทำให้เกิดเจลาติไนเซชันที่เหมาะสม ที่มาจากการแช่และนึ่ง โดยประกอบด้วยตัวแปรต้น ตัวแปรตามและตัวแปรควบคุม

1.4.1 ตัวแปรต้น คือ ตัวอย่างที่ใช้ ได้แก่ เมล็ดมะขาม

1.4.2 ตัวแปรตาม คือ ค่าสี ความแข็ง ระดับการเกิดเจลาติไนเซชันและรีโทรกราเดชัน

1.4.3 ตัวแปรควบคุม คือ เวลาที่ใช้ในการคั่วที่ 15 20 และ 25 นาที ด้วยไฟอ่อน อุณหภูมิในการแช่ 25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในการนึ่ง 96 องศาเซลเซียส เวลาในการแช่ 60 120 และ 180 นาที และเวลาในการนึ่ง 30 60 และ 120 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เมล็ดมะขาม

เมล็ดมะขามประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ เปลือกและเนื้อในเมล็ด ส่วนเปลือกหุ้มเมล็ดมะขามประกอบไปด้วยสารกลุ่มโพรแอนโธไซยานิดินส์ จำพวกแทนนินซึ่งทำให้มีรสฝาด พบว่ามีสรรพคุณพื้นบ้านในการแก้ท้องเสีย ท้องร่วง ใช้ชะล้างบาดแผล พอกรักษาแผล และสมานแผล ในด้าน งานวิจัยพบว่าเปลือกเมล็ดมะขามมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่สูงมาก เมื่อเทียบกับผลไม้และสมุนไพรหลายชนิด จึงทำให้เปลือกเมล็ดมะขามมีฤทธิ์ทางชีวภาพที่ดี เช่น ป้องกันเอ็นไซม์ในเม็ดเลือดแดงไม่ให้ถูก ทำลายโดยอนุมูลอิสระ ป้องกันความเสียหายของลิโปโปรตีนโดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน เป็นต้น (สำรี และคณะ, 2522)

อย่างไรก็ตามการรับประทานเปลือกหุ้มเมล็ดมะขามจะต้องรับประทานในปริมาณที่เหมาะสม เนื่องจากการ ปริมาณแทนนินที่มีสูงจะรบกวนการใช้โปรตีน โดยจับกับเอ็นไซม์ในระบบย่อยอาหาร ยับยั้งการดูดซึมเหล็ก ยับยั้งการเจริญเติบโตในสัตว์ทดลอง (สำรี และคณะ, 2522) ดังนั้นแนวทางการนำเปลือกเมล็ดมะขามมาใช้ควรนำมาใช้ภายนอก เช่น การทำครีมทาผิว หรือช่วยในการพอกสมานแผลภายนอก จะทำให้ได้ประโยชน์การฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเปลือกเมล็ดมะขาม จากการวิจัยพบว่าสารสกัดจากเปลือกหุ้มเมล็ดมะขามมีฤทธิ์ในการยับยั้งการสร้างเมลานิน จึงมักใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องสำอางทำให้ผิวขาวขึ้น นอกจากนี้แทนนินในเปลือกหุ้มเมล็ดมะขามเมื่อนำไปผสมกับสารส้มและยางสนสามารถใช้ย้อมผ้าให้เป็นสีกากีได้

เนื้อในเมล็ดมะขามประกอบไปด้วยแป้งพวกไซโลกลูแคน มีสรรพคุณทางยาพื้นบ้านในการแก้ร้อนแก้พิษ สุรา ขับเสมหะ แก้ไข้ ใช้เป็นยาระบายและแก้อาการผิดปกติที่เกี่ยวกับน้ำดี (สำรี และคณะ, 2522) ในทางอุตสาหกรรม เนื้อในเมล็ดมะขามถูกนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์และอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องสำอาง โดยมีฤทธิ์ในการผสานเซลล์และสมานแผลได้ ในด้านการวิจัยพบว่าสารเมือกและเพกตินในเนื้อเมล็ดมะขามมีฤทธิ์ลดน้ำตาลในเลือดหนูขาวที่ถูกเหนี่ยวนำให้เป็นเบาหวาน การทดลองในหนูขาวที่รับประทานเนื้อเมล็ดมะขามไม่พบการเปลี่ยนแปลงของพฤติกรรม อัตราการตายน้ำหนัก การกินอาหาร และผลทางชีวเคมีในปัสสาวะและเลือดเป็นปกติ ไม่พบความเป็นพิษ

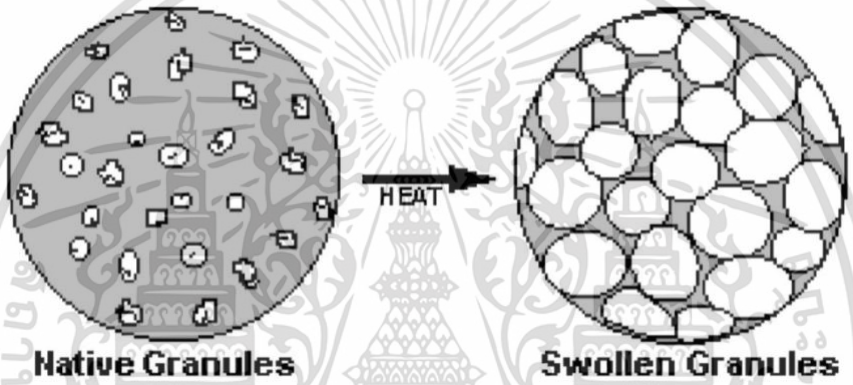
2.2 สมบัติของแป้ง

2.2.1 การพองตัวและการละลาย (Swelling and solubility)

แป้งไม่ละลายในน้ำเย็นแต่จะทำการดูดซึมน้ำได้ประมาณ 25-30% และพองตัวน้อยจนไม่สามารถสังเกตเห็นได้ (พิมพ์เพ็ญ และคณะ, 2562) ทั้งนี้เนื่องจากการจัดเรียงตัวกันระหว่างโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน (intermixed) ภายในเม็ดแป้ง ในส่วน crystallite โมเลกุลอยู่กันอย่างหนาแน่นและเป็นระเบียบ ช่วยป้องกันการกระจายตัวและทำให้ไม่ละลายในน้ำเย็น ส่วนของ amorphous ซึ่งเป็นส่วนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกาะเกี่ยวกันอย่างหลวมๆ ไม่เป็นระเบียบและมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระมาก สามารถเกิดปฏิกิริยาการรับน้ำ (hydration) ได้บ้างแม้ในน้ำเย็น เมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งจนมีอุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 60 องศาเซลเซียส ขึ้นไป (ดุษฎี และคณะ, 2561) ส่วน amorphous จับกับน้ำได้มากขึ้นและการจับกันของโมเลกุลในส่วน crystallite เริ่มคลายความหนาแน่นลง โมเลกุลส่วนที่เริ่มคลายตัวออกจากกันจับกับน้ำทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้น (รูปที่ 2.1) โมเลกุลในส่วน crystallite ที่เหลืออยู่เกิดสภาพคล้ายร่างแหเรียกว่า micelle network ซึ่งยึดเหนี่ยวกันไว้ทำให้เม็ดแป้งยังคงสภาพอยู่ได้ แต่อาจมีโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินซึ่งมีขนาดเล็กและอิสระกระจายตัวออกจากเม็ดแป้ง เมื่อทำให้อุณหภูมิน้ำแป้งสูงขึ้นไปอีก ส่วน crystallite ที่เหลืออยู่นี้จะคลายตัวออกทำให้เม็ดแป้งพองมากขึ้นและโมเลกุลแป้งอยู่ในสภาพสารละลายมากขึ้น



ภาพที่ 2.1 การพองตัวของเม็ดแป้ง
ที่มา: ดุษฎีและคณะ (2561)

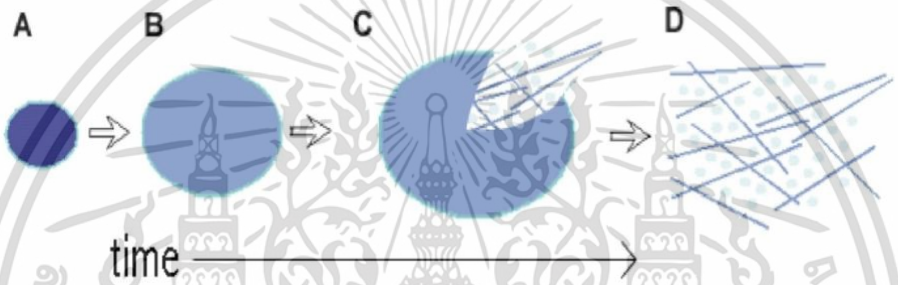
2.2.2 การเจลาติไนเซชัน (Gelatinization)

2.2.2.1 กลไกการเกิดเจลาติไนเซชัน

เมื่อนำแป้งใสในน้ำเย็น เม็ดแป้งดูดซับน้ำได้ในปริมาณจำกัดปริมาณหนึ่ง แต่จะยังไม่พองตัวหรือพองตัวได้จำกัดมากและสังเกตได้ยาก (ดุษฎี และคณะ, 2561) สังเกตการพองตัวของเม็ดแป้งสาลีในน้ำที่อุณหภูมิห้องพบว่าแป้งที่พองตัวมีเส้นผ่าศูนย์กลางเพิ่มขึ้น 10% และปรากฏการณ์นี้สามารถผันกลับได้ (reversible) โดยเมื่อนำไปอบแห้งก็จะได้แป้งที่มีลักษณะและคุณสมบัติดังเดิม เนื่องจากโมเลกุลอะไมโลสและอะไมโลเพกตินในส่วนที่เป็น crystallite จับตัวกันอย่างหนาแน่นแข็งแรงจึงไม่ละลายในน้ำเย็น แต่น้ำอาจซึมเข้าไปในส่วนของเม็ดแป้งซึ่งไม่เป็นระเบียบและมีกลุ่มไฮดรอกซิลอิสระได้บ้าง แต่เมื่อให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิหนึ่งประมาณ 60-75 องศาเซลเซียส หรือใช้สารเคมี เช่น ให้ความร้อน 60 องศาเซลเซียสแก่แป้งสาลีจะมีผลทำให้การจับยึดกันระหว่างโมเลกุลของแป้งในส่วน crystallite ลดลง เกิดปฏิกิริยาการรับน้ำและการพองตัวของเม็ดแป้งซึ่งไม่สามารถผันกลับได้ (Irreversible) และทำให้สารละลายแป้งมีความหนืดและความใสเพิ่มขึ้น กระบวนการนี้เรียกว่า “เจลาติไนเซชัน” ซึ่งเมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่สำคัญขึ้นคือ มีการพองตัวของเม็ดแป้งและเครื่องหมายกากบาท (Maltese cross) ภายในเม็ดแป้งหายไป อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในลักษณะนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของแป้ง เนื่องจากแป้งแต่ละชนิดมีโครงสร้างส่วน crystallite ที่แตกต่างกัน ทั้งระดับการจับกัน (Degree of association) และความสม่ำเสมอของการเกิดเจลาติไนเซชันไม่พร้อมกันทุกเม็ด แม้แต่ในแป้งชนิดเดียวกันจากแหล่งเดียวกันก็ตาม อาจมีช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชันที่ห่างกันถึง 8-10 องศาเซลเซียส โดยทั่วไปเม็ดแป้งขนาดใหญ่จะเกิดเจลาติไนเซชันได้ก่อนขนาดเล็ก (ดุษฎี และคณะ, 2561) แต่เมื่อใช้ SEM ส่องดูโครงสร้างของเม็ดแป้งข้าวบาร์เลย์ซึ่งมีเม็ดแป้งขนาดเล็กอยู่ประมาณ 30% พบว่าการสูญเสียเครื่องหมายกากบาทจะเกิดขึ้นได้พร้อม ๆ กัน แป้งอาจเกิดการเจลาติไนซ์ (Gelatinized) ได้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยการละลายในสารละลาย

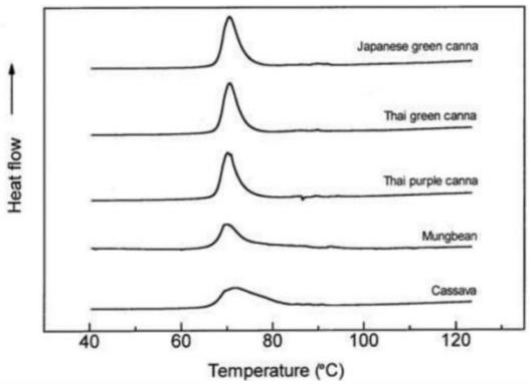


ภาพที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งขณะให้ความร้อน
ที่มา: ดุษฎีและคณะ (2561)

2.2.2.2 การตรวจสอบช่วงอุณหภูมิในการเจลาติไนเซชันของแป้ง

วิธีที่ง่ายและแม่นยำ คือ วัดอุณหภูมิที่เม็ดแป้งสูญเสียเครื่องหมายกากบาทเมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ตรวจสอบโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบ Kofler ซึ่งเป็นกล้องจุลทรรศน์ที่มีระบบการให้ความร้อนแก่ตัวอย่างน้ำแป้งบนแผ่นสไลด์อย่างต่อเนื่องในอัตรา 2 องศาเซลเซียสต่อนาที เมื่อมองผ่านแสงโพลาไรซ์ พบว่าจุดเริ่มต้นของการเปลี่ยนแปลงที่เห็นคือ เม็ดแป้งประมาณ 2% เริ่มพองตัวและสูญเสียเครื่องหมายกากบาท ที่จุดนี้เป็นจุดเริ่มต้นของการเกิดเจลาติไนเซชัน (Initial of gelatinization) เมื่อเม็ดแป้งในตัวอย่างสูญเสียเครื่องหมายกากบาทไป 50% จะเรียกเป็นจุดกลางของการเจลาติไนเซชัน (Midpoint of gelatinization) และเมื่อเม็ดแป้งในตัวอย่างสูญเสียเครื่องหมายไปประมาณ 98% จะเรียกเป็นจุดสุดท้ายของการเจลาติไนเซชัน (Final of gelatinization หรือ Completion point) (ดุษฎี และคณะ, 2561) ดังนั้นส่วนใหญ่มักแสดงช่วงอุณหภูมิเจลาติไนเซชันของแป้งเป็นตัวเลขชุด แต่ถ้าระบุเป็นอุณหภูมิเดียวมักเป็นจุดสุดท้ายของเจลาติไนเซชันหรือที่เรียกกันว่า Birefringence end Point Temperature (BEPT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.3 DSC thermogram ของแป้ง
ที่มา: ดุษฎีและคณะ (2561)

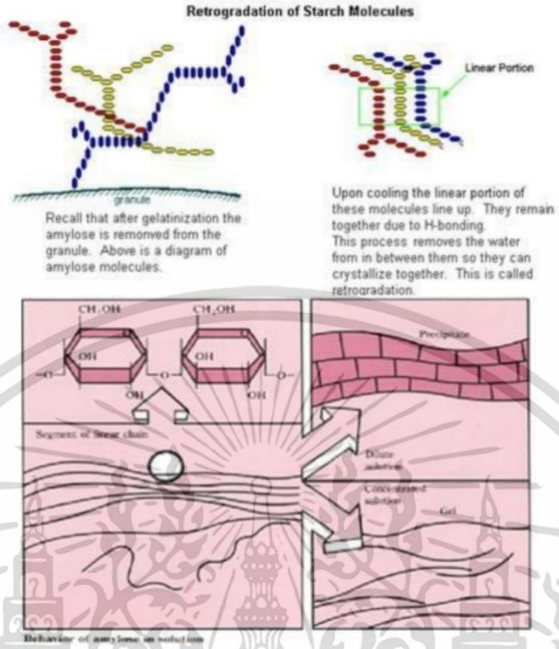
นอกจากการใช้การสังเกตการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง Birefringence ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แล้ว ยังสามารถตรวจสอบอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชันโดยการใช้เครื่องมือที่วัด และบันทึกปริมาณความร้อนที่เปลี่ยน แปลงระหว่างกระบวนการ เช่น เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) ซึ่งใช้ติดตามการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพหรือทางเคมีของวัสดุในรูปฟังก์ชันของปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิ ปกติโพลิเมอร์ต่างๆในรูปผลึกและอสัณฐานจะเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะได้เมื่อได้รับความร้อน แป้งก็เช่นเดียวกันในสภาพที่มีน้ำน้อย เมื่อให้ความร้อนแป้งจะมีอุณหภูมิหลอมละลาย (Tm) ที่สูงมาก กล่าวคือในช่วงของ 160 ถึง 200 องศาเซลเซียส แต่เมื่อเพิ่มค่ากิจกรรมของน้ำมากขึ้น อุณหภูมิของการหลอมละลายก็จะลดลง เมื่อค่ากิจกรรมของน้ำมีประมาณ 70% แป้งจะเกิดเจลาติไนเซชัน โดยทั่วไปจะถือว่าอุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีสูงสุด (Peak temperature) คืออุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชัน สำหรับการตรวจสอบการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งโดยใช้เครื่อง DSC สามารถทำได้โดยการให้ความร้อนแก่ตัวอย่างแป้งกับน้ำในอัตรา 30 ต่อ 70 จนถึงอุณหภูมิที่คาดว่าจะเลยช่วงในการเกิดเจลาติไนเซชัน จะได้ thermogram (ภาพที่ 2.3) ซึ่งเป็นกราฟระหว่างการไหลของความร้อน (heat flow) และอุณหภูมิ พลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลาติไนเซชัน (DH, cal/g) ได้จากพื้นที่ใต้กราฟหารด้วยน้ำหนักแป้งตัวอย่าง

2.2.2.3 การคืนตัวของแป้งสุก (Retrogradation)

การคืนตัวของแป้งสุกเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำแป้งสุกที่ร้อนมีอุณหภูมิลดต่ำลง ขณะที่อุณหภูมิลดลง โมเลกุลอิสระของอะไมโลสซึ่งอยู่ใกล้กันจะเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันและจับตัวกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (ภาพที่ 2.4) ทำให้เกิดสภาพการจัดเรียงตัวของโมเลกุลขึ้นใหม่ โดยเปลี่ยนลักษณะการกระจายตัวของโมเลกุลมาเป็นส่วนที่เป็น crystallite ซึ่งสามารถตรวจสอบได้โดยใช้ X-ray diffraction (ดุษฎี และคณะ, 2561) ถ้าน้ำแป้งสุกมีความเข้มข้นต่ำการจัดเรียงตัวของโมเลกุลเหล่านี้จะทำให้เกิดลักษณะตะกอนขุ่นขาว แต่ถ้าน้ำแป้งสุกมีความเข้มข้นสูง เช่น แป้งข้าวโพดความเข้มข้น 7% โดยน้ำหนัก จำนวนโมเลกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มาจัดเรียงตัวกันใหม่มีมากและระหว่างเคลื่อนที่เข้ามาจับกันจะสามารถเก็บกักน้ำไว้ได้ ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น และในที่สุดเกิดลักษณะเจลที่อ่อนนุ่ม



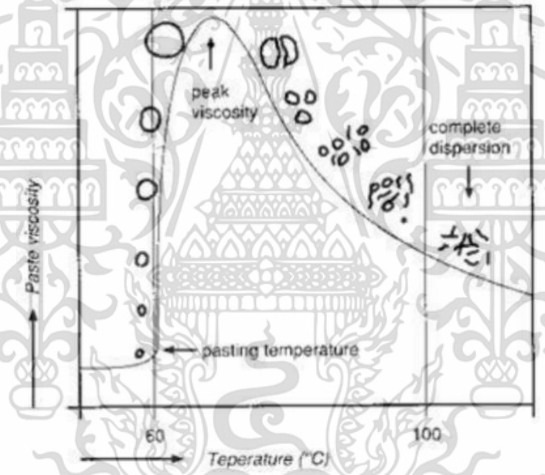
ภาพที่ 2.4 การคืนตัวของแป้ง
ที่มา: ดุษฎีและคณะ (2561)

การคืนตัวของน้ำแป้งโดยทั่วไปจะเกิดได้ดีเมื่อน้ำแป้งมีความเข้มข้นสูงและทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิต่ำ แป้งแต่ละชนิดมีอัตราการคืนตัวของน้ำแป้งสุกแตกต่างกัน โดยทั่วไปแป้งจากราก หัว มีอัตราการคืนตัวช้ากว่าแป้งจากธัญพืช ทั้งนี้เป็นเพราะแป้งจากราก/หัว เมื่อได้รับความร้อนก็จะพองตัวมากและเร็ว และเม็ดแป้งแตกง่าย ทำให้โมเลกุลแป้งทั้งหมดกระจายในน้ำแป้ง ยากที่โมเลกุลอะไมโลสจะมาจัดเรียงตัวกันได้ใหม่ แต่แป้งจากธัญพืช เมื่อได้รับความร้อนจะพองตัวน้อยกว่า เม็ดแป้งแตกน้อย โมเลกุลที่คลายตัวยังอยู่ใกล้ชิดกันจึงเคลื่อนที่จับกันใหม่ได้ง่าย อาจจะมีการจับตัวกันระหว่างเม็ดแป้งที่กำลังพองตัวซึ่งอยู่ใกล้กัน หรือระหว่างชิ้นส่วนของเม็ดแป้งหรือโมเลกุลอะไมโลสอิสระที่หลุดออกมา (ดุษฎี และคณะ, 2561) ทำให้เกิดสภาพ matrix ซึ่งยึดอยู่ด้วยกันด้วยพันธะไฮโดรเจนและสามารถเก็บกักน้ำไว้ได้ การที่มีอะไมโลเพกตินอยู่ด้วยทำให้อัตราการคืนตัวของน้ำแป้งสุกช้าลง เนื่องจากโมเลกุลของอะไมโลเพกตินมีกิ่งก้านสาขาจึงทำให้เกะกะและยากที่โมเลกุลจะเคลื่อนที่เข้ามาจับกันใหม่ได้ จึงพบว่าแป้งประเภท waxy มีอัตราการคืนตัวของน้ำแป้งสุกน้อยกว่าแป้งชนิดอื่น ขนาดโมเลกุลของอะไมโลสในแป้งแต่ละชนิดมีผลในการเกิดการคืนตัวของน้ำแป้งสุกด้วย โมเลกุลอะไมโลสที่มีขนาดพอเหมาะในการเคลื่อนที่มาจับกัน คือ ช่วง 100-200 หน่วยกลูโคส ถ้าโมเลกุลใหญ่และถ้าโมเลกุลสั้นเกินไปจะเคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลา (Brownian movement) ทำให้จับกันได้ยากเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.4 ความหนืด

เป็นคุณสมบัติที่สำคัญและเป็นประโยชน์มากที่สุดของแป้ง เมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวและมีความหนืดมากขึ้น (ภาพที่ 2.5) พฤติกรรมความหนืดเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวและแตกต่างกันตามชนิดและสายพันธุ์ของแป้ง และเมื่อเม็ดแป้งซึ่งแขวนลอยในน้ำได้รับความร้อนจนถึงระดับหนึ่งจะพองตัวได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นเร็วมาก อุณหภูมิที่ความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วนี้เรียกว่า pasting temperature ความหนืดจะเพิ่มขึ้นจนถึงความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) จากนั้นอาจลดลงหรือคงที่ขึ้นกับชนิดของแป้ง (ดุษฎี และคณะ, 2561) การที่แป้งมีความหนืดสูงสุดเนื่องจากเมื่อเม็ดแป้งมีการพองตัวมากขึ้น และมีชิ้นส่วนของเม็ดแป้ง และหรือโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินบางส่วนที่แตกสลายออกมาอยู่ในสารละลาย เมื่อส่วนที่แตกสลายและละลายออกมามีมากกว่าการพองตัวที่เพิ่มขึ้นความหนืดจะเริ่มลดลง ซึ่งจะเห็นได้ชัดเมื่ออยู่ในช่วงการหุงต้มที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ดังนั้นค่าความหนืดของน้ำแป้งสุกจะเป็นผลมาจากการพองตัวของเม็ดแป้ง และการแตกหักของเม็ดแป้งร่วมกับการละลายออกมาของโมเลกุลแป้ง



ภาพที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเมื่อให้ความร้อน
ที่มา: ดุษฎีและคณะ (2561)

เมื่อลดอุณหภูมิลง โมเลกุลอิสระที่กระจัดกระจายออกมา (โดยเฉพาะส่วนของอะไมโลส) ถ้ามีขนาดโมเลกุลที่เหมาะสมคือ ไม่สั้นและยาวเกินไปก็จะสามารถเคลื่อนที่เข้ามาจับกัน และกักน้ำไว้ได้ทำให้ความหนืดสูงขึ้นอีก ความหนืดที่กลับสูงขึ้นมาอีกนี้ เรียกว่า setback และปรากฏการณ์นี้ก็คือการคืนตัวของแป้ง (Retrogradation) ซึ่งปัจจัยที่จะมีผลต่อความหนืดได้แก่ ชนิดของแป้ง ขนาดอนุภาค สัดส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพกติน อุณหภูมิ shear rate ฯลฯ แต่ที่มีผลมากที่สุดได้แก่ชนิดของแป้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ค่ากิจกรรมของน้ำ (Water Activity)

ค่า Water Activity เป็นปัจจัยที่สำคัญในการควบคุมและป้องกันการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหาร จึงมีผลโดยตรงต่อการกำหนดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากค่า Water Activity เป็นปัจจัยที่ชี้ระดับค่ากิจกรรมของน้ำต่ำสุดในอาหารที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ตลอดจนใช้ในการควบคุมและป้องกันการเสื่อมเสียของอาหารที่เกิดขึ้นจากเชื้อจุลินทรีย์ได้ เพราะเชื้อจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้ภายใต้ค่า Water Activity ที่จำกัด โดยจะทำให้อาหารมีค่า Water Activity ต่ำกว่าที่เชื้อจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้ ตัวอย่างเช่น แบคทีเรียเกือบทุกชนิดไม่สามารถเจริญเติบโตได้ที่ค่า Water Activity ต่ำกว่า 0.9 และราส่วนใหญ่จะไม่เจริญเติบโตที่ค่า Water Activity ต่ำกว่า 0.7 (รุ่งนภา และไพศาล, 2545)

2.3.1 ความแตกต่างของความชื้นและ Water Activity

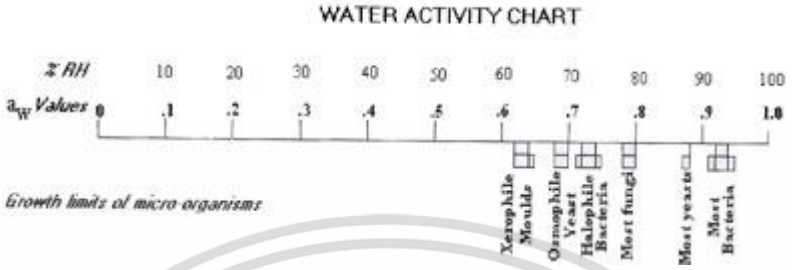
ปริมาณความชื้นเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมเสียของอาหาร ดังนั้นวิธีการดังเดิมที่เราใช้ในการถนอมอาหาร ไม่ว่าจะเป็นวิธีการทำให้ข้น การทำแห้ง ซึ่งวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีที่ทำให้ปริมาณความชื้นในอาหารลดลง การเชื่อมโดยการเติมน้ำตาล หรือการมักดองโดยการเติมเกลือลงไปในอาหาร ความจริงแล้ว วิธีการดังกล่าวทั้งหมดเป็นวิธีการที่อาศัยหลักของการลดค่า Water Activity แต่คนส่วนมากมักเข้าใจว่าเป็นการลดความชื้น สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากค่ากิจกรรมของน้ำที่มีอยู่ในอาหารทั้งหมดประกอบด้วย 2 ส่วนได้แก่ ส่วนของน้ำที่เกาะติดกับอาหาร หรือถูกใช้ไปในการสร้างพันธะต่าง ๆ เช่น พันธะไอออนิก พันธะไฮโดรเจน และอีกส่วนคือ ค่ากิจกรรมของน้ำอิสระที่ไม่ได้ถูกนำไปใช้ในการเกิดพันธะใด ๆ และจะอยู่ภายในช่องว่างของอาหาร ปริมาณความชื้น (Moisture Content) เป็นค่ากิจกรรมของน้ำทั้งหมดที่มีอยู่ในอาหาร คือ รวมทั้งสองส่วนดังกล่าว (รุ่งนภา และไมตรี, 2545) ในขณะที่ Water Activity เป็นโมเลกุลของน้ำที่พร้อมจะเปลี่ยนสภาวะจากของเหลวไปเป็นไอ ซึ่งเป็นส่วนของน้ำอิสระเท่านั้น ซึ่งในการทำให้ข้นหรือการทำแห้งเป็นการระเหยน้ำอิสระออกไป ส่วนการเติมเกลือ น้ำตาล หรือส่วนผสม (Ingredient) อื่น ๆ ลงไป โมเลกุลของสารเหล่านั้นจะไปจับพันธะกับน้ำอิสระทำให้ค่า Water Activity ลดลงไปด้วย

2.3.2 ความสัมพันธ์ของปริมาณความชื้นและค่า Water Activity

ระหว่างความชื้น (Moisture Content) และค่า Water Activity มีความสัมพันธ์กันแต่เป็นเรื่องที่ซับซ้อน เราสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น และค่า Water Activity ของผลิตภัณฑ์หนึ่ง ๆ ได้จากการทดลองวัดค่าทั้งสองของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด ณ อุณหภูมิที่คงที่ค่าหนึ่งเท่านั้น แล้วบันทึกค่าทั้งสองเปรียบเทียบกันในรูปกราฟ เรียกกราฟความสัมพันธ์ที่ได้ว่า Moisture Sorption Isotherms ดังภาพที่ 2.6 ซึ่งวิธีการหากราฟความสัมพันธ์สามารถทำได้ง่าย ๆ โดยนำอาหารไปใส่ในภาชนะที่ทราบค่าความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งควบคุมความชื้นสัมพัทธ์โดยใช้สารละลายเกลืออิ่มตัวชนิดต่าง ๆ ใส่ลงไปในภาชนะแต่ละใบ (รุ่งนภา และไมตรี, 2545) ภาชนะที่ใช้ต้องสามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ได้เป็นอย่างดี เพื่อให้มีความชื้นสัมพัทธ์ ณ จุดต่าง ๆ จากนั้น ตั้งอาหารทิ้งไว้จนเข้าสู่สภาวะสมดุล ซึ่ง ณ จุดสมดุลนี้จะทราบค่า Water Activity จากนั้นวัดค่าปริมาณความชื้น (Moisture Content) แล้วนำค่าทั้งสองไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ จากกราฟจะพบว่าเมื่อค่า Moisture Content เพิ่มขึ้น ค่า Water Activity มัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

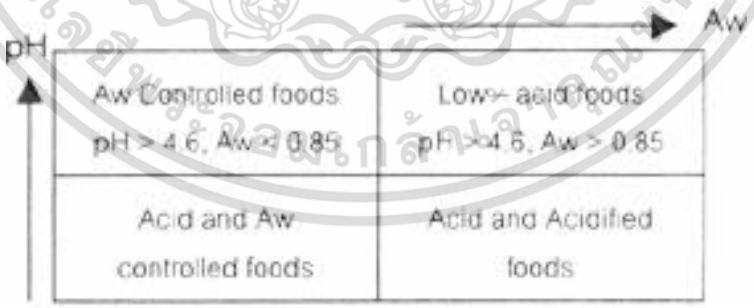
เพิ่มขึ้นด้วย แต่เป็นการเพิ่มแบบไม่เป็นเส้นตรง นอกจากนี้กราฟ Moisture Sorption Isotherms ของผลิตภัณฑ์คนละชนิดจะมีลักษณะที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความดันไอของโมเลกุลของน้ำในช่องว่างเหนือผลิตภัณฑ์ และพลังงานของการจับพันธะของน้ำในผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด



ภาพที่ 2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ปริมาณความชื้นและค่า Water activity
ที่มา : วารสารจาร์พา ปีที่ 9 ฉบับที่ 68 เดือนกันยายน/ตุลาคม (2545)

2.3.3 ค่า Water Activity กับข้อกำหนดและมาตรฐานอาหาร

จากความสัมพันธ์ระหว่างค่า Water Activity กับการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุให้อาหารเกิดการเน่าเสีย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างสารพิษ ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภคได้ หลายประเทศจึงมีการออกกฎหมายที่ใช้บังคับและควบคุมคุณภาพอาหารที่ผลิตหรือขายในประเทศ เช่น Food and Drug Administration (FDA) ในสหรัฐอเมริกาใช้ค่า Water Activity เป็นดัชนีของความปลอดภัยในการแบ่งประเภทอาหาร โดยอาหารจะถูกแบ่งเป็น 4 ประเภท อาศัยค่า pH และค่า Water Activity ดังภาพที่ 2.7



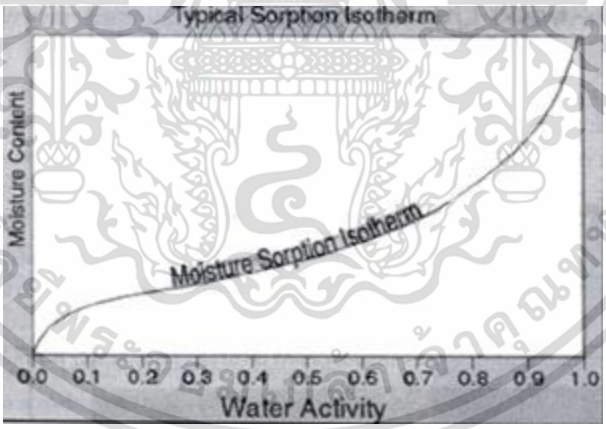
รูปที่ 2.7 แสดงประเภทของอาหารโดยอาศัยค่า pH และค่า Water Activity
ที่มา : วารสารจาร์พา ปีที่ 9 ฉบับที่ 68 เดือนกันยายน/ตุลาคม (2545)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 Water Activity กับอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร

ในระหว่างการแปรรูป การขนส่ง และการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร อาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะและคุณภาพ ซึ่งรวมถึงสี กลิ่นรส รูปร่าง ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร และคุณค่าทางโภชนาการ ผลจากกลไกเหล่านี้อาจก่อให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหาร ทำให้คุณภาพของอาหารเปลี่ยนไปอยู่ในระดับที่ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคหรืออาจเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคได้ และทำให้อาหารมีอายุการเก็บลดน้อยลง ดังนั้นผู้ผลิตอาหารจึงพยายามศึกษาและหาสาเหตุที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียกับผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด เพื่อทำการออกแบบและควบคุมกระบวนการผลิต เช่น การควบคุมอุณหภูมิ เวลา และความเร็วในกระบวนการผลิตให้มีมาตรฐาน สามารถควบคุมป้องกันการเสื่อมเสียของอาหาร และสามารถประเมินอายุการเก็บของอาหารให้ได้ตามระยะเวลาที่กำหนด

การเสื่อมเสียของอาหารโดยส่วนใหญ่เกิดจากการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ไม่ว่าจะเป็นแบคทีเรีย ยีสต์ และรา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและส่วนประกอบที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละชนิดที่แตกต่างกัน และเนื่องจากค่า Water Activity เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในอาหาร ดังนั้นวิธีการควบคุมค่า Water Activity จึงเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร โดยเราจะควบคุมให้อาหารมีระดับค่า Water Activity ต่ำกว่าค่าที่เชื้อจุลินทรีย์ชนิดนั้น ๆ จะเจริญเติบโตได้ สิ่งสำคัญของการป้องกันการเสื่อมเสียเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์คือการป้องกันการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างสารพิษได้



ภาพที่ 2.8 แสดงระดับค่า Water Activity ที่จำกัดการเจริญของเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ
ที่มา : วารสารจาร์พา ปีที่ 9 ฉบับที่ 68 เดือนกันยายน/ตุลาคม (2545)

โดยทั่วไปแล้วอาหารที่มีค่า Water Activity สูงได้แก่ อาหารสด เช่น เนื้อสัตว์ ผัก และผลไม้ รวมทั้งอาหารบางชนิดที่ผ่านกระบวนการแปรรูป เช่น soft cheese และผลิตภัณฑ์เนื้อรมควัน มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิตู้เย็นควบคู่ไปด้วย (รุงนภา และไมตรี, 2545) แต่สำหรับกลุ่มอาหารบางชนิดสามารถเก็บที่อุณหภูมิห้องได้โดยการควบคุมระดับ Water Activity เรียกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Semi-moist food รวมทั้งเค้กผลไม้ พุดดิ้ง ช็อคโกแลต และคาราเมล เมื่ออาหารเหล่านี้เกิดการเสื่อมเสีย มักเป็นการเสียจากการเจริญของเชื้อราที่ผิวหน้า ซึ่งราโดยส่วนมากจะหยุดการเจริญที่ค่า Water Activity ต่ำกว่า 0.8 แต่จะมีเชื้อราบางชนิดสามารถเติบโตได้อย่างช้า ๆ ที่ค่า Water Activity ระดับนี้ ดังนั้นจึงควรควบคุมให้ค่า Water Activity ของผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ให้มีค่าไม่เกิน 0.75 แต่ยังคงไม่สามารถป้องกันการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้สมบูรณ์ เพราะยังคงมียีสต์และราบางชนิดสามารถเจริญได้ที่ค่า Water Activity ต่ำกว่านี้ ทั้งนี้อาจพิจารณาเป็นกรณีพิเศษ

นอกจากการควบคุมค่า Water Activity แล้ว สภาวะการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่ต่างกัน เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ยังส่งผลต่ออายุการเก็บด้วยเช่นกัน ตัวอย่างเช่น การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บของเค้ก กับค่า Water Activity เมื่อเก็บที่สภาวะอุณหภูมิต่างกัน ถ้าเค้กมีค่า Water Activity 0.81 จะสามารถป้องกันการเจริญของเชื้อราได้นาน 14 วัน เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 270 องศาเซลเซียส และ 24 วันเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส แต่ถ้าเค้กมีค่า Water Activity เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเป็น 0.85 จะพบว่าอายุการเก็บจะลดลงจากเดิมมากเหลือเพียง 8 วัน เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 270 องศาเซลเซียส และ 12 วันเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส (Ray Marsili: Food Product Design)

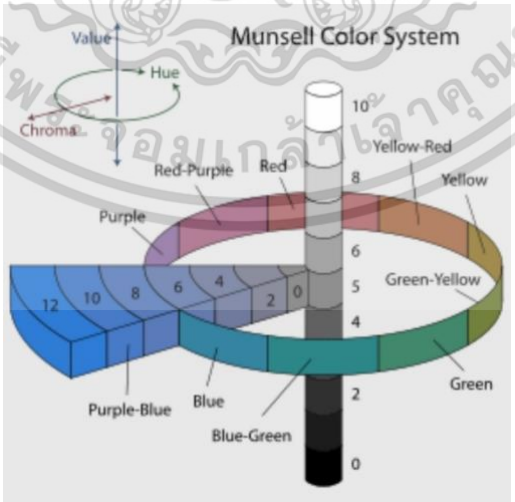
2.4 ค่าสี (Color value)

พิมพ์เพ็ญ และคณะ (2562) ค่าสี (Color value) เป็นค่าที่ได้มาจากระบบการวัดสีของมันเซล (Color measurement) ที่จะบอกค่าของสีเป็น 3 ตัวแปร ได้แก่

2.4.1 Hue ใช้เรียกสีที่แตกต่างกัน เช่น สีแดง น้ำเงิน เขียว เหลือง

2.4.2 Lightness คือช่วงสีขาว-สีดำของระดับสี เช่น สีดำมีค่าเท่ากับ 0 สีขาวมีค่าเท่ากับ 10

2.4.3 Chroma บอกถึงความบริสุทธิ์หรือความเข้มของสีเป็นระดับสีอ่อนแก่



ภาพที่ 2.9 Munsell Color System แสดงค่า Chroma, Lightness และ Hue

ที่มา: พิมพ์เพ็ญและคณะ (2562)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

เมล็ดมะขามหวาน (จ.เพชรบูรณ์)

เมล็ดมะขามเปรี้ยว (จ.เพชรบูรณ์)

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

กระทะ

ตะหลิว

หม้อต้ม

หม้อนึ่ง

ผ้าขาวบาง

ถาดอลูมิเนียม

ที่คีบสแตนเลส

ถุงพลาสติกแบบมีซิปล็อค

ถุงพลาสติกสำหรับเครื่องบรรจุสูญญากาศ

ตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray Dryer, Champ, Thailand)

เครื่องวัดสี (Minolta Chroma Meter CR-400 color meter, Minolta Co, Japan)

เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer, TA.XT plus, Scarsdale, USA)

เครื่องวัดค่ากิจกรรมของน้ำ (Water activity, Novasina IC-500;Aqualab 4TE, USA)

เครื่องรีดถุงสุญญากาศ (Vacuum Packing, YS-DQ-500S, Thailand)

เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (FCA1002, BONITA, Japan)

เตาแก๊ส

แก๊สหุงต้ม

3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมเมล็ดมะขาม

3.3.1.1 นำเมล็ดมะขามหวานและเมล็ดมะขามเปรี้ยวจาก ข้อ 3.1 มาล้างด้วยน้ำเปล่าให้สะอาด หลังจากนั้นพักไว้ให้แห้ง แล้วชั่งเมล็ดมะขามด้วยเครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง ชนิดละ 3 กิโลกรัม จำนวน 3 ชุด (รวมชนิดละ 9 กิโลกรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.2 วางกระทะบนเตาแก๊ส ตั้งไฟอ่อน นำเมล็ดมะขามหวานและเมล็ดมะขามเปรี้ยวจากข้อ 3.3.1.1 ไปคั่ว เป็นเวลา 15, 20 และ 25 นาที แล้วนำไปพักในถาดอลูมิเนียมรอให้เย็นจนสามารถจับได้

3.3.1.3 แกะเนื้อในของเมล็ดมะขามหวานและเมล็ดมะขามเปรี้ยวจากข้อ 3.3.1.2 เก็บเนื้อในและเปลือกใส่ถุงแยกกัน

3.3.1.4 นำเมล็ดมะขามหวานและเมล็ดมะขามเปรี้ยวที่แกะเสร็จแล้วจากข้อ 3.3.1.3 ไปชั่งน้ำหนักให้ได้ 20 กรัม ล้างให้สะอาด แล้วนำไปแบ่งใส่ผ้าขาวบาง

3.3.2 การเจลาติไนเซชัน

นำเมล็ดมะขามจากข้อ 3.3.1.4 ไปทำการแช่น้ำในภาชนะขนาดใหญ่ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60, 120 และ 180 นาที แล้วจึงนำไปทำการนึ่งในหม้อนึ่งที่อุณหภูมิ 96 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30, 60, 120 นาที

3.3.3 การอบ

นำเมล็ดมะขามจากข้อ 3.3.2 มาทำการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ตั้งอุณหภูมิในการอบให้อยู่ที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที

3.3.4 การวิเคราะห์ผล

3.3.4.1 การวัดค่าสี

นำเมล็ดมะขามแบบเต็มเมล็ดจากข้อ 3.3.3 มาบรรจุใส่ตลับตัวอย่าง วัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี Minolta CR-400 เทียบระหว่างเมล็ดมะขามกับ White Plate บันทึกค่า L*, a*, b*, ΔL*, Δa*, Δb* และ ΔE* โดยค่าของ a* และ b* เป็นพิกัดสีแดง/สีเขียว และสีเหลือง/สีน้ำเงินตามลำดับ ทำซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อนำค่าไปใช้ในการหาค่าเฉลี่ย สำหรับผลค่าสีของเมล็ดมะขามหาได้จากสมการ (3.1)

$$Chroma = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \qquad (3.1)$$

3.3.4.2 การวัดค่าความแข็ง

นำเมล็ดมะขามแบบเต็มเมล็ดจากข้อ 3.3.3 ไปทำการวัดความแข็งจากแรงกดด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส Texture Analyzer โดยใช้หัววัด P/2 ระยะที่กดลงไปในตัวอย่าง 5 มิลลิเมตร ด้วยแรง 5 กรัม ความเร็วในการทดสอบ 1 มิลลิเมตรต่อวินาที บันทึกค่าแรงที่ใช้ในการกดสูงสุดในการเจาะตัวอย่างที่ได้ แล้วทำซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อนำไปใช้ในการหาค่าเฉลี่ยของแรงที่วัดได้

3.3.4.3 ค่ากิจกรรมของน้ำ

หลังวิเคราะห์ผลข้อ 3.3.4.1 และ 3.3.4.2 นำเมล็ดมะขามที่ผลวิเคราะห์ดีที่สุดจากการศึกษาค่าสีและความแข็ง โดยนำตัวอย่างอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลา 30, 45 และ 60 นาที แล้วนำมาทำการวัดค่ากิจกรรมของน้ำ ด้วยเครื่องวัดค่ากิจกรรมของน้ำ บันทึกค่าค่ากิจกรรมของน้ำที่ได้ แล้วทำซ้ำอีก 3 ครั้ง เพื่อนำค่าที่ทำการวิเคราะห์ได้ไปใช้เป็นข้อมูลในการหาค่าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ความหมายของรหัสข้อมูลโดยย่อที่ใช้ในการวิเคราะห์ในการศึกษาปัญหาพิเศษนี้

รหัสข้อมูลโดยย่อ	ความหมาย
a1	แช่เป็นเวลา 60 นาที และนึ่งเป็นเวลา 30 นาที
a2	แช่เป็นเวลา 60 นาที และนึ่งเป็นเวลา 30 นาที
a3	แช่เป็นเวลา 60 นาที และนึ่งเป็นเวลา 30 นาที
b1	แช่เป็นเวลา 120 นาที และนึ่งเป็นเวลา 60 นาที
b2	แช่เป็นเวลา 120 นาที และนึ่งเป็นเวลา 60 นาที
b3	แช่เป็นเวลา 120 นาที และนึ่งเป็นเวลา 60 นาที
c1	แช่เป็นเวลา 180 นาที และนึ่งเป็นเวลา 120 นาที
c2	แช่เป็นเวลา 180 นาที และนึ่งเป็นเวลา 120 นาที
c3	แช่เป็นเวลา 180 นาที และนึ่งเป็นเวลา 120 นาที
A1	คั่วเป็นเวลา 15 นาที และนึ่งเป็นเวลา 30 นาที
A2	คั่วเป็นเวลา 15 นาที และนึ่งเป็นเวลา 30 นาที
A3	คั่วเป็นเวลา 15 นาที และนึ่งเป็นเวลา 30 นาที
B1	คั่วเป็นเวลา 20 นาที และนึ่งเป็นเวลา 60 นาที
B2	คั่วเป็นเวลา 20 นาที และนึ่งเป็นเวลา 60 นาที
B3	คั่วเป็นเวลา 20 นาที และนึ่งเป็นเวลา 60 นาที
C1	คั่วเป็นเวลา 25 นาที และนึ่งเป็นเวลา 120 นาที
C2	คั่วเป็นเวลา 25 นาที และนึ่งเป็นเวลา 120 นาที
C3	คั่วเป็นเวลา 25 นาที และนึ่งเป็นเวลา 120 นาที
Aa	คั่วเป็นเวลา 15 นาที และแช่เป็นเวลา 60 นาที
Ab	คั่วเป็นเวลา 15 นาที และแช่เป็นเวลา 60 นาที
Ac	คั่วเป็นเวลา 15 นาที และแช่เป็นเวลา 60 นาที
Ba	คั่วเป็นเวลา 20 นาที และแช่เป็นเวลา 120 นาที
Bb	คั่วเป็นเวลา 20 นาที และแช่เป็นเวลา 120 นาที
Bc	คั่วเป็นเวลา 20 นาที และแช่เป็นเวลา 120 นาที
Ca	คั่วเป็นเวลา 25 นาที และแช่เป็นเวลา 180 นาที
Cb	คั่วเป็นเวลา 25 นาที และแช่เป็นเวลา 180 นาที
Cc	คั่วเป็นเวลา 25 นาที และแช่เป็นเวลา 180 นาที

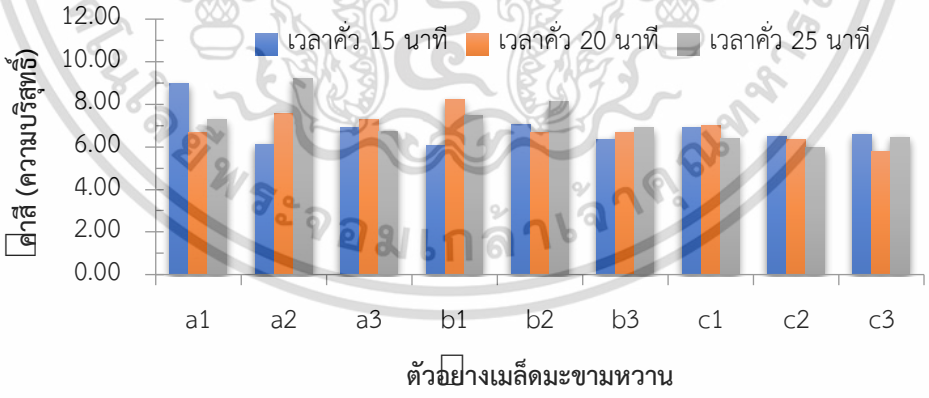
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

การศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลาติไนเซชันและรีโทรกราเดชัน ประกอบไปด้วยปัจจัยหลัก ได้แก่ อุณหภูมิ และเวลา ซึ่งสภาวะที่นำมาศึกษา คือ การนำไปคั่วเป็นเวลา 15, 20 และ 25 นาที การแช่ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60, 120 และ 180 นาที การนึ่งที่อุณหภูมิ 96 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30, 60และ 120 นาที อบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที แล้วไปวิเคราะห์ค่าสีและค่าความแข็ง ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ ดังนี้

4.1 ค่าสี (Color Value)

การเปลี่ยนสีของเมล็ดมะขามเนื่องจากการทำให้เกิดการเจลาติไนเซชันเป็นอีกตัวบ่งชี้คุณภาพที่สำคัญ ซึ่งค่าสีมีความเกี่ยวข้องกับมูลค่าตลาดเนื่องจากผู้บริโภคอาจไม่ยอมรับเมล็ดมะขามสีเข้ม จากผลการศึกษาพบว่าค่าสีของเมล็ดมะขามมีความไม่คงที่ โดยค่าสีเฉลี่ยที่สูงที่สุดและค่าสีเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดของตัวอย่างเมล็ดมะขามหวานที่เวลาคั่ว 15 นาที อยู่ที่ 8.97 และ 6.05 ที่เวลาคั่ว 20 นาที อยู่ที่ 8.22 และ 5.78 และที่เวลาคั่ว 25 นาที อยู่ที่ 9.19 และ 5.96 ตามลำดับ ส่วนค่าสีเฉลี่ยที่สูงที่สุดและค่าสีเฉลี่ยต่ำที่สุดของเมล็ดมะขามเปรี้ยวที่เวลาคั่ว 15 นาที อยู่ที่ 9.48 และ 5.94 ที่เวลาคั่ว 20 นาที อยู่ที่ 8.20 และ 4.89 และที่เวลาคั่ว 25 นาที อยู่ที่ 10.52 และ 5.22 ตามลำดับ

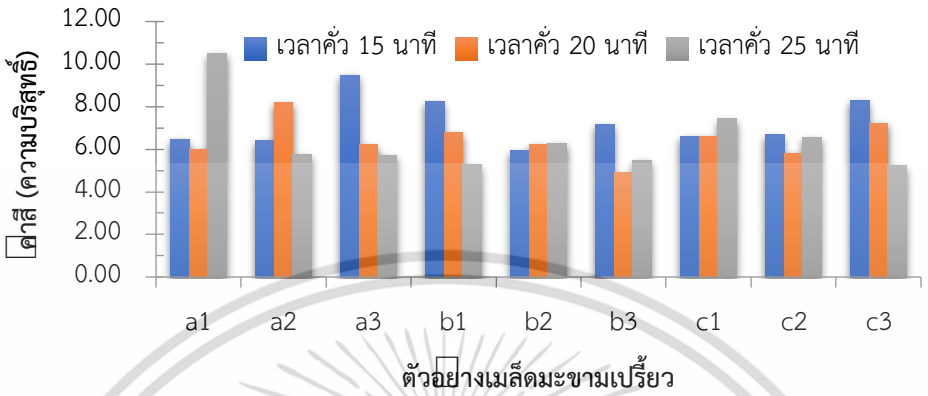


ภาพที่ 4.1 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่าสี (ความบริสุทธิ์) ที่เวลาคั่วต่างกันของตัวอย่างเมล็ดมะขามเปรี้ยว

จากภาพที่ 4.1 พบว่าค่าสีเฉลี่ยที่สูงที่สุดอยู่ที่ 8.22 ซึ่งเป็นค่าสีที่เวลาคั่ว 20 นาที เวลาแช่ 60 นาที และเวลานึ่ง 120 นาที ค่าสีเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดอยู่ที่ 5.96 ซึ่งเป็นค่าสีที่เวลาคั่ว 25 นาที เวลาแช่ 180 นาที และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลานึ่ง 120 นาที จะเห็นว่าที่เวลาคั่ว 20 นาที มีค่าสีที่มากกว่าที่เวลาคั่ว 25 นาที เกิดจากขนาดของเมล็ดที่ไม่เท่ากันทำให้กระจายความร้อนไม่ทั่ว เมื่อนำเมล็ดมะขามไปแช่และนึ่ง น้ำที่มีแทนนินละลายอยู่ซึมเข้าไปในเมล็ด ทำให้ค่าสีเปลี่ยนไป



ภาพที่ 4.2 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่าสี (ความบริสุทธิ์) ที่เวลาคั่วต่างกันของตัวอย่างเมล็ดมะขามหวาน

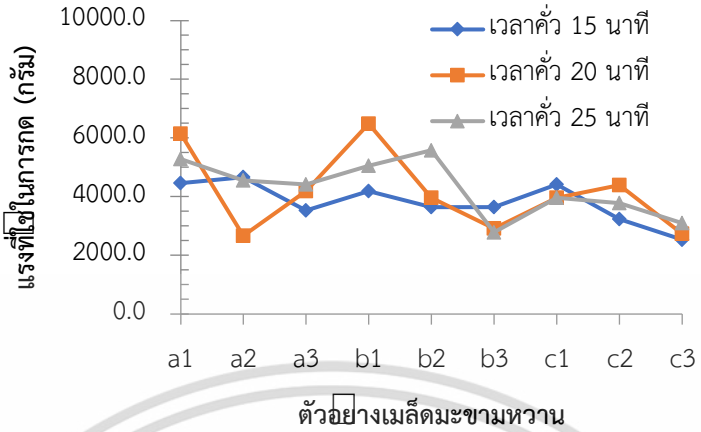
จากผลการเปรียบเทียบค่าสีของเมล็ดมะขามเปรี้ยวให้ผลเช่นเดียวกับมะขามหวาน (ภาพที่ 4.2) พบว่าค่าสีเฉลี่ยที่สูงที่สุดอยู่ที่ 10.52 ซึ่งเป็นค่าสีที่เวลาคั่ว 25 นาที เวลาแช่ 60 นาที และเวลานึ่ง 30 นาที ค่าสีเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดอยู่ที่ 4.89 ซึ่งเป็นค่าสีที่เวลาคั่ว 20 นาที เวลาแช่ 120 นาที และเวลานึ่ง 120 นาที จะเห็นว่าที่เวลาคั่ว 25 นาที มีค่าสีที่มากกว่าที่เวลาคั่ว 20 นาที เนื่องจากการให้ความร้อนมีผลต่อการเปลี่ยนสีของเมล็ดมะขาม ยิ่งให้ความร้อนนาน ค่าสียิ่งมากขึ้น

4.2 ค่าความแข็ง (Hardness)

ความแข็งเป็นคุณสมบัติสำคัญที่สุดของคุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดมะขามคั่ว จากผลการศึกษาพบว่าค่าความแข็งของเมล็ดมะขามมีความแปรปรวน ค่าความแข็งเฉลี่ยที่สูงที่สุดและค่าความแข็งเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดของตัวอย่างเมล็ดมะขามหวานของตัวอย่างเมล็ดมะขามหวานที่เวลาคั่ว 15 นาที อยู่ที่ 4,664.4 และ 2,536.3 กรัม ที่เวลาคั่ว 20 นาที อยู่ที่ 6,486.9 และ 2,669.0 กรัม และที่เวลาคั่ว 25 นาที อยู่ที่ 5,583.7 และ 2,787.5 กรัม ตามลำดับ ส่วนค่าความแข็งเฉลี่ยที่สูงที่สุดและค่าความแข็งเฉลี่ยต่ำที่สุดของเมล็ดมะขามเปรี้ยวที่เวลาคั่ว 15 นาที อยู่ที่ 7,965.8 และ 3,637.3 กรัม ที่เวลาคั่ว 20 นาที อยู่ที่ 5,913.1 และ 3,129.7 กรัม และที่เวลาคั่ว 25 นาที อยู่ที่ 6,101.8 และ 2,058.2 กรัม ตามลำดับ โดยเป็นผลมาจากความสามารถหรือประสิทธิภาพในการดูดซึมน้ำของเมล็ดมะขามแต่ละเมล็ดที่มีไม่เท่ากัน เนื่องจากขนาดของเมล็ดมะขามมีขนาดที่สม่ำเสมอกันหรือเกิดจากอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทำเจลาติไนเซชัน เพราะยิ่งใช้เวลาในการแช่นานและนึ่งนาน ก็จะยิ่งทำให้ตัวเมล็ดมะขามมีความแข็งน้อยลง ยิ่งอบแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำและเวลาน้อย ก็จะยิ่งทำให้ไม่เกิดการสูญเสียน้ำในอาหาร ซึ่งจะทำให้เมล็ดมะขามมีความแข็งน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

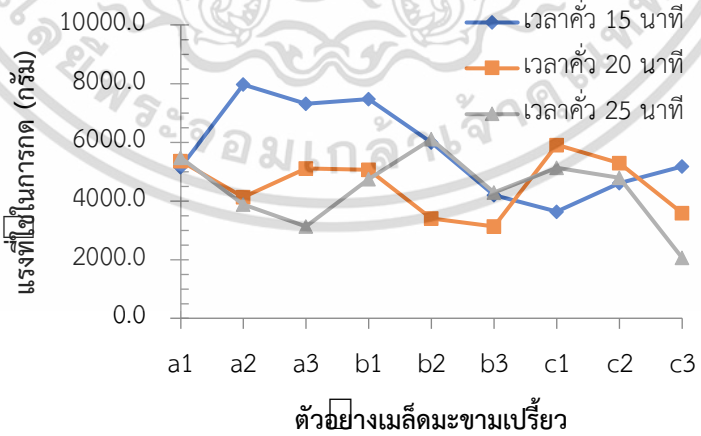
4.1.2.1 เมล็ดมะขามหวาน



ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ใช้ให้การกด (กรัม) กับตัวอย่างเมล็ดมะขามหวานที่เวลาคั่วเดียวกัน

จากภาพที่ 4.3 พบว่าค่าความแข็งที่สูงที่สุดอยู่ที่ 6,486.9 กรัม ซึ่งเป็นค่าความแข็งที่เวลาคั่ว 20 นาที เวลาแช่ 120 นาทีและเวลานึ่ง 30 นาที ค่าความแข็งที่ต่ำที่สุดอยู่ที่ 2,536.3 กรัม ซึ่งเป็นค่าความแข็งที่เวลาคั่ว 15 นาที เวลาแช่ 180 นาทีและเวลานึ่ง 120 นาที ที่ค่าความแข็งสูงสุดของเมล็ดมะขามหวานเวลาแช่และเวลานึ่งน้อยกว่าเวลาแช่และนึ่งของค่าความแข็งต่ำสุดของเมล็ดมะขามหวาน แสดงให้เห็นว่าเวลาในการแช่และนึ่งมีผลต่อค่าความแข็งของเมล็ดมะขาม

4.1.2.1 เมล็ดมะขามเปรี้ยว



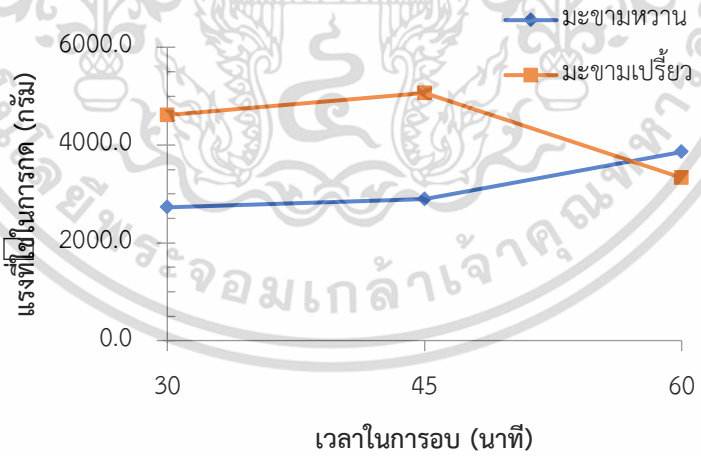
ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ใช้ให้การกด (กรัม) กับตัวอย่างเมล็ดมะขามเปรี้ยวที่เวลาคั่วเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 4.4 พบว่าค่าความแข็งที่สูงที่สุดอยู่ที่ 7,965.8 กรัม ซึ่งเป็นค่าความแข็งที่เวลาคั่ว 15 นาที เวลาแช่ 60 นาทีและเวลานึ่ง 60 นาที ค่าความแข็งที่ต่ำที่สุดอยู่ที่ 2,058.2 กรัม ซึ่งเป็นค่าความแข็งที่เวลาคั่ว 25 นาที เวลาแช่ 180 นาทีและเวลานึ่ง 120 นาที จะสังเกตได้ว่าที่ค่าความแข็งสูงสุดของเมล็ดมะขามเปรี้ยว มีเวลาแช่และเวลานึ่งน้อยกว่าเวลาแช่และนึ่งของค่าความแข็งต่ำสุดของเมล็ดมะขามหวาน แสดงให้เห็นว่าเวลาในการแช่และนึ่งมีผลต่อค่าความแข็งของเมล็ดมะขาม แต่ทั้งภาพที่ 4.3 และภาพที่ 4.4 ก็อาจจะกล่าวได้อีกว่าปัจจัยที่ทำให้ความแข็งไม่เท่ากันมาจากความแตกต่างของเมล็ดมะขามด้วย เนื่องจากความสามารถและประสิทธิภาพในการเจลาติไนเซชันของแต่ละเมล็ดมีไม่เท่ากัน

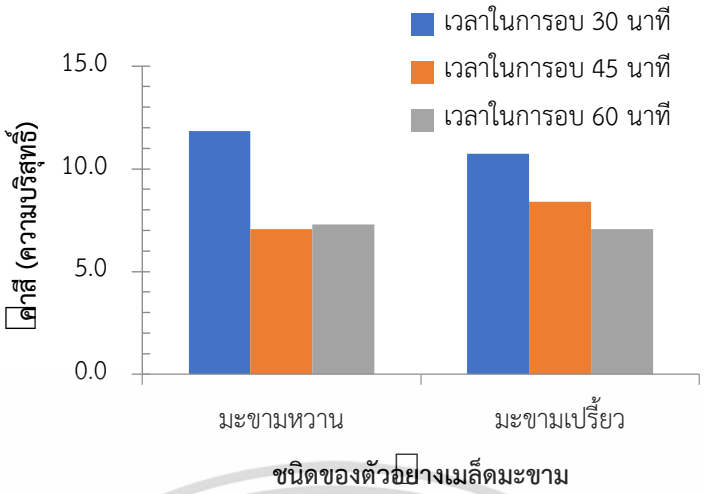
4.3 ค่ากิจกรรมของน้ำ (Water Activity)

จากผลการทดลองของค่าสีและค่าความแข็ง ทำการคัดเลือกตัวอย่างเมล็ดมะขามที่มีคุณภาพที่ดีที่สุดสำหรับการหาค่าค่ากิจกรรมของน้ำโดยใช้เวลาในการอบเป็นตัวแปรควบคุม นั่นคือตัวอย่างเมล็ดมะขามที่ทำการคั่วเป็นเวลา 15 นาที แช่ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที และนึ่งที่อุณหภูมิ 96 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที นำมาเพิ่มตัวชี้วัดเข้าไปจากที่ทำการอบ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที จะทำการเพิ่มเวลาในการอบ 30 และ 45 นาทีเข้าไป โดยเหตุผลที่ทำการเลือกตัวอย่างนี้ให้เป็นตัวอย่างที่ดีที่สุดเป็นเพราะว่า ค่าสีที่ทำการวิเคราะห์ได้มีความบริสุทธิ์อยู่ในช่วงประมาณ 6.0 ถึง 8.0 (ภาพที่ 2.9) และมีค่าความสว่างสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ ส่วนค่าความแข็งของตัวอย่างที่เลือกมานี้ก็มีค่าอยู่ในระดับกลางๆ คือประมาณ 3,000 ถึง 5,000 กรัม



ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ใช้ในการกด (กรัม) กับเวลาในการอบ (นาที) ของเมล็ดมะขามที่มีคุณภาพที่ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.6 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่าสี (ความบริสุทธิ์)
ของเมล็ดมะขามหวานและเมล็ดมะขามเปรี้ยว เมื่อเวลาในการอบเป็น 30, 45 และ 60 นาที

จากการเตรียมตัวอย่างเมล็ดมะขามที่เวลาคั่ว 15 นาที เวลาแช่ 180 นาทีและเวลานึ่ง 120 นาที แล้วนำมาทำการวัดค่าสีและค่าความแข็งใหม่ ได้ผลการทดลองที่แตกต่างจากผลในข้อ 4.1.1 และ 4.1.2 เล็กน้อย โดยค่าสีเฉลี่ยของเมล็ดมะขาม (ภาพที่ 4.9) ที่วิเคราะห์ได้ของตัวอย่างเมล็ดมะขามหวาน เวลาที่ใช้ในการอบ 30, 45 และ 60 นาที คือ 11.84, 7.07 และ 7.28 ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบเทียบตัวอย่างเมล็ดมะขามที่ผ่านการทำเจลาติไนเซชันในช่วงเวลาเดียวกัน พบว่าตัวอย่างที่ใช้เวลาในการอบ 60 นาที ในข้อ 4.1.1 มีค่าสีที่ต่ำกว่าตัวอย่างที่เตรียมใหม่อยู่ 0.38 ตัวอย่างเมล็ดมะขามเปรี้ยว เวลาที่ใช้ในการอบ 30, 45 และ 60 นาที คือ 10.73, 8.39 และ 7.07 ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบเทียบตัวอย่างเมล็ดมะขามที่ผ่านการทำเจลาติไนเซชันในช่วงเวลาเดียวกัน พบว่าตัวอย่างที่ใช้เวลาในการอบ 60 นาที ในข้อ 4.1.1 มีค่าสีที่สูงกว่าตัวอย่างที่เตรียมใหม่อยู่ 2.41 ค่าความแข็งเฉลี่ยของเมล็ดมะขาม (ภาพที่ 4.10) ที่วิเคราะห์ได้ของตัวอย่างเมล็ดมะขามหวาน เวลาที่ใช้ในการอบ 30, 45 และ 60 นาที คือ 2,725.1, 2,890.3 และ 3,857.3 กรัม ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบเทียบตัวอย่างเมล็ดมะขามที่ผ่านการทำเจลาติไนเซชันในช่วงเวลาเดียวกัน พบว่าตัวอย่างที่ใช้เวลาในการอบ 60 นาที ในข้อ 4.1.2 มีค่าสีที่สูงกว่าตัวอย่างที่เตรียมใหม่อยู่ 321.1 กรัม ตัวอย่างเมล็ดมะขามเปรี้ยว เวลาที่ใช้ในการอบ 30, 45 และ 60 นาที คือ 4,613.9, 5,064.2 และ 3,330.6 กรัม ตามลำดับ และเมื่อทำการเปรียบเทียบตัวอย่างเมล็ดมะขามที่ผ่านการทำเจลาติไนเซชันในช่วงเวลาเดียวกัน พบว่าตัวอย่างที่ใช้เวลาในการอบ 60 นาที ในข้อ 4.1.2 มีค่าความแข็งที่สูงกว่าตัวอย่างที่เตรียมใหม่อยู่ 3,992.5 กรัม เมื่อนำตัวอย่างเมล็ดมะขามมาทำการหาค่ากิจกรรมของน้ำ ผลที่ได้ เป็นไปตามตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ค่ากิจกรรมของน้ำของตัวอย่างเมล็ดมะขามที่ดีที่สุด

ตัวอย่างเมล็ดมะขาม	เวลาที่ใช้อบตัวอย่าง (นาที)	ค่ากิจกรรมของน้ำ (A_w)
มะขามหวาน	30	0.9816
	45	0.9796
	60	0.9739
มะขามเปรี้ยว	30	0.9645
	45	0.9601
	60	0.9528

หมายเหตุ: ค่ากิจกรรมของน้ำของน้ำกลั่น เท่ากับ 0.9946

จากตารางที่ 4.1 พบว่าค่ากิจกรรมของน้ำของตัวอย่างเมล็ดมะขามหวานมีค่าลดลงจาก 0.9816 เป็น 0.9796 และ 0.9739 เมื่อเพิ่มเวลาในการอบจาก 30 นาทีเป็น 45 และ 60 ตามลำดับ ค่ากิจกรรมของน้ำของตัวอย่างเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีค่าลดลงจาก 0.9645 เป็น 0.9601 และ 0.9528 เมื่อเพิ่มเวลาในการอบจาก 30 นาทีเป็น 45 และ 60 ตามลำดับ พบว่าค่ากิจกรรมของน้ำในแต่ละตัวอย่าง มีค่ากิจกรรมของน้ำที่สูงพอๆกับค่ากิจกรรมของน้ำของน้ำกลั่น นั่นหมายความว่า สามารถพบเจอเชื้อจุลินทรีย์ได้ในตัวอย่างเมล็ดมะขามเหล่านี้ เนื่องจากการอบสามารถทำให้ตัวอย่างเมล็ดมะขามแห้งได้แค่ผิว แต่ไม่สามารถลดค่ากิจกรรมของน้ำภายในตัวอย่างได้ หากต้องการลดค่ากิจกรรมของน้ำ จะต้องใช้อุณหภูมิและเวลาที่สูงขึ้น อย่างไรก็ตามอาจทำให้เมล็ดมะขามแข็งขึ้นเนื่องจากเกิดการรีโทรกราเดชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากการศึกษาผลของการเจลาติไนเซชันและรีโทรกราเดชันของเมล็ดมะขามคั่ว โดยการนำเมล็ดมะขามไปคั่ว เป็นเวลา 15, 20 และ 25 นาที แล้วนำไปทำการเจลาติไนเซชันด้วยการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60, 120 และ 180 นาที นึ่งที่อุณหภูมิ 96 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30, 60 และ 120 นาที และอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดเจลาติไนเซชันของเมล็ดมะขามคั่ว คือ การคั่วเป็นเวลา 15 นาที การแช่ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที การนึ่งที่อุณหภูมิ 96 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที และอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที โดยจากสภาวะที่เหมาะสมจะทำให้คุณสมบัติของเมล็ดมะขามคั่วภายหลังการเจลาติไนเซชันที่นำไปวิเคราะห์ พบว่า เมล็ดมะขามหวานมีค่าสีเท่ากับ 7.28 ค่าความแข็งเท่ากับ 3,857.3 กรัม และค่ากิจกรรมของน้ำเท่ากับ 0.9739 เมล็ดมะขามเปรี้ยวมีค่าสีเท่ากับ 7.07 ค่าความแข็งเท่ากับ 3,330.6 กรัม และค่ากิจกรรมของน้ำมีค่าเท่ากับ 0.9528 ซึ่งจากการศึกษาพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการรีโทรกราเดชันของเมล็ดมะขาม คือ เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการแช่ การนึ่ง และการอบ โดยการแช่และการนึ่ง จะลดการเกิดรีโทรกราเดชันลงได้ หากเพิ่มอุณหภูมิและเวลาขึ้น ส่วนการอบจะเพิ่มการเกิดรีโทรกราเดชัน หากเพิ่มอุณหภูมิและเวลาขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ก่อนนำเมล็ดมะขามมาใช้ควรชั่งน้ำหนักก่อนล้าง เพราะถ้าล้างก่อนชั่งน้ำหนักจะทำให้น้ำหนักของน้ำติดมาด้วย การเตรียมตัวอย่างที่พอดีอาจจะไม่พอใช้

5.2.2 การคั่วเมล็ดมะขามควรทำการคั่วตลอดเวลา และใช้ทรายเป็นตัวช่วยกระจายความร้อนให้ทั่วถึงเมล็ดมะขาม เนื่องจากเมล็ดมะขามแต่ละเมล็ดมีขนาดไม่เท่ากัน ทำให้พื้นที่ผิวที่รับความร้อนมีไม่เท่ากันด้วย จึงจำเป็นที่จะต้องคั่วตลอด ไม่ปล่อยให้ด้านใดด้านหนึ่งไหม้ เพราะอาจจะทำให้สีระหว่างการทำเจลาติไนเซชันเข้มขึ้นได้ด้วย

5.2.3 ก่อนจะนำไปทำการเจลาติไนเซชันควรล้างทำความสะอาดอีกครั้งเพื่อล้างแทนนินออก

5.2.4 ควรระมัดระวังการใช้หม้อนึ่ง ควรสังเกตน้ำในหม้อนึ่งเสมอ หากปล่อยให้หม้อนึ่งไหม้ อาจจะทำให้ผลการทดลองเกิดการคลาดเคลื่อนไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กองวิจัยทางการแพทย์. สมุนไพรพื้นบ้าน ตอนที่ 1. กรุงเทพฯ: กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. กระทรวงสาธารณสุข. 2526. หน้า 68.

ดุษฎี และคณะ. 2561. Carbohydrate Technology. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: https://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BCT611/index.html. 24 ตุลาคม 2562

พิมพ์เพ็ญ และคณะ. 2562. Gelatinization / การเจลาติไนซ์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0350/gelatinization. 24 ตุลาคม 2562

พิมพ์เพ็ญ และคณะ. 2562. Hardness / ความแข็ง. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2369/hardness. 24 ตุลาคม 2562

พิมพ์เพ็ญ และคณะ. 2562. Munsel color system / ระบบสีของมันเซล. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0248/munsel-color-system. 24 ตุลาคม 2562

รุ่งนภา และไพศาล. 2545. การประเมินอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร. เอกสารประกอบการสัมมนา-อบรมวิชาการด้านอุตสาหกรรมอาหาร. 7 มิถุนายน 2563

วารสารจาร์พา ปีที่ 9 ฉบับที่ 68 เดือนกันยายน/ตุลาคม. 2545. water-activity-กับการควบคุมอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: https://www.playsotec.com/17390808/water-activity-กับการควบคุมอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร

ภัคสิริ และไมตรี. 2554. คุณสมบัติชีวเคมีและการประยุกต์ใช้ของเมล็ดมะขาม. วารสารนเรศวรพะเยา ปี ที่ 4 ฉบับที่ 2. หน้า 5-16.

สำรี, รพีพล, สุนทรี, และชัยโย. มะขาม. การใช้สมุนไพร เล่ม 1. 2522. โครงการพัฒนาเทคนิคการทำยาสมุนไพร คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 139-169.

Ayamdoo, A.J., Demuyakor, B., Dogbe, W. and Owusu, R. 2013. Parboiling of paddy rice: The science and perceptions of it as practiced in northern Ghana. Int J Sci Technol Res. 2: 13-18.

Ayamdoo, A.J., Demuyakor, B., Dogbe, W., Owusu R. and Ofosu, M.A. 2013. Effect of varying parboiling conditions on physical qualities of Jasmine 85 and Nerica 14 rice varieties. Am J Food Technol. 65: 31-42.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bauer, B.A. and Knorr, D. 2004. Electrical conductivity: A new tool for the determination of high hydrostatic pressure-induced starch gelatinization. Innov Food Sci Emerging Technol. 5: 437-442.

Bello, M.O., Aguerre, R.J., Tolaba, M.P. and Suárez, C. 2012. Effect of Hydrothermal Conditions on Translucence of Milled Rice In: Color in Food: Technological and Psycho physical Aspects. CRC Press, London. 63-70.

Bello, M., Baeza, R. and Tolaba, M.P. 2006. Quality characteristics of milled and cooked rice affected by hydrothermal treatment. J Food Engin, 72: 124-133.

Bualuang, O., Tirawanichakul, S. and Tirawanichakul, T. 2011. Study of drying kinetics and qualities of two parboiled rice: Hot air and infrared radiation. TIChE International Conference, Hatyai, Songkhla, Thailand. 1-6.

Buggenhout, J., Brijs, K., Celus, I. and Delcour, J.A. 2013. The breakage susceptibility of raw and parboiled rice: A review. J Food Engin. 117: 304-315.

Buggenhout, J., Brijs, K., Oevelen, J.V. and Delcour, J.A. 2014. Milling breakage susceptibility and mechanical properties of parboiled brown rice kernels. LWT Food Sci Technol. 59: 369-375.

Champagne, E.T., Lyon, B.G., Min, B.K., Vinyard, B.T., Bett, K.L., Barton, I.F.E., Webb, B.D., Mcclung, A.M., Moldenhauer, K.A., Linscombe, S., Mckenzie, K.S. and Kohlwey, D.E. 1998. Effects of postharvest processing on texture profile analysis of cooked rice. Cereal Chem. 75: 181-186.

Delcour, J.A. and Hoseney, R.C. 2010. Rice and Oat Processing. AACC International Incorporated, St. Paul, USA

Elbert, G., Tolaba, M.P. and Suárez, C. 2001. Effects of drying conditions on head rice yield and browning index of parboiled rice. J Food Engin. 47: 37-41.

Food and Drug Administration, 1984, Dept of Health, Education and Welfare Public Health Service, No.39. [Online]. Available: www.fda.gov/ora/inspect_ref/itg/itg39.html. June 7, 2020.

Fofana, M., Wanvoeke, J., Manful, J., Futakuchi, K., Mele, P.V., Zossou, E. and Bléoussi, T.M.R. 2011. Effect of improved parboiling methods on the physical and cooked grain characteristics of rice varieties in Benin. Int Food Res J. 18: 715-721.

Himmelsbach, D.S., Manful, J.T. and Coker, R.D. 2008. Changes in rice with variable temperature parboiling: Thermal and spectroscopic assessment Cereal Chem, 85: 384-390.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Islam, M.R., Roy, P., Shimizu, N. and Kimura, T. 2002. Effect of processing conditions on physical properties of parboiled rice. Food Sci Technol Res. 8: 106-112.

Ituen, E.U.U. and Ukpakha, A.C. 2011. Improved method of par-boiling paddy for better quality rice. World J Appl Sci Technol. 3: 31-40.

Kar, N., Jain, R.K. and Srivastav, P.P. 1999. Parboiling of dehusked rice. J Food Engineer. 39: 17-22.

Lamberts, L., Brijs, K., Mohamed, R., Verhelst, N. and Delcour, J.A. 2006. Impact of browning reactions and bran pigments on color of parboiled rice. J Agric Food Chem. 54: 9924-9929.

Latifi, A. and Alizadeh, M.R. 2014. Effect of parboiling on qualities and milling of Iranian rice. J Agric Engin Res. 15: 77-88.

Luangmalawat, P., Prachayawarakorn, S., Nathakaranakule, A. and Soponronnarit, S. 2008. Effect of temperature on drying characteristics and quality of cooked rice. LWT Food Sci Technol. 41: 716-723.

Maisuthisakul, .P., Pasuk, S. and Ritthiruangdej, P. 2008. Relationship between antioxidant properties and chemical composition of some Thai plants. J Food Comp Anal. 21: 229-240.

Manful, J.T., Grimm, C.C., Gayin, J. and Coker, R.D. 2008. Effect of variable parboiling on crystallinity of rice samples. Cereal Chem. 85: 92-95.

Marshall, W.E., Wadsworth, J.I., Verma, L.R. and Velupillai, L. 1993. Determination the degree of gelatinization in parboiled rice: Comparison of a subjective and an objective method. Cereal Chem. 70: 226-230.

Miah, M.A.K., Haque, A., Douglass, M.P. and Clarke, B. 2002. Parboiling of rice: II Effect of hot soaking time on the degree of starch gelatinization. Int J Food Sci Technol. 37: 539-545.

Min, J., Zhu, Z.W., Zhang, L.P., Chen, N., Xu, L. and Mou, R.X. 2014. Analysis on milled rice quality of super hybrid rice combinations in China. Chin J Rice Sci. 28: 206-210.

Mohapatra, D. and Bal, S. 2006. Cooking quality and instrumental textural attributes of cooked rice for different milling fractions. J Food Engin. 73: 253-259.

Nasirahmadi, A., Abbaspour-Fard, M.H., Emadi, B. and Behroozi Khazaei, N. 2014. Modelling and analysis of compressive strength properties of parboiled paddy and milled rice. Int Agrophys. 28: 73-83.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Non-Potentially Hazardous Food Standard 75 Adopted. 2001, Regulatory World. [Online]. Available: www.nsf.org/newsletters.regworld01-1/testmeth.html. June 7, 2020.

Patindol, J., Newton, J. and Wang, Y.J. 2008. Functional properties as affected by laboratory-scale parboiling of rough rice and brown rice. J Food Sci. 73: 370-377.

Ray Marsili, 1993, Water Activity, Food Product Design, December. [Online]. Available: www.foodproductdesign.com/archive/1933/1293QA.html. June 7, 2020.

Rohaya, M.S., Masakat, M.Y. and Maaruf, A.G. 2013. Rheological properties of different degree of pregelatinized rice flour batter. Sains Malay. 42: 1707-1714.

Saif, S.M.H., Suter, D.A. and Lan, Y. 2004. Effects of processing conditions and environmental exposure on the tensile properties of parboiled rice. Biosyst Engin. 89: 321-330.

Sareepuang, K., Siriamornpun, S., Wiset, L. and Meeso, N. 2008. Effect of soaking temperature on physical, chemical and cooking properties of parboiled fragrant rice. World J Agric Sci. 4: 409-415.

Schluterman, D.A. and Siebenmorgen, T.J. 2007. Relation rough rice moisture content reduction and temperature duration to head rice yield reduction Am Soc Agric Biol Engin. 50: 137-142.

Soponronnarit, S., Nathakaranakule, A., Jirajindalert, A. and Taechapairoj, C. 2006. Parboiling brown rice using super heated steam fluidization technique. J Food Engineer. 75: 423-432.

Spencer D. 1983. Evaluation of the American Rice Mill Parboiling Plant at Setsan, Rangoon, Burma Stone & Webster Engineering Corporation, Boston, Massachusetts, USA.

Taghinezhad, E., Khoshtaghaza, M.H., Minaei, S. and Latifi, A. 2015. Effect of soaking temperature and steaming time on the quality of parboiled Iranian paddy rice. Int J Food Engin. 11: 547-556.

Taghinezhad, E., Khoshtaghaza, M.H., Suzuki, T., Minaei, S. and Brenner, T. 2015. Quantifying the relationship between degree of starch gelatinization of rice and moisture-electrical conductivity of paddy during soaking. J Food Proc Engineer.

Takahashi, T., Miura, M., Ohisa, N. and Kobayashi, S. 2005. Modification of gelatinization properties of rice flour by heat-treatment. J Soc Rheol. 33: 81-85.

Water Activity, 2000, Food Science Australia Fact Sheet, February. [Online]. Available: www.dfst.csiro.au/water_fs.html. June 7, 2020.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wu, D.X., Shu, Q.Y., Wang, Z.H. and Xia, Y.W. 2002. Effect of gamma irradiation on starch viscosity and physicochemical properties of different rice. Radiat Phys Chem, 65: 79-86.

Zhang, J., Cheng, H.T., Xu, H., Xia, Y.J., Liu, C.X. and Xu, Z.J. 2015. Relationship between cooking-eating quality and subspecies differentiation in RILs population from indica and japonica crossing. Chin J Rice Sci. 28: 206-210.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
เครื่องมือวิเคราะห์

ก.1 เครื่องวัดสี (Minolta Chroma meter CR-400 color meter)

1. อุปกรณ์ เครื่องวัดสี Minolta Chroma Meter CR-400 color meter ประกอบด้วย
   1.1 หัววัด (Measurement Head : CR-400)
   1.2 เครื่องประมวลผล (Data Processor : DP-400)
   1.3 แผ่นขาวสอบเทียบ (White calibration plate)
   1.4 สายเชื่อมหัววัดกับเครื่องประมวลผล (RS-232C Cable)
   1.5 สายเชื่อมเครื่องประมวลผลกับปลั๊กไฟ (Adapter)
   1.6 ถ่านก้อน AA และ AAA

ภาพที่ ก.1 เครื่องวัดสี Minolta Chroma Meter CR-400 color meter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อุปกรณ์อื่นๆ

2.1 ตลับสำหรับใส่ตัวอย่าง

2.2 กล่องใส่ตลับสำหรับใสตัวอย่าง

ภาพที่ ก.2 กล่องใส่ตลับสำหรับใส่ตัวอย่าง

3. ขั้นตอนในการเตรียมใช้เครื่องวัดสี

3.1 เชื่อมต่อสายเชื่อมหัววัดกับเครื่องประมวลผล และเชื่อมต่อสายเชื่อมเครื่องประมวลผลกับปลั๊กไฟ แล้วทำการเปิดหัววัดและเครื่องประมวลผล

3.2 ทำการสอบเทียบโดย ตั้งค่า Y x และ y ของเครื่องให้ตรงกับแผ่นขาวสอบเทียบ

3.3 ประกอบกล่องใส่ตลับสำหรับใส่ตัวอย่างให้พร้อมสำหรับการวัด

4. ขั้นตอนการใช้เครื่องวัดสี

4.1 เตรียมตัวอย่างใส่ในตลับใส่ตัวอย่าง แล้วใส่ลงไปในกล่องใส่ตลับสำหรับใส่ตัวอย่าง

4.2 นำหัววัดปิดให้พอดีกับรูของกล่องใส่ตลับสำหรับใส่ตัวอย่าง ดังภาพที่

4.3 กดปุ่มเพื่อทำการวัด บันทึกผลที่เครื่องประมวลผล และทำซ้ำเพื่อหาค่าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ก.3 ภาพแสดงการวางหัววัดให้ปิดรูกล่องใส่ตลับสำหรับใส่ตัวอย่าง

ภาพที่ ก.4 ตัวอย่างค่าที่ได้จากการวัดสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer)

1. อุปกรณ์

1.1 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer, TA.XT plus)

1.2 หัววัด P/2

1.3 ข้อต่อยาว

1.4 ตัวล็อค ฐานเรียบและหกเหลี่ยม

1.5 ตุ้มน้ำหนัก 1 dbF]diy,

1.6 ถุงมือ

ภาพที่ ก.5 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส พร้อมฐานเรียบ ตัวล็อค ข้อต่อยาว และหัววัด P/2

2. ขั้นตอนการใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส

2.1 เสียบปลั๊กไฟ เปิดเครื่องสำรองไฟ แล้วเปิดเครื่องวัดเนื้อสัมผัสและคอมพิวเตอร์

2.2 เปิดโปรแกรม Texture

2.3 Load Project ที่ต้องการใช้ให้เข้ากับหัววัด

2.4 เปิด New > File > Graph และ New > File > Result

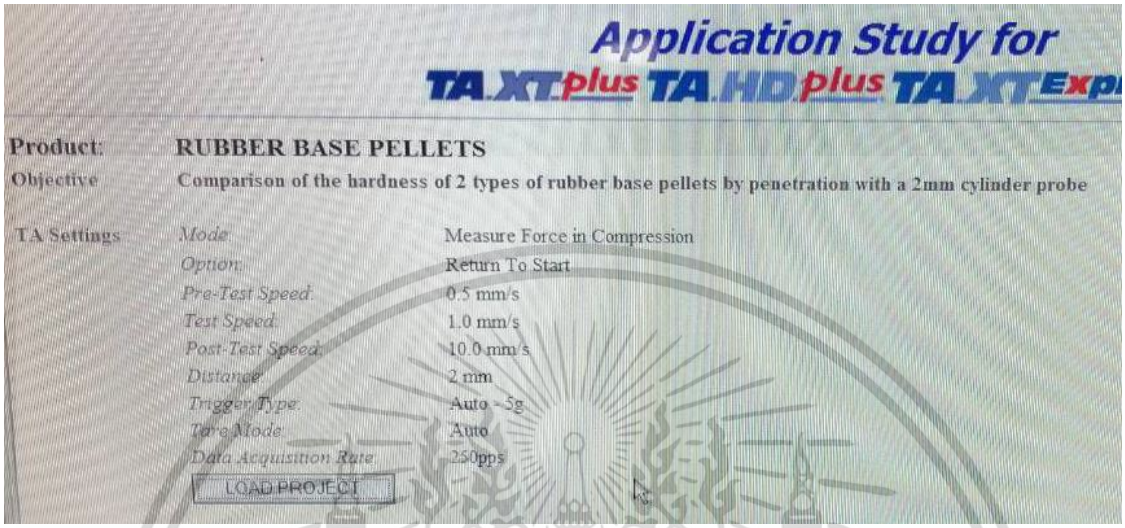
2.5 เปิด T.A. Settings เพื่อตั้งค่าตามความเหมาะสม ดังภาพที่ ก.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

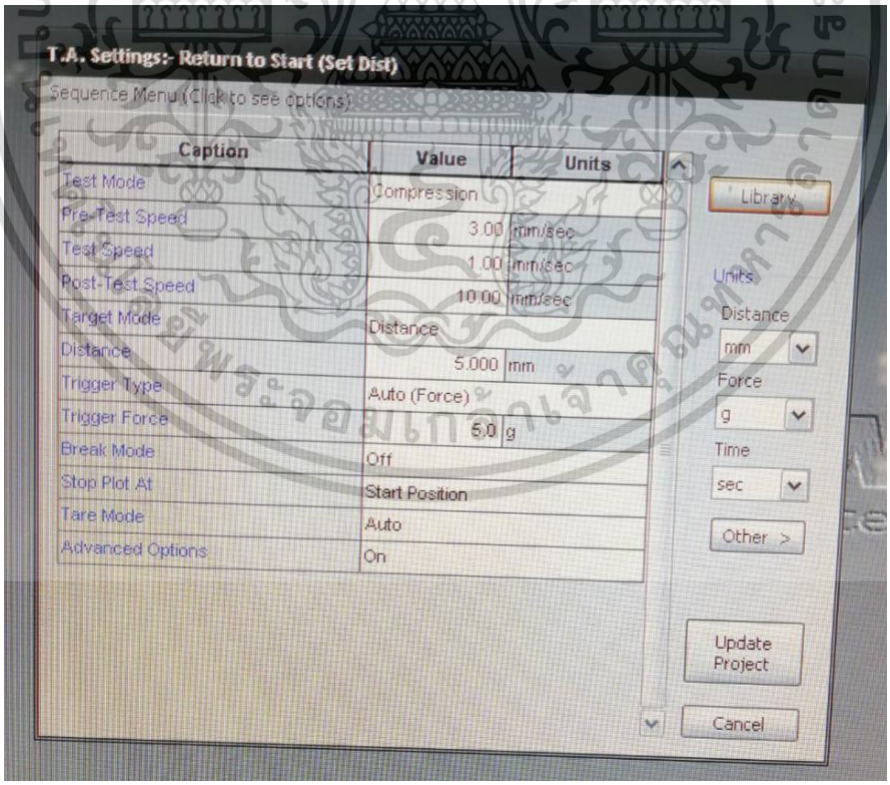
2.6 ทำการสอบเทียบน้ำหนักด้วยตุ้มน้ำหนัก 1 กิโลกรัม และความสูงตามความเหมาะสม

2.7 ทำการวัดตัวอย่าง (Run a Test) แล้วทำซ้ำ 3 ครั้ง

2.8 Run macro บันทึกค่าเพื่อหาค่าเฉลี่ย



ภาพที่ ก.6 Project ที่ Load มาใช้กับตัวอย่าง



ภาพที่ ก.7 การตั้งค่า T.A. Settings

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.3 เครื่องวัดค่ากิจกรรมของน้ำ (Water Activity)

1. อุปกรณ์

1.1 เครื่องวัดค่ากิจกรรมของน้ำ

1.2 ตลับใส่ตัวอย่าง

1.3 น้ำ DI (Dionized water)

ภาพที่ ก.8 เครื่องวัดค่ากิจกรรมของน้ำ (Water Activity)

2. ขั้นตอนการเตรียมใช้เครื่องวัดค่ากิจกรรมของน้ำ

2.1 เสียบปลั๊กเครื่องวัดค่ากิจกรรมของน้ำ

2.2 ทำการสอบเทียบด้วยการนำน้ำ DI ใส่ตลับใส่ตัวอย่าง โยกคันโยกของเครื่องไปทางซ้ายเพื่อเปิดฝาเครื่อง แล้วนำตลับตัวอย่างที่ใส่น้ำ DI ใส่ลงไป (ระมัดระวังการใส่ตัวอย่างไม่ให้บังเซนเซอร์)

2.3 ปิดฝาเครื่อง แล้วรอให้ค่า A_w ของน้ำออกมา โดยค่าต้องอยู่ระหว่าง 0.98-1.00

3. ขั้นตอนการใช้เครื่องวัดค่ากิจกรรมของน้ำ

3.1 เตรียมตัวอย่างใส่ตลับใส่ตัวอย่าง โยกคันโยกของเครื่องไปทางซ้ายเพื่อเปิดฝาเครื่อง แล้วนำตลับตัวอย่างใส่ลงไป (ระมัดระวังการใส่ตัวอย่างไม่ให้บังเซนเซอร์)

3.2 ปิดฝาเครื่อง แล้วรอให้ค่า A_w ของตัวอย่างออกมา

3.3 บันทึกผล แล้วทำซ้ำเพื่อนำไปใช้หาค่าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ก.9 ตัวอย่างเมล็ดมะขามที่ใส่ลงในตลับใส่ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลการทดลอง

ข.1 ค่าสี (ค่าเฉลี่ย)

ตารางที่ ข.1 ค่าสีเฉลี่ยของเมล็ดมะขามหวาน

ตัวอย่าง	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
Aa1	20.42	2.92	8.49	-76.16	2.86	6.64	76.50
Aa2	15.21	1.77	5.86	-81.35	1.71	4.01	81.47
Aa3	17.41	1.89	6.64	-79.18	1.83	4.79	79.35
Ab1	15.21	1.82	5.77	-81.38	1.76	3.92	81.49
Ab2	18.23	2.11	6.73	-78.35	2.05	4.88	78.53
Ab3	17.11	1.74	6.12	-79.47	1.68	4.27	79.61
Ac1	16.33	2.56	6.42	-80.22	2.77	4.57	80.42
Ac2	15.67	2.20	6.10	-80.90	2.14	4.25	81.04
Ac3	16.38	2.06	6.26	-80.21	1.90	4.41	80.36
Ba1	15.58	2.51	6.19	-81.00	2.45	4.34	81.16
Ba2	16.38	2.98	6.94	-80.20	2.92	5.09	80.42
Ba3	17.02	2.67	6.81	-79.55	2.61	4.91	79.76
Bb1	19.05	3.05	7.64	-77.53	2.99	5.79	77.81
Bb2	15.28	2.37	6.26	-81.30	2.31	4.41	81.45
Bb3	15.14	2.56	6.16	-81.44	2.50	4.32	81.60
Bc1	15.50	2.72	6.44	-81.08	2.66	4.60	81.26
Bc2	14.25	2.39	5.86	-82.33	2.33	4.02	82.46
Bc3	12.75	2.31	5.31	-83.83	2.25	3.46	83.93
Ca1	17.63	2.30	6.90	-78.95	2.24	5.05	79.15
Ca2	22.43	2.73	8.78	-74.15	2.67	6.93	74.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ค่าสีเฉลี่ยของเมล็ดมะขามหวาน (ต่อ)

ตัวอย่าง	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
Ca3	15.67	2.51	6.23	-80.91	2.45	4.68	81.07
Cb1	17.29	2.48	7.06	-79.29	2.42	5.21	79.50
Cb2	19.80	2.50	7.73	-76.78	2.45	5.85	77.04
Cb3	15.29	2.77	6.31	-81.29	2.71	4.46	81.46
Cc1	15.67	2.25	5.97	-80.91	2.19	4.13	81.05
Cc2	14.00	2.39	5.47	-82.59	2.33	3.62	82.70
Cc3	15.13	2.22	6.06	-81.45	2.16	4.21	81.59

หมายเหตุ: A, B และ C คือเวลาที่ใช้คั่ว 15, 20 และ 25 นาที ตามลำดับ
a, b และ c คือเวลาที่ใช้แช่ 60, 120 และ 180 นาที ตามลำดับ
1, 2 และ 3 คือเวลาที่ใช้นึ่ง 30, 60 และ 120 นาที ตามลำดับ

ตารางที่ ข.2 ค่าสีเฉลี่ยของเมล็ดมะขามเปรี้ยว

ตัวอย่าง	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
Aa1	15.50	2.46	5.98	-81.08	2.40	4.13	81.23
Aa2	15.40	2.46	5.93	-81.18	2.40	4.09	81.32
Aa3	21.66	3.91	8.64	-74.92	3.85	6.79	80.35
Ab1	17.74	3.68	7.37	-78.84	3.62	5.52	79.13
Ab2	13.87	2.25	5.50	-82.20	2.19	3.65	82.81
Ab3	16.69	2.90	6.56	-79.89	2.84	4.71	80.08
Ac1	15.12	2.62	6.07	-81.46	2.56	4.22	81.61
Ac2	14.76	3.03	5.96	-81.82	2.97	4.12	82.00
Ac3	18.50	3.37	7.59	-78.08	3.31	5.74	78.37
Ba1	13.66	3.09	5.14	-82.93	3.03	3.29	83.05
Ba2	16.43	3.85	7.24	-80.14	3.79	5.39	80.43
Ba3	13.44	3.16	5.37	-83.14	3.10	3.52	83.27
Bb1	15.00	3.52	5.79	-81.58	3.46	3.95	81.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ค่าสีเฉลี่ยของเมล็ดมะขามเปรี้ยว (ต่อ)

ตัวอย่าง	L	a	b	AL	Aa	Ab	AE
Bb2	14.48	2.62	5.66	-82.10	2.56	3.81	82.24
Bb3	12.08	2.23	4.36	-84.51	2.27	2.51	84.58
Bc1	14.01	2.94	5.92	-82.57	2.98	4.04	82.72
Bc2	12.93	2.71	5.13	-83.66	2.65	3.38	83.76
Bc3	16.27	3.30	6.43	-80.30	3.24	4.68	80.52
Ca1	22.46	4.61	9.46	-74.12	4.55	7.61	74.75
Ca2	14.45	2.48	5.19	-82.15	2.42	3.34	82.25
Ca3	12.47	2.78	4.97	-84.11	2.72	3.12	84.21
Cb1	12.21	2.76	4.49	-84.38	2.70	2.64	84.46
Cb2	13.90	2.63	5.68	-82.68	2.57	3.83	82.82
Cb3	12.65	2.71	4.77	-83.93	2.65	2.92	84.03
Cc1	15.12	3.53	6.55	-80.16	3.47	4.70	80.38
Cc2	14.35	3.50	5.56	-0.20	3.44	3.71	82.39
Cc3	12.16	2.81	4.40	-84.41	2.75	2.65	84.51

หมายเหตุ: A, B และ C คือเวลาที่ใช้คั่ว 15, 20 และ 25 นาที ตามลำดับ
a, b และ c คือเวลาที่ใช้แช่ 60, 120 และ 180 นาที ตามลำดับ
1, 2 และ 3 คือเวลาที่ใช้นึ่ง 30, 60 และ 120 นาที ตามลำดับ

ข.2 ค่าความแข็ง (ค่าเฉลี่ย)

ตารางที่ ข.3 ค่าความแข็งเฉลี่ยของเมล็ดมะขามหวาน

Aa1	4455.9	**Ba1**	6135.6	**Ca1**	5275.0
Aa2	4664.4	**Ba2**	2669.0	**Ca2**	4559.7
Aa3	3536.2	**Ba3**	4181.0	**Ca3**	4407.7
Ab1	4187.2	**Bb1**	6486.9	**Cb1**	5063.7
Ab2	3644.0	**Bb2**	3954.9	**Cb2**	5583.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ค่าความแข็งเฉลี่ยของเมล็ดมะขามหวาน (ต่อ)

Ab3	3638.6	Bb2	2918.1	Cb3	2787.5
Ac1	4421.4	Bc1	3954.2	Cc1	3958.4
Ac2	3242.9	Bc2	4394.9	Cc2	3770.1
Ac3	2536.3	Bc2	2735.2	Cc3	3091.3

หมายเหตุ: A, B และ C คือเวลาที่ใช้คั่ว 15, 20 และ 25 นาที ตามลำดับ

a, b และ c คือเวลาที่ใช้แช่ 60, 120 และ 180 นาที ตามลำดับ

1, 2 และ 3 คือเวลาที่ใช้นึ่ง 30, 60 และ 120 นาที ตามลำดับ

ตารางที่ ข.4 ค่าความแข็งเฉลี่ยของเมล็ดมะขามเปรี้ยว

Aa1	5158.5	Ba1	5349.7	Ca1	5461.1
Aa2	7965.8	Ba2	4119.8	Ca2	3878.3
Aa3	7323.1	Ba3	5109.4	Ca3	3128.3
Ab1	7469.8	Bb1	5067.0	Cb1	4745.4
Ab2	6002.9	Bb2	3391.5	Cb2	6101.8
Ab3	4194.4	Bb2	3129.7	Cb3	4294.1
Ac1	3637.3	Bc1	5913.1	Cc1	5123.2
Ac2	4608.0	Bc2	5280.7	Cc2	4792.4
Ac3	5185.6	Bc2	3582.0	Cc3	2058.2

หมายเหตุ: A, B และ C คือเวลาที่ใช้คั่ว 15, 20 และ 25 นาที ตามลำดับ

a, b และ c คือเวลาที่ใช้แช่ 60, 120 และ 180 นาที ตามลำดับ

1, 2 และ 3 คือเวลาที่ใช้นึ่ง 30, 60 และ 120 นาที ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายสุพจน์ กลีบสุวรรณ์
วัน เดือน ปีเกิด	22 สิงหาคม 2540
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2553 ประถมศึกษาปีที่ 1-6 โรงเรียนวัดบัวแก้ว
	พ.ศ. 2556 มัธยมศึกษาปีที่ 1-3 โรงเรียนนวมินทราชินูทิศ สตรีวิทยา ๒
	พ.ศ. 2559 มัธยมศึกษาปีที่ 4-6 โรงเรียนนวมินทราชินูทิศ สตรีวิทยา ๒ แผนการเรียนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์
	พ.ศ. 2563 วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร คณะอุตสาหกรรมอาหาร
ประสบการณ์การทำงาน และผลงานวิจัย	พ.ศ. 2562 นักศึกษาฝึกงาน ฝ่ายวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ บริษัท บีทาเก้น จำกัด
รางวัลที่เคยได้รับ	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้