

ผลของการแทนที่แป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งข้าวเหนียว แป้งมันฝรั่ง แป้งมันสำปะหลัง และแป้ง
เท้ายายม่อมต่ออัตรากษณะคุณภาพของก๋วยเตี๋ยวสดและก๋วยเตี๋ยวบแห้ง

นางสาวพรทิพย์ อ่อนนิมิตย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยปีการศึกษา 2554 ที่เข้ารับการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

EFFECT OF SUBSTITUTING RICE FLOUR WITH GLUTINOUS RICE, POTATO,
CASSAVA AND ARROWROOT FLOUR ON FRESH AND DRIED RICE NOODLE
QUALITY CHARACTERISTICS

Miss Porntip Onnimnit

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Food Technology

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของการแทนที่แป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งข้าวเหนียว แป้ง
มันฝรั่ง แป้งมันสำปะหลัง และแป้งเท้ายายม่อมต่อลักษณะ
คุณภาพของก๋วยเตี๋ยวสดและก๋วยเตี๋ยวอบแห้ง

โดย

นางสาวพรทิพย์ อ่อนนิมิตย์

สาขาวิชา

เทคโนโลยีทางอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

อาจารย์ ดร. ธนจันทร์ มหาวณิช

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกียรติศักดิ์ ดวงมาลัย

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ ดร. ธนจันทร์ มหาวณิช)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกียรติศักดิ์ ดวงมาลัย)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร. ดิเรช กวักเพฑูรย์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร. วรณา ตูลยธัญ)

พรทิพย์ อ่อนนิมิตย์ : ผลของการแทนที่แป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งข้าวเหนียว แป้งมันฝรั่ง แป้งมันสำปะหลัง และแป้งท้าวยายม่อมต่อลักษณะคุณภาพของก๋วยเตี๋ยวสดและก๋วยเตี๋ยวบแห้ง.
(EFFECT OF SUBSTITUTING RICE FLOUR WITH GLUTINOUS RICE, POTATO, CASSAVA AND ARROWROOT FLOUR ON FRESH AND DRIED RICE NOODLE QUALITY CHARACTERISTICS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : อ. ดร. ธนจันทร์ มหาวนิช, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ผศ.ดร. เกียรติศักดิ์ ดวงมาลัย, 93 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของชนิดและอัตราส่วนของแป้งที่ทดแทนแป้งข้าวเจ้าที่มีต่อลักษณะคุณภาพของก๋วยเตี๋ยวสด การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของก๋วยเตี๋ยวสดในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็น รวมทั้งคุณภาพในการหุงต้มของก๋วยเตี๋ยวบแห้ง แป้งที่ทดแทนแป้งข้าวเจ้าในงานวิจัยนี้ได้แก่ แป้งข้าวเหนียว แป้งมันฝรั่ง แป้งมันสำปะหลัง และแป้งท้าวยายม่อม โดยแปรอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งทดแทนเป็น 90:10, 80:20, 70:30 และ 60:40 โดยน้ำหนัก จากการศึกษาพฤติกรรมการเกิดเพสต์ของแป้งเดี่ยวและแป้งผสมพบว่าแป้งข้าวเจ้ามี pasting temperature และ setback สูงที่สุดในขณะที่ peak viscosity มีค่าต่ำที่สุด แป้งมันฝรั่งมี peak viscosity สูงที่สุด และแป้งข้าวเหนียวมี setback ต่ำที่สุด สำหรับแป้งผสมพบว่าพฤติกรรมการเกิดเพสต์แปรตามชนิดและอัตราส่วนของแป้งที่ทดแทนแป้งข้าวเจ้า ในด้านการเกิดเจลลาทีนในเซชันพบว่าแป้งข้าวเจ้า แป้งมันฝรั่ง แป้งมันสำปะหลัง และแป้งท้าวยายม่อม มีอุณหภูมิเจลลาทีนในเซชันสูงกว่าแป้งข้าวเหนียว การทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งข้าวเหนียว แป้งมันฝรั่ง และแป้งมันสำปะหลังไม่มีผลต่อลักษณะคุณภาพด้านสีของก๋วยเตี๋ยวสด อย่างไรก็ตามการทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งท้าวยายม่อมมีผลทำให้ค่า $+b^*$ มุมสี และความเข้มสีมีค่าเพิ่มขึ้น และดัชนีความขาวมีค่าลดลง ในด้านเนื้อสัมผัสพบว่าโดยรวมการทดแทนแป้งชนิดอื่นส่งผลให้ก๋วยเตี๋ยวสดมีความแน่นเนื้อและความแข็งลดลง ในขณะที่ไม่มีผลต่อความยืดหยุ่น การทดแทนด้วยแป้งข้าวเหนียวส่งผลให้ก๋วยเตี๋ยวสดมีการเกาะติดพื้นผิวเพิ่มขึ้นในขณะที่การเกาะตัวกันของเนื้ออาหารลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) สำหรับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของก๋วยเตี๋ยวสดในระหว่างการเก็บรักษา แปรอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งทดแทนเป็น 90:10 และ 70:30 โดยน้ำหนัก เก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 1 วัน และอุณหภูมิแช่เย็น (4 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 5 วัน พบว่าเมื่อเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น การเกิดเป็นผลึกใหม่ของอมิโลเพกทินในทุกตัวอย่างเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยก๋วยเตี๋ยวสดที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้ามีการเกิดเป็นผลึกใหม่ของอมิโลเพกทินสูงที่สุดในขณะที่ตัวอย่างอื่นๆ มีการเกิดเป็นผลึกใหม่ของอมิโลเพกทินในระดับที่ใกล้เคียงกัน ระหว่างการเก็บรักษาปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้มีค่าลดลงสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของการเกิดเป็นผลึกใหม่ของอมิโลเพกทิน และก๋วยเตี๋ยวมียืดหยุ่นเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดขึ้นสูงกว่าในตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นสำหรับคุณภาพในการหุงต้มของก๋วยเตี๋ยวบแห้ง พบว่าตัวอย่างที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวเหนียวมีการสูญเสียระหว่างการต้มสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ ในขณะที่อัตราส่วนการดูดน้ำกลับมีค่าใกล้เคียงกันในทุกตัวอย่าง ในด้านเนื้อสัมผัสพบว่าโดยรวมการทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งชนิดอื่นส่งผลให้ก๋วยเตี๋ยวบแห้งที่ต้มแล้วมีความแน่นเนื้อและความแข็งลดลง ตัวอย่างที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวเหนียวมีความแตกต่างในด้านความแน่นเนื้อ ความแข็ง การเกาะติดพื้นผิว ความยืดหยุ่น และการเกาะตัวกันของเนื้ออาหารแตกต่างจากตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ภาควิชา..... เทคโนโลยีทางอาหาร..... ลายมือชื่อ.....
สาขาวิชา..... เทคโนโลยีทางอาหาร..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ปีการศึกษา..... 2554..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

5172627923 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEYWORDS: RICE NOODLE/ GELATINIZATION/ RETROGRADATION/ PASTING/ RICE FLOUR/
CASSAVA FLOUR/ ARROWROOT FLOUR/ GLUTINOUS RICE FLOUR

PORNTIP ONNIMNIT: EFFECT OF SUBSTITUTING RICE FLOUR WITH GLUTINOUS RICE,
POTATO, CASSAVA AND ARROWROOT FLOUR ON FRESH AND DRIED RICE NOODLE
QUALITY CHARACTERISTICS. ADVISOR: THANACHAN MAHAWANICH, Ph. D., CO-ADVISOR:
ASST. PROF. KIATTISAK DUANGMAL, Ph. D., 93 pp.

This research aimed to study the effect of type and substitution level of selected flours on quality characteristics of fresh rice noodle. Quality changes of the noodles during ambient and refrigerated storage, as well as cooking quality of the dried noodles were also investigated. Rice flour in the noodle recipe was substituted by glutinous rice, potato, cassava or arrowroot flour at the ratio of 90:10, 80:20, 70:30 and 60:40 by weight. By monitoring the pasting behavior, the highest pasting temperature and setback, with the lowest peak viscosity, were shown by rice flour. Peak viscosity was highest in potato flour while setback was lowest in glutinous rice flour. Pasting behavior of the mixed flour samples was found to correlate with that of the substituting flour. In the matter of gelatinization, rice, potato, cassava and arrowroot flours possessed higher gelatinization temperature than glutinous rice flour. Color characteristics of the fresh rice noodle were virtually unaffected by the substitution of rice flour with glutinous rice, potato or cassava flour. However, addition of arrowroot flour resulted in an increase in $+b^*$, hue angle and chroma, with a concomitant decrease in whiteness index. In terms of textural properties, flour substitution caused a decrease in firmness and hardness, with no apparent effect on springiness. Glutinous rice flour substitution brought about a significant increase in adhesiveness with a decrease in cohesiveness ($p \leq 0.05$). For the storage study, noodle samples with substitution ratio of 90:10 and 70:30 were kept at room temperature (25 °C) for 1 day or at refrigerated temperature (4 °C) for 5 days. With increasing storage time, an increase in amylopectin recrystallization was detected in all samples. The highest amylopectin recrystallization was demonstrated in the rice flour sample while similar levels of amylopectin recrystallization were observed in all other samples. With increasing storage time, there were a decrease in water soluble starch content and an increase in firmness in all samples. Compared to those stored at room temperature, more pronounced changes in amylopectin recrystallization, water soluble starch content and firmness were noticed in the refrigerated samples. Regarding dried rice noodle quality, glutinous rice flour substitution resulted in an increase in cooking loss. Meanwhile, rehydration ratio was similar in all samples. Substituting rice flour by other flours caused a decrease in firmness and hardness of the rehydrated noodle. The glutinous rice flour-containing samples exhibited a significant difference in terms of firmness, hardness, adhesiveness, springiness and cohesiveness, compared to the rest of the samples.

Department:..... Food Technology.....

Student's Signature

Field of Study:..... Food Technology.....

Advisor's Signature

Academic Year:..... 2011.....

Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร. ธนจันทร์ มหาวนิช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกียรติศักดิ์ ดวงมาลัย อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมเป็นอย่างสูง ที่ให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทางการแก้ไขปัญหาและอุปสรรคต่างๆ ที่เกิดขึ้นได้เป็นอย่างดีตลอดระยะเวลาในการทำวิจัยที่ผ่านมา

ขอขอบพระคุณกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ซึ่งประกอบด้วยรองศาสตราจารย์ ดร. สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้แก่ อาจารย์ ดร. ดริษ กวักเพฑูรย์ และศาสตราจารย์ ดร. วรณา ตูลย์ธัญ ที่กรุณาเสนอแนะความคิดเห็นและคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ตั้งแต่การพัฒนาโครงร่างวิทยานิพนธ์ จนกระทั่งงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณบริษัท เฟิร์สสตาร์ช อินเทอร์เน็ตเซ็นแนล จำกัด สำหรับความอนุเคราะห์แบ่งปันฝรั่งสำหรับใช้ในงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ญาติพี่น้อง และเพื่อนสนิทที่ให้ความช่วยเหลือ สนับสนุน และเป็นกำลังใจให้ตลอดมาจนสามารถประสบความสำเร็จลุล่วงในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ นิสิตภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารที่คอยช่วยเหลือ ให้คำแนะนำและกำลังใจในการทำวิจัยครั้งนี้ได้เป็นอย่างดี ตลอดจนเจ้าหน้าที่ในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกฝ่ายสำหรับความช่วยเหลือตลอดระยะเวลาการทำวิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 วารสารปริทัศน์.....	3
2.1 สตาร์ช.....	3
2.2 ก้วยเตี๋ยว.....	8
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย.....	13
3.1 วัตถุประสงค์และสารเคมี.....	13
3.2 อุปกรณ์.....	14
3.3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	14
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	20
4.1 ลักษณะพื้นฐานของสตาร์ชแกลรูลและองค์ประกอบทางเคมีของแป้งที่ใช้เป็น วัตถุประสงค์.....	20
4.2 พฤติกรรมการเกิดเพสต์ของแป้งเดี่ยวและแป้งผสมที่ใช้ผลิตก้วยเตี๋ยว.....	24
4.3 การเกิดเจลลาที่โนเซชันของแป้งเดี่ยวและแป้งผสมที่ใช้ผลิตก้วยเตี๋ยว.....	28
4.4 ผลของอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งทดแทนต่อสมบัติของก้วยเตี๋ยวสด.....	30
4.5 ผลของอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งทดแทนต่อสมบัติของก้วยเตี๋ยวสดใน ระหว่างการเก็บรักษา.....	40
4.6 ผลของอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งทดแทนที่มีต่อคุณภาพก้วยเตี๋ยวอบแห้ง.....	47
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	56
รายการอ้างอิง.....	58
ภาคผนวก.....	65

	หน้า
ภาคผนวก ก.....	66
ภาคผนวก ข.....	78
ภาคผนวก ค.....	81
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	93

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 องค์ประกอบหลักของแป้งที่ใช้เป็นวัตถุดิบ.....	21
4.2 ปริมาณความชื้นของแป้งผสม.....	22
4.3 ปริมาณอิมัลชันและอิมัลซิไฟเออร์ในสตาร์ชที่ใช้เป็นวัตถุดิบ.....	23
4.4 ปริมาณฟอสฟอรัสของแป้งจากพืชหัว.....	23
4.5 สมบัติการเกิดเพสต์ของแป้งเดี่ยว.....	24
4.6 สมบัติการเกิดเพสต์ของแป้งผสม.....	27
4.7 อุณหภูมิเจลลิ่งในเซชันของแป้งเดี่ยว.....	28
4.8 อุณหภูมิเจลลิ่งในเซชันของแป้งผสม.....	29
ก.1 โพรไฟล์การทำงานของเครื่อง RVA.....	75
ค.1 ปริมาณความชื้นของก๋วยเตี๋ยวสด.....	81
ค.2 ความหนาของก๋วยเตี๋ยวสด.....	82
ค.3 สมบัติด้านสีของก๋วยเตี๋ยวสด.....	83
ค.4 สมบัติด้านเนื้อสัมผัสของก๋วยเตี๋ยวสด.....	84
ค.5 เอนทาลปีที่ใช้ในการหลอมละลายผลิตภัณฑ์อิมัลซิไฟเออร์ในก๋วยเตี๋ยวสดที่เก็บรักษาไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส.....	85
ค.6 ปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ในก๋วยเตี๋ยวสดที่เก็บรักษาไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส.....	86
ค.7 ปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ในก๋วยเตี๋ยวสดที่เก็บรักษาไว้ที่ 25 และ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 วัน.....	87
ค.8 ความแน่นเนื้อของก๋วยเตี๋ยวสดที่เก็บรักษาไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส.....	88
ค.9 ความแน่นเนื้อของก๋วยเตี๋ยวสดที่เก็บรักษาไว้ที่ 25 และ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 วัน.....	89
ค.10 ปริมาณความชื้นของตัวอย่างก๋วยเตี๋ยวในระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส.....	90
ค.11 การสูญเสียระหว่างการต้มและอัตราส่วนการดูดน้ำกลับของก๋วยเตี๋ยวอบแห้ง.....	91
ค.12 สมบัติด้านเนื้อสัมผัสของก๋วยเตี๋ยวอบแห้งที่ต้มแล้ว.....	92

สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 อมิโลส.....	4
2.2 อมิโลเพกทิน.....	4
2.3 โครงสร้างเชิงกิ่งของอมิโลเพกทิน.....	5
2.4 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารแขวนลอยสตาร์ชในระหว่างการให้ความร้อน.....	6
2.5 การพองตัว การละลาย และการเกิดเป็นเจลหรือรวมตัวกันตกตะกอนของสตาร์ช.....	7
2.6 แบบจำลองการเกิดรีโทรเกรเดชัน.....	8
4.1 ลักษณะสัณฐานของสตาร์ชแกรนูลของแป้งที่ใช้เป็นวัตถุดิบ.....	21
4.2 ปริมาณความชื้นของก๋วยเตี๋ยวสด.....	30
4.3 ความหนาของก๋วยเตี๋ยวสด.....	31
4.4 ค่าสีในระบบ CIELAB ของก๋วยเตี๋ยวสด.....	33
4.5 มุมสีของก๋วยเตี๋ยวสด.....	34
4.6 ความข้มสีของก๋วยเตี๋ยวสด.....	34
4.7 ดัชนีความขาวของก๋วยเตี๋ยวสด.....	35
4.8 ความแน่นเนื้อของก๋วยเตี๋ยวสด.....	36
4.9 ความแข็งของก๋วยเตี๋ยวสด.....	37
4.10 การเกาะติดพื้นผิวของก๋วยเตี๋ยวสด.....	38
4.11 ความยืดหยุ่นของก๋วยเตี๋ยวสด.....	39
4.12 การเกาะตัวกันของเนื้ออาหารของก๋วยเตี๋ยวสด.....	40
4.13 เอนทาลปีที่ใช้ในการหลอมละลายผลึกอมิโลเพกทินในก๋วยเตี๋ยวสดที่เก็บรักษาไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส.....	42
4.14 ปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ในก๋วยเตี๋ยวสดที่เก็บรักษาไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส.....	44
4.15 ปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ในก๋วยเตี๋ยวสดที่เก็บรักษาไว้ที่ 25 และ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 วัน.....	45
4.16 ความแน่นเนื้อของก๋วยเตี๋ยวสดที่เก็บรักษาไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส.....	46
4.17 ความแน่นเนื้อของก๋วยเตี๋ยวสดที่เก็บรักษาไว้ที่ 25 และ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 วัน.....	47

ภาพที่	หน้า
4.18 ปริมาณความชื้นของตัวอย่างก้วยเดี่ยวในระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส.....	48
4.19 การสูญเสียระหว่างการต้มของก้วยเดี่ยวอบแห้ง.....	49
4.20 อัตราส่วนการดูดน้ำกลับของก้วยเดี่ยวอบแห้ง.....	50
4.21 ความแน่นเนื้อของก้วยเดี่ยวอบแห้งที่ต้มแล้ว.....	51
4.22 ความแข็งของก้วยเดี่ยวอบแห้งที่ต้มแล้ว.....	52
4.23 การเกาะติดพื้นผิวของก้วยเดี่ยวอบแห้งที่ต้มแล้ว.....	53
4.24 ความยืดหยุ่นของก้วยเดี่ยวอบแห้งที่ต้มแล้ว.....	54
4.25 การเกาะตัวกันของเนื้ออาหารของก้วยเดี่ยวอบแห้งที่ต้มแล้ว.....	55
ก.1 รูปแบบโดยทั่วไปของกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA.....	76
ข.1 DSC thermogram ในช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลลาทีในเซชันของแป้งเดี่ยว.....	78
ข.2 DSC thermogram ในช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลลาทีในเซชันของแป้งผสมในอัตราส่วน 90:10.....	79
ข.3 รูปแบบโดยทั่วไปของกราฟการวิเคราะห์ความแน่นเนื้อโดยวิธีการกดตัด.....	79
ข.4 รูปแบบโดยทั่วไปของกราฟและพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์รูปแบบเนื้อสัมผัส.....	80
ข.5 กราฟเทียบมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้.....	80

บทที่ 1

บทนำ

ก๋วยเตี๋ยวมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ผลิตโดยนำข้าวเจ้ามาไม่ นำแป้งที่ได้มาผสมกับน้ำ นึ่งให้สุก ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นแผ่นบางสามารถตัดเป็นเส้นขนาดต่างๆ ตามต้องการลักษณะที่ดีของก๋วยเตี๋ยวคือมีความหนาม่าเสมอ มีสีขาวนวล ไม่มีกลิ่นหืน นุ่มและยืดหยุ่น ไม่เกาะติดกันตามวิธีการผลิตแบบดั้งเดิมนั้นแป้งข้าวเจ้าที่นำมาทำก๋วยเตี๋ยวได้มาจากข้าวเจ้าเมล็ดยาวซึ่งมีปริมาณอมิโลสสูง (สูงกว่า 25 มิลลิกรัม/100 กรัม) เนื่องจากข้าวเจ้าไม่มีกลูเตนช่วยในการเกิดเป็นโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ดังเช่นในแป้งสาลี คุณภาพและโครงสร้างของก๋วยเตี๋ยวจึงขึ้นกับสมบัติของสตาร์ชเป็นหลัก (Horndok and Noomhorm, 2007; Sandhu, Kaur and Mukesh, 2010)

ก๋วยเตี๋ยวเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการบริโภคกันอย่างยาวนานในประเทศแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยมีจำหน่ายในรูปแบบก๋วยเตี๋ยวจืด ก๋วยเตี๋ยวจืดมีข้อจำกัดที่สำคัญคือมีอายุการเก็บรักษาที่สั้นจากการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ จึงจำเป็นต้องบริโภคภายในวันเดียว อย่างไรก็ตามจากการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการดำเนินชีวิตของคนในปัจจุบันรวมทั้งการย้ายถิ่นของประชากรไปยังพื้นที่ต่างๆ ของโลก จึงมีความจำเป็นในการยืดอายุการเก็บรักษาของก๋วยเตี๋ยวนอกจากจะผลิตในรูปแบบก๋วยเตี๋ยวบแห้งซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถเก็บไว้ได้นานแต่ต้องนำมาคืนรูป (rehydrate) ก่อนบริโภคแล้ว การเก็บรักษาโดยการแช่เย็นเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถช่วยชะลอการเสื่อมเสียของก๋วยเตี๋ยวจืด โดยการเก็บรักษาโดยวิธีแช่เย็นนี้มีการนำไปใช้ในบางพื้นที่ เช่น สหรัฐอเมริกา อย่างไรก็ตามการยืดอายุการเก็บรักษา ก๋วยเตี๋ยวจืดโดยการแช่เย็นมีข้อจำกัดสำคัญคือก๋วยเตี๋ยวจืดจะมีเนื้อสัมผัสที่แข็งกระด้างเนื่องจากการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ช

ในการผลิตก๋วยเตี๋ยวจืดอาจมีการเติมแป้งชนิดอื่นร่วมกับแป้งข้าวเจ้าเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสและสมบัติอื่นๆ ตามต้องการ ปัจจุบันแป้งที่มักเติมในก๋วยเตี๋ยวจืด ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง ซึ่งช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสให้มีความยืดหยุ่นมากขึ้นและยังช่วยปรับปรุงลักษณะปรากฏในด้านความใส แป้งที่เติมลงไปนั้นนอกจากจะมีผลต่อสมบัติของก๋วยเตี๋ยวจืดแล้วยังอาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของก๋วยเตี๋ยวจืดในระหว่างการเก็บรักษาหรือคุณภาพของก๋วยเตี๋ยวบแห้งด้วย

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของชนิดและอัตราส่วนของแป้งชนิดต่างๆ ที่มีต่อสมบัติของก๋วยเตี๋ยวสด การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของก๋วยเตี๋ยวสดในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็น และคุณภาพในการหุงต้มของก๋วยเตี๋ยวบดแห้ง

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

ก๋วยเตี๋ยวเป็นผลิตภัณฑ์จากข้าวเจ้าเมล็ดยาวซึ่งมีปริมาณอมิโลสสูง (high-amylose long grain rice) และอาจมีการเติมแป้งชนิดอื่น เช่น แป้งมันสำปะหลัง ร่วมกับแป้งข้าวเจ้าเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสและสมบัติอื่นๆ ตามต้องการ เนื่องจากสตาร์ชเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของแป้งเหล่านี้ คุณภาพของก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตได้รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพของก๋วยเตี๋ยวในระหว่างการเก็บรักษาจึงขึ้นกับสมบัติของสตาร์ชเป็นหลัก (Hormdok and Noomhorm, 2007; Sandhu *et al.*, 2010)

2.1 สตาร์ช

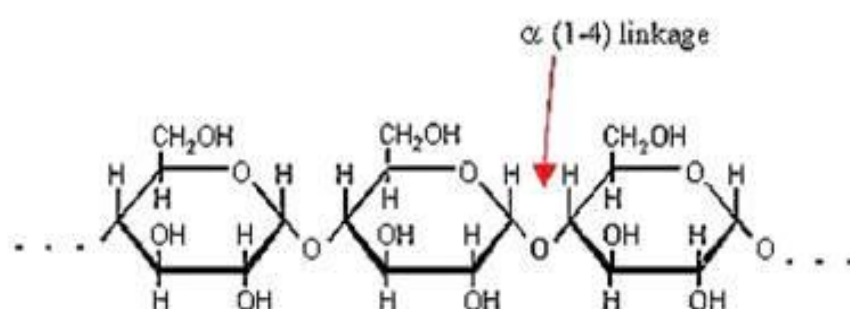
สตาร์ชเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยอะตอมคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6:10:5 มีสูตรโครงสร้างโดยทั่วไปคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ สตาร์ชประกอบด้วยหน่วยย่อยที่เป็นน้ำตาลกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก สตาร์ชประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิดคือ อมิโลสซึ่งเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้น และอมิโลเพกทินซึ่งเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่ง สตาร์ชจากแหล่งที่ต่างกันจะมีอัตราส่วนของอมิโลสต่ออมิโลเพกทินแตกต่างกัน ซึ่งมีผลให้สตาร์ชแต่ละชนิดมีสมบัติที่แตกต่างกัน (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2550)

2.1.1 โมเลกุลสตาร์ชและสตาร์ชแกรนูล

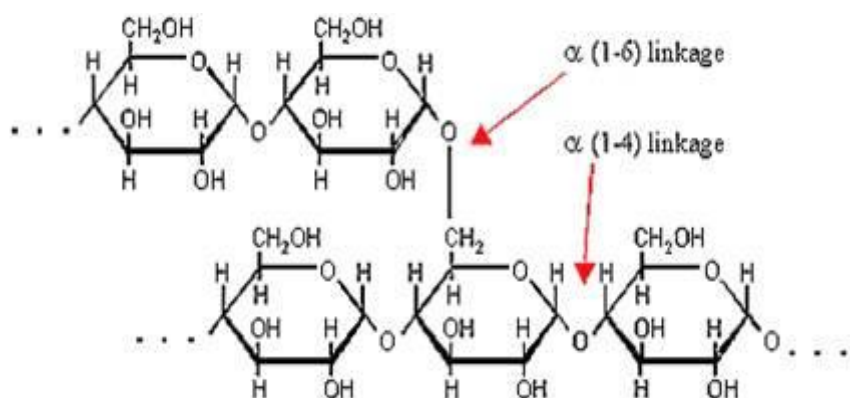
อมิโลส (ภาพที่ 2.1) เป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยหน่วยย่อยกลูโคสประมาณ 2000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกชนิด α -1,4 โมเลกุลอมิโลสมีโครงสร้างเชิงกิ่งอยู่ในปริมาณเล็กน้อย โดยเชื่อมต่อในตำแหน่งจุดแตกกิ่งด้วยพันธะไกลโคซิดิกชนิด α -1,6 อย่างไรก็ตามตำแหน่งของโซ่กิ่งในอมิโลสอยู่ห่างกันมาก สมบัติของอมิโลสจึงขึ้นกับส่วนที่เป็นโครงสร้างเชิงเส้นเป็นหลัก

อมิโลเพกทิน (ภาพที่ 2.2) เป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งที่ประกอบด้วยหน่วยย่อยกลูโคสประมาณ 2×10^6 หน่วย มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 10^7 - 10^9 ดาลตัน หรือประมาณ 1,000 เท่าของอมิโลส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของอมิโลเพกทินเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกชนิด α -1,4 ส่วนที่เป็นกิ่งสาขาเป็นพอลิเมอร์สายสั้นของกลูโคส โซ่กิ่งของอมิโลเพกทินมีระดับพอลิเมอร์ไรเซชัน

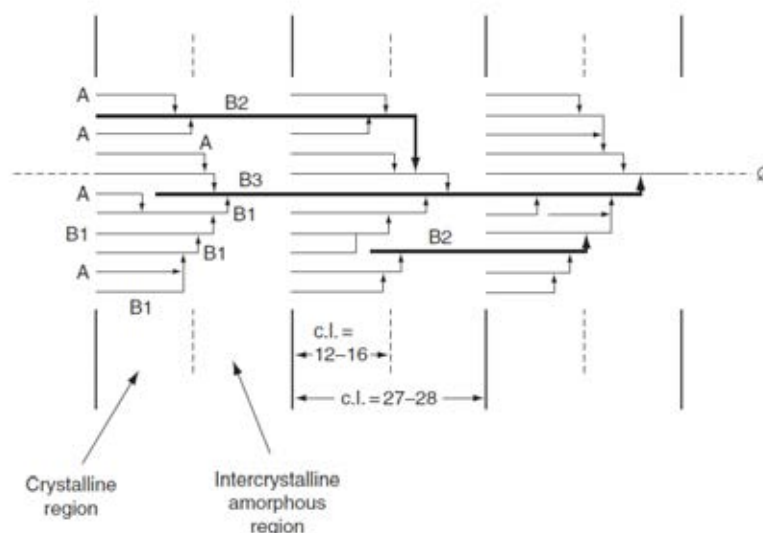
(degree of polymerization) อยู่ในช่วง 10-60 หน่วย โดยที่จุดแตกกิ่งเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกชนิด α -1,6 โครงสร้างเชิงกิ่งนี้มีอยู่ประมาณ 5% ของกลูโคสทั้งหมดในอมิโลเพกทิน โครงสร้างเชิงกิ่งของอมิโลเพกทินประกอบด้วยสายโซ่สามชนิด คือ โซ่เอ โซ่บี และโซ่ซี (ภาพที่ 2.3) โซ่เอเป็นโครงสร้างที่ไม่มีกิ่งและเชื่อมต่อกับโซ่อื่นที่ตำแหน่งเดียวเท่านั้น โซ่บีมีโครงสร้างแบบกิ่งเชื่อมต่อกับโซ่อื่น 2 สายหรือมากกว่า อมิโลเพกทินประกอบด้วยโซ่เอและโซ่บีในอัตราส่วน 0.8-0.9 : 1 ส่วนโซ่ซีเป็นโครงสร้างที่มีปลายรีดิคซึ่งมีเพียงปลายเดียวในโมเลกุลอมิโลเพกทิน



ภาพที่ 2.1 อมิโลส



ภาพที่ 2.2 อมิโลเพกทิน



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างเชิงกิ่งของอมีโลเพกทิน

ที่มา: Ratnayake and Jackson (2009)

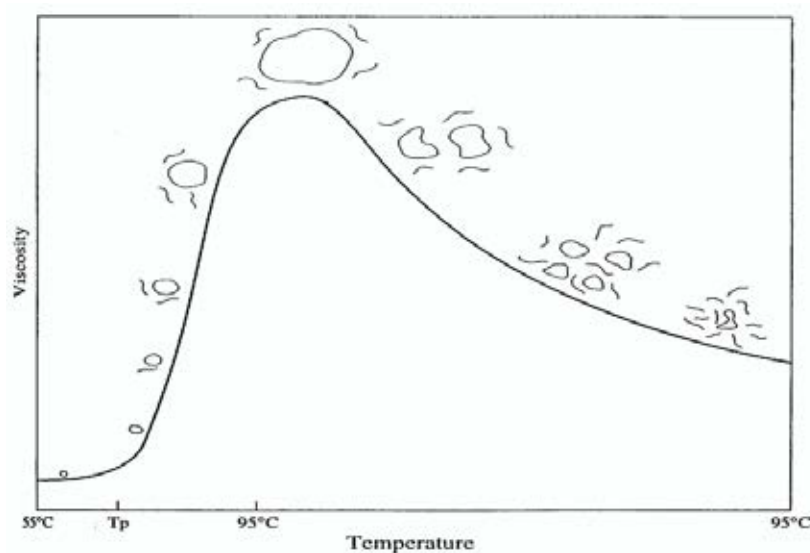
2.1.2 การเปลี่ยนแปลงของสตาร์ชที่เกิดขึ้นในระหว่างการผลิตและการเก็บรักษา กล้วยเดี่ยว

2.1.2.1 เจลาทีไนเซชัน

อมีโลสรวมทั้งส่วนที่เป็นเส้นตรงของโมเลกุลอมีโลเพกทินสามารถเกิดการจัดเรียงตัวเป็นโครงสร้างแบบผลึก โดยเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของสายโซ่ที่อยู่ติดกัน ในขณะที่บริเวณจุดแตกกิ่งของอมีโลเพกทินเกิดการจัดเรียงตัวของสายโซ่และเกิดพันธะระหว่างกันได้ยากเนื่องจากการขัดขวางเชิงโครงสร้าง (steric hindrance) จึงเกิดเป็นโครงสร้างแบบอสัณฐาน

ภาพที่ 2.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงของสตาร์ชแกรนูลและความหนืดของสารแขวนลอยสตาร์ชเมื่อให้ความร้อน เมื่อนำสตาร์ชมาแขวนลอยในน้ำเย็น น้ำจะสามารถผ่านเข้าสู่ส่วนที่เป็นอสัณฐานได้เนื่องจากเป็นโครงสร้างที่มีความเป็นระเบียบต่ำกว่า แต่ผ่านเข้าสู่ส่วนที่เป็นผลึกได้ยาก สตาร์ชแกรนูลจึงดูดซึมน้ำเย็นได้อย่างจำกัดและเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ ความหนืดของสารแขวนลอยจะไม่เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด สตาร์ชแกรนูลยังคงรักษารูปร่างและลักษณะไปรีพริเนชันไว้ได้ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สารแขวนลอยสตาร์ชจนถึงอุณหภูมิหนึ่งซึ่งขึ้นกับชนิดของสตาร์ช พันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลสตาร์ชจะถูกทำลายลงโดยความร้อน และหมู่

ไฮดรอกซิลอิสระที่ปรากฏขึ้นสามารถเกิดอันตรกิริยากับน้ำได้ สตาร์ชสูญเสียโครงสร้างที่เป็นผลึก และลักษณะไปรีฟรินเจนซ์ ปรากฏการณ์นี้เรียกว่าเจลาทีไนเซชัน สตาร์ชแกรนูลพองตัวอย่างรวดเร็ว โดยการพองตัวนี้เป็นแบบผันกลับไม่ได้ ความหนืดของสารแขวนลอยสตาร์ชจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากความเสียหายระหว่างแกรนูลที่พองตัว สตาร์ชละลายออกมาเพิ่มขึ้น หากยังคงให้ความร้อนต่อไปสตาร์ชแกรนูลที่เปราะบางจะแตกออก ส่งผลให้ความหนืดของสารแขวนลอยเริ่มลดต่ำลง (BeMiller and Whistler, 1996)

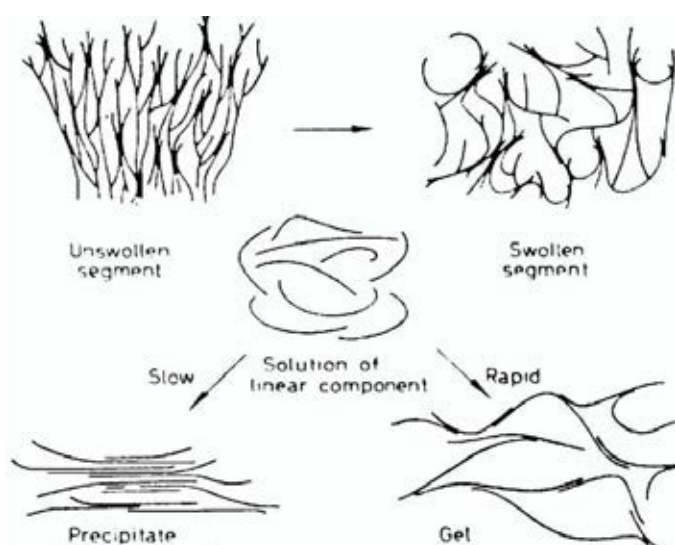


ภาพที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารแขวนลอยสตาร์ชในระหว่างให้ความร้อน
ที่มา: BeMiller และ Whistler (1996)

2.1.2.2 การเกิดเป็นเจล (gelation)

เจลคือระบบของคอลลอยด์ที่มีการเชื่อมต่อกันระหว่างอนุภาคเกิดเป็นโครงร่างตาข่ายที่มีความโปร่ง (porous network) ซึ่งสามารถเก็บกักน้ำหรือสารละลายไว้ในโครงร่างนั้นได้ เมื่อนำเพสต์สตาร์ชที่ให้ความร้อนแล้วมาทำให้เย็นลง โมเลกุลสตาร์ชจะสามารถเชื่อมต่อกันได้ด้วยอันตรกิริยาทางเคมีต่างๆ เช่น พันธะไฮโดรเจน และเปลี่ยนจากเพสต์ที่มีลักษณะเหลวไปเป็นเจลที่มีลักษณะกึ่งแข็ง (semi-solid) โครงสร้างของอาหารหลายชนิดมีพื้นฐานอยู่บนการเกิดเป็นเจลของสตาร์ช เช่น ขนมเปียกปูน ขนมชั้น ลอดช่อง รวมถึงกวยเตี๋ยว ภาพที่ 2.5

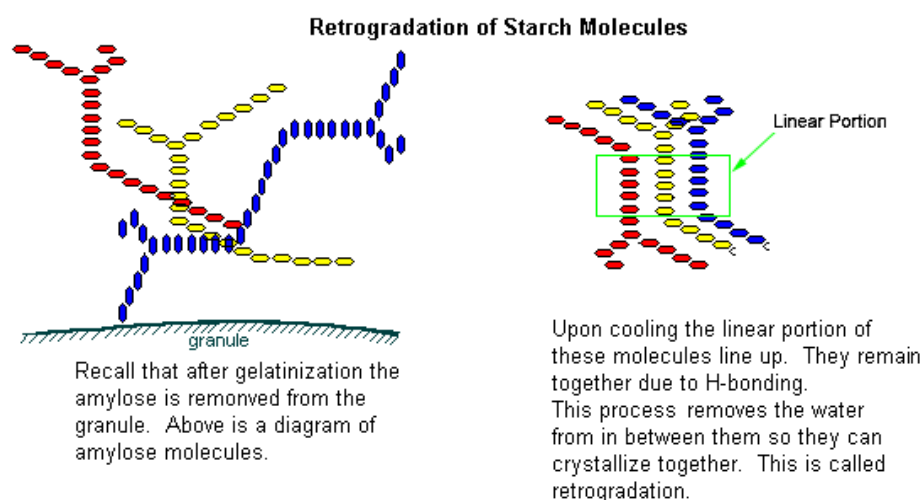
แสดงการเปลี่ยนแปลงของสตาร์ช ได้แก่ การพองตัว การละลาย และการเกิดเป็นเจลหรือรวมตัวกันตกตะกอน



ภาพที่ 2.5 การพองตัว การละลาย และการเกิดเป็นเจลหรือรวมตัวกันตกตะกอนของสตาร์ช
ที่มา: deMan (1990)

2.1.2.3 รีโทรเกรเดชัน

เมื่อทิ้งเจลสตาร์ชหรือเพสต์สตาร์ชไว้จะเกิดการขับโมเลกุลของน้ำ (dehydration) และสูญเสียความสามารถในการละลาย (insolubilization) ของสตาร์ช ปฏิกิริยานี้เรียกว่ารีโทรเกรเดชัน (ภาพที่ 2.6) โดยเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลสตาร์ชเพิ่มมากขึ้น อมิโลสจะเกิดรีโทรเกรเดชันเร็วกว่าอมิโลเพกทินเนื่องจากมีส่วนของโมเลกุลที่เป็นเส้นตรงมากกว่า จึงจัดเรียงตัวเป็นระเบียบและเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่ได้ง่ายกว่า ในขณะที่อมิโลเพกทินมีโครงสร้างเชิงกิ่งทำให้เกิดการขัดขวางเชิงโครงสร้าง จึงเกิดรีโทรเกรเดชันได้ช้ากว่าอมิโลส (วรรณงา ตูดยธัญ, 2551; Mariotti *et al.*, 2009) อัตราการเกิดรีโทรเกรเดชันขึ้นอยู่กับชนิดของสตาร์ช ความเข้มข้นของเจลหรือเพสต์สตาร์ช อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษา (Morikawa and Nishinari, 2000) การเกิดรีโทรเกรเดชันทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์จากแป้ง สำหรับก๋วยเตี๋ยว การเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชในระหว่างการเก็บรักษาทำให้ก๋วยเตี๋ยวมีเนื้อสัมผัสที่แข็งกระด้างขึ้น (Usui, 1987; Nguyen, 2010)



ภาพที่ 2.6 แบบจำลองการเกิดรีโทรเกรเดชัน

ที่มา: Kitts (1997)

2.2 ก๋วยเตี๋ยว (rice noodle)

2.2.1 นิยามและมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ก๋วยเตี๋ยว

อ้างอิงจากมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมก๋วยเตี๋ยว (มอก. 959-2533) (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2533) ก๋วยเตี๋ยว หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากข้าวเจ้าที่นำมาไม่หรือแป้งข้าวเจ้า ซึ่งอาจมีแป้งชนิดอื่นผสมอยู่ด้วยก็ได้ ทำให้เป็นแผ่นบาง นึ่งให้สุกแล้วตัดเป็นเส้น ลักษณะทั่วไปคือ มีขนาดเส้นใกล้เคียงกัน มีความหนาสม่ำเสมอโดยมีความหนาเฉลี่ยไม่เกิน 0.7 มิลลิเมตร มีสีขาวนวลและสม่ำเสมอ มีกลิ่นรสตามธรรมชาติ ไม่มีกลิ่นหืนหรือกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ มีเนื้อสัมผัสนุ่มและเหนียวไม่เกาะติดกัน สำหรับก๋วยเตี๋ยวบแห้งต้องมีความชื้นไม่เกิน 12%

2.2.2 ชนิดของก๋วยเตี๋ยว

ผลิตภัณฑ์ก๋วยเตี๋ยวแบ่งออกได้เป็น 4 ชนิด ได้แก่ ก๋วยเตี๋ยวสด ก๋วยเตี๋ยวกึ่งแห้ง ก๋วยเตี๋ยวบแห้ง และก๋วยเตี๋ยวชนิดหนึ่งให้สุกเพียงครั้งเดียว (อรพรรณ กัลปนายุทธ, 2547)

ก๋วยเตี๋ยวสดเป็นก๋วยเตี๋ยวที่ได้จากการนำแผ่นก๋วยเตี๋ยวที่นึ่งสุกแล้วมาตัดเป็นเส้นขนาดต่างๆ มีความชื้นประมาณ 60% มีอายุการเก็บรักษาที่สั้นจากการเสื่อมเสียเนื่องจาก

จุลินทรีย์ โดยทั่วไปมักบริโภคภายในวันที่ผลิตในพื้นที่ที่มีปริมาณการบริโภคต่ำ เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา มีการจำหน่ายก๋วยเตี๋ยวสดในรูปผลิตภัณฑ์แช่เย็น อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ก๋วยเตี๋ยวแช่เย็นมักมีปัญหาด้านความแข็งแรงกระด้างของเนื้อสัมผัสเนื่องจากรีโทรเกรเดชันของสตาร์ช

ก๋วยเตี๋ยวกึ่งแห้งเป็นก๋วยเตี๋ยวที่ผ่านการลดความชื้นลงบางส่วน ก๋วยเตี๋ยวนิดนี้มีความชื้นประมาณ 37% โดยทั่วไปมีอายุการเก็บรักษาประมาณ 1-2 วัน ส่วนก๋วยเตี๋ยวบแห้งเป็นก๋วยเตี๋ยวที่ผ่านการอบแห้งจนมีความชื้นไม่เกิน 12% สามารถเก็บรักษาได้นานในภาวะที่เหมาะสม

การนึ่งให้สุกเพียงครั้งเดียวเป็นวิธีเฉพาะในการผลิตแผ่นก๋วยจั๊บ โดยนึ่งให้สุกเพียงครั้งเดียวของความหนาของแผ่น หลังจากนั้นจึงตัดให้ได้รูปร่างตามต้องการ แล้วนำไปอบแห้ง มีความชื้นประมาณ 12%

2.2.3 แป้งที่ใช้ในการผลิตก๋วยเตี๋ยว

ตามวิธีการผลิตก๋วยเตี๋ยวแบบดั้งเดิม แป้งที่นำมาทำก๋วยเตี๋ยวได้มาจากข้าวเจ้าเมล็ดยาวซึ่งมีปริมาณอะมิโลสสูง (สูงกว่า 25 มิลลิกรัม/100 กรัม) (Hormdok and Noomhorm, 2007) อย่างไรก็ตามอาจมีการใช้แป้งชนิดอื่นร่วมกับแป้งข้าวเจ้า เช่น แป้งมันสำปะหลัง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสและสมบัติอื่นๆ ตามต้องการ ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะแป้งที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง และแป้งท้าวยายม่อม

2.2.3.1 แป้งข้าวเจ้า

ข้าวที่นำมาผลิตเป็นแป้งข้าวเจ้าเป็นข้าวชนิดอะมิโลสสูงในการผลิตแป้งข้าวเจ้าใช้วิธีการไม่เปียก อย่างไรก็ตามยังคงมีโปรตีนและองค์ประกอบอื่นๆ คงอยู่ในแป้ง แกรนูลของข้าวเจ้ามีรูปร่างหลายเหลี่ยมขนาด 2-9 ไมครอน (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2529ก) เจลแป้งข้าวเจ้ามีลักษณะแข็งและเปราะ (ปิติพร ฤทธิเรืองเดช และคณะ, 2546) แป้งข้าวเจ้าใช้เป็นส่วนผสมในอาหารและขนมต่างๆ ได้แก่ ก๋วยเตี๋ยว ขนมจีน ข้าวเหนียวปอกหม้อ ขนมเปียกปูน ลอดช่อง และปลากริม

2.2.3.2 แป้งข้าวเหนียว

แป้งข้าวเหนียวผลิตจากข้าวเหนียวขาว แกรนูลของข้าวเหนียวมีรูปร่างหลายเหลี่ยมขนาด 2-9 ไมครอน (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2529ข) แป้งข้าวเหนียวมีปริมาณอมิโลสอยู่น้อยหรือไม่มีเลย (0-2%) (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุลปิยะจอมขวัญ, 2550) ให้ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่เนียนและนุ่ม (smooth and soft texture) เจลแป้งข้าวเหนียวมีการเกาะติดพื้นผิวและความยืดหยุ่นสูง อาหารที่ใช้แป้งข้าวเหนียวเป็นส่วนผสม ได้แก่ ขนมต้ม กาละแม และขนมเทียน

2.2.3.3 แป้งมันสำปะหลัง

แป้งมันสำปะหลังผลิตจากส่วนราก (root) ของต้นมันสำปะหลัง (*Manihot esculenta*) ซึ่งเป็นพืชในวงศ์ Euphorbiaceae ลักษณะเด่นของแป้งมันสำปะหลังคือมีความบริสุทธิ์สูง มีสิ่งปนเปื้อนต่ำ โดยมีสตาร์ชอยู่มากกว่า 95% และมีโปรตีนและไขมันในปริมาณค่อนข้างต่ำ (ต่ำกว่า 1%) แกรนูลมีรูปร่างกลมหรือรูปไข่และอาจมีรอยบุ๋มที่ปลายด้านหนึ่ง แกรนูลมีขนาดปานกลางคืออยู่ในช่วง 3-40 ไมครอน และมีขนาดโดยเฉลี่ยประมาณ 12-15 ไมครอน แป้งมันสำปะหลังมีปริมาณอมิโลสค่อนข้างต่ำ คือ 18-23% ด้วยเหตุที่แป้งมันสำปะหลังมีอมิโลสค่อนข้างต่ำทำให้มีการจับกันของหมู่ไฮดรอกซิลของอมิโลสในระหว่างเย็นตัวต่ำ แป้งมันสำปะหลังจึงมีการคืนตัวน้อย (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2550; Takeda, Hizukuri and Juliano, 1987) แป้งมันสำปะหลังใช้เพื่อให้ความข้นหนืดในอาหารหลายชนิด ได้แก่ ซุปและซอส นอกจากนี้ยังใช้เป็นส่วนผสมในอาหารที่มีลักษณะเป็นเจล เช่น ขนมมันสำปะหลัง ลอดช่องสิงคโปร์ ขนมชั้น ทับทิมกรอบ และบัวลอยแก้ว

2.2.3.4 แป้งมันฝรั่ง

มันฝรั่งมีความสำคัญทางด้านอาหารของโลกรองลงมาจากข้าวสาลี ข้าวเจ้า และข้าวโพด (Alvani และคณะ, 2011) โดยแป้งมันฝรั่งผลิตจากส่วนหัว (tuber) ของต้นมันฝรั่ง (*Solanum tuberosum*) ซึ่งเป็นพืชในวงศ์ Solanaceae แป้งมันฝรั่งมีเถ้าไนโตรเจนและน้ำตาลน้อยมาก และไม่มีไขมัน (บุศรารวรรณ ไชยะ, 2547) แกรนูลมีลักษณะเป็นรูปไข่ขนาด 37.5-50 ไมครอน อาหารที่ใช้แป้งมันฝรั่งเป็นส่วนผสมเพื่อให้ได้ลักษณะเป็นเจล ได้แก่ พุดดิ้ง

2.2.3.5 แป้งท้าวยายม่อม

แป้งท้าวยายม่อมผลิตจากส่วนหัวของต้นท้าวยายม่อม (*Tacca leontopetaloides* (L.) Kuntze) ซึ่งเป็นพืชในวงศ์ Taccaceae ต้นท้าวยายม่อมมีชื่ออื่นๆ ในภาษาไทย ได้แก่ บุกรอ ไม้เท้าฤาษี และสิงโตดำ ส่วนชื่อภาษาอังกฤษที่ใช้เรียกก็มีหลากหลาย ได้แก่ East Indian arrowroot, Polynesian arrowroot, Fiji arrowroot และ Tahiti arrowroot ท้าวยายม่อมมีถิ่นกำเนิดในแอฟริกาเขตร้อน (tropical Africa) เอเชียใต้ เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ออสเตรเลียเหนือ นิวกินี ซามัว ไมโครนีเชีย และฟีจี แป้งท้าวยายม่อมผลิตโดยนำหัวท้าวยายม่อม มาบดแล้วแช่ในน้ำ จากนั้นนำแป้งที่ตกตะกอนมาล้างเพื่อกำจัดรสขม แล้วจึงนำไปทำให้แห้ง แกรนูลของแป้งท้าวยายม่อมมีลักษณะเป็นรูปไข่และอาจมีรอยปุ่ม คล้ายกับแกรนูลแป้งมันสำปะหลัง มีขนาด 13-50 ไมครอน มีการนำไปใช้เพื่อให้ความข้นหนืดแก่อาหาร เช่น ราดหน้า กระเพาะปลา นอกจากนี้ยังใช้ในการทำขนมหลายชนิดที่มีลักษณะเป็นเจลยืดหยุ่น เช่น ขนมชั้น บัวลอย

2.2.4 ผลของชนิดของแป้งที่มีต่อพฤติกรรมการเกิดเพสต์ และสมบัติของเจลแป้ง กววยเตี่ยว และผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้อง

Wang และคณะ (2000) ศึกษาผลของสตาร์ชข้าวโพดต่อสมบัติการเกิดเพสต์ของฟลาวร์ข้าวเจ้า โดยใช้ตัวอย่างฟลาวร์ข้าวเจ้า สตาร์ชข้าวโพด และฟลาวร์ข้าวเจ้าผสมสตาร์ชข้าวโพดในอัตราส่วน 3:1 และ 1:3 พบว่าฟลาวร์ข้าวเจ้าและสตาร์ชข้าวโพดมีอุณหภูมิเจลาทีนในเซชันเท่ากับ 87.5 และ 83 องศาเซลเซียสตามลำดับ และแป้งผสมทั้งสองตัวอย่างมีอุณหภูมิเจลาทีนในเซชันต่ำกว่าฟลาวร์ข้าวเจ้าและใกล้เคียงกับสตาร์ชข้าวโพดมากกว่า ส่วนการคืนตัวมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนของสตาร์ชข้าวโพดเพิ่มสูงขึ้น

ปิติพร ฤทธิเรืองเดช และคณะ (2546) ศึกษาพฤติกรรมการเกิดเพสต์ของแป้งท้าวยายม่อมเปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้า โดยศึกษาแป้งท้าวยายม่อม 2 ตัวอย่าง ได้แก่ แป้งท้าวยายม่อมที่เตรียมในห้องปฏิบัติการและแป้งท้าวยายม่อมทางการค้า พบว่าแป้งท้าวยายม่อมที่เตรียมในห้องปฏิบัติการ แป้งท้าวยายม่อมทางการค้า แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเจ้ามี pasting temperature เท่ากับ 73.0, 74.2, 69.4 และ 73.0 องศาเซลเซียสตามลำดับ แป้งทุกตัวอย่างมี final viscosity สูงกว่า trough แสดงว่าเมื่อให้ความร้อนและทำให้เย็นตัวลงแป้งทุกตัวอย่างสามารถเกิดเป็นเจลได้ จึงเหมาะสมกับการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ที่มี

ลักษณะเป็นเจล เมื่อพิจารณาจาก setback from peak พบว่าแป้งข้าวเจ้ามีค่า setback สูงที่สุด (101.54 RVU) รองลงมาได้แก่แป้งท้าวยายม่อมที่เตรียมในห้องปฏิบัติการและแป้งท้าวยายม่อมทางการค้า (-78.92 และ -99.84 RVU ตามลำดับ) ส่วนแป้งมันสำปะหลังมีค่า setback ต่ำที่สุด (-137.9 RVU)

Surojanametakul, Tungtrakul และ Varanyanond (2006) ศึกษาปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์ที่ละลายน้ำได้ (water soluble polysaccharides, WSP) และสมบัติการเกิดเพสต์ของแป้งจากข้าวเหนียว 3 สายพันธุ์ ได้แก่ กข6 กข10 และสันป่าตอง พบว่าแป้งข้าวเหนียวมีปริมาณ WSP แตกต่างกันขึ้นกับสายพันธุ์ โดยแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 มีปริมาณ WSP สูงที่สุด รองลงมาได้แก่ กข10 และสันป่าตอง ตามลำดับ เนื่องจาก WSP ละลายได้ในน้ำจึงมีบทบาทสำคัญต่อสมบัติการเกิดเพสต์ของแป้ง ในงานวิจัยนี้พบว่า peak viscosity ของเพสต์แป้งข้าวเหนียวมีความสัมพันธ์กับปริมาณ WSP โดยเมื่อกำจัด WSP ออกจากแป้ง peak viscosity ของเพสต์แป้งมีค่าลดลงอย่างมาก

โสภิตา สืบวงษา และ อนุกุล วัฒนสุข (2550) ศึกษาผลของสตาร์ชข้าวเจ้าดัดแปรแบบเชื่อมข้าม (cross-linked rice starch, CR) และสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรแบบเชื่อมข้าม (cross-linked tapioca starch, CT) ต่อคุณภาพของก๋วยเตี๋ยวอบแห้ง โดยเติมสตาร์ชดัดแปรในปริมาณ 3 และ 6% โดยน้ำหนักของแป้งข้าวเจ้าที่ใช้ผลิตก๋วยเตี๋ยว พบว่าเจลที่เติมสตาร์ชดัดแปรทุกตัวอย่างมีความแข็ง (hardness) และความยืดหยุ่น (springiness) ไม่แตกต่างจากเจลแป้งข้าวเจ้า ($p>0.05$) อย่างไรก็ตามเจลของแป้งข้าวเจ้าผสม CT เข้มข้น 3% มีการเกาะตัวกัน (cohesiveness) สูงกว่าเจลแป้งข้าวเจ้าอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) เส้นก๋วยเตี๋ยวอบแห้งที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสม CR เข้มข้น 3% และแป้งข้าวเจ้าผสม CT เข้มข้น 3% มีอัตราส่วนการดูดน้ำกลับ (rehydration ratio) และการสูญเสียในระหว่างการต้ม (cooking loss) ไม่แตกต่างจากก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

Sandhu และคณะ (2010) ศึกษาสมบัติการเกิดเพสต์และเนื้อสัมผัสของเจลที่ทำจากสตาร์ชมันฝรั่ง สตาร์ชข้าวเจ้า และสตาร์ชมันฝรั่งผสมสตาร์ชข้าวเจ้าในอัตราส่วน 3:1, 1:1 และ 1:3 โดยน้ำหนัก พบว่าสตาร์ชมันฝรั่งมีค่า peak viscosity, final viscosity และ setback viscosity สูงกว่าสตาร์ชข้าวเจ้า เจลสตาร์ชมันฝรั่งมีความแข็งและการเกาะตัวกันสูงกว่าเจลสตาร์ชข้าวเจ้า

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุดิบและสารเคมี

3.1.1 วัสดุดิบสำหรับการผลิตถ้วยเดียว

แป้งข้าวเจ้า ตราช้างสามเศียร (บริษัท โรงเส้นหมี่ขอเฮง จำกัด, นครปฐม)

แป้งข้าวเหนียว ตราช้างสามเศียร (บริษัท โรงเส้นหมี่ขอเฮง จำกัด, นครปฐม)

แป้งมันสำปะหลัง ตราปลาไทย 5 ดาว (บริษัท อี.ที.ซี.เคียบตงจัน จำกัด, นนทบุรี)

แป้งมันฝรั่ง (บริษัท เฟิร์สสตาร์ช อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด, กรุงเทพฯ)

แป้งท้าวยายม่อม (ร้านชูถิ่น, กรุงเทพฯ)

กรดเบนโซอิก เกรดสำหรับอาหารและยา (Purox[®] B food/pharma, Emerald Kamala Chemical, Cuyahoga Falls, OH)

3.1.2 สารเคมี

Acetic acid, AR grade (QRëC™, Quality Reagent Chemical, New Zealand)

Boric acid, AR grade (QRëC™, Quality Reagent Chemical, New Zealand)

Ethanol, AR grade (QRëC™, Quality Reagent Chemical, New Zealand)

Hydrochloric acid, AR grade (QRëC™, Quality Reagent Chemical, New Zealand)

Iodine, AR grade (QRëC™, Quality Reagent Chemical, New Zealand)

Methyl red, AR grade (QRëC™, Quality Reagent Chemical, New Zealand)

Methylene blue, AR grade (QRëC™, Quality Reagent Chemical, New Zealand)

Petroleum ether, AR grade (QRëC™, Quality Reagent Chemical, New Zealand)

Potassium iodide, AR grade (Ajax Finechem, Tarren Point, Australia)

Sodium hydroxide, anhydrous, AR grade (QRëC™, Quality Reagent Chemical, New Zealand)

Sulfuric acid, AR grade (QRëC™, Quality Reagent Chemical, New Zealand)

3.2 อุปกรณ์

Chroma meter, model CR-300 (Minolta, Tokyo, Japan)

Differential scanning calorimeter (DSC), Diamond DSC[®] (Perkin Elmer, Waltham, MA)

Micrometer, model 7301 (Mitutoyo, Tokyo, Japan)

Rapid visco analyzer (RVA), model RVA-4 (Newport Scientific, Warriewood, Australia)

Scanning electron microscope, model JSM-5410 LV (JEOL, Tokyo, Japan)

Texture analyzer, TA XTplus (Stable Micro Systems, Surrey, UK)

UV/Vis spectrophotometer, model V-530 (Jasco, Easton, MD)

3.3 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย

3.3.1 ลักษณะสัณฐานของสตาร์ชแกรนูลและองค์ประกอบทางเคมีของแป้งที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

แป้งที่ใช้เป็นวัตถุดิบ ได้แก่ แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง และแป้งเท้ายายม่อม

3.3.1.1 ลักษณะสัณฐานของสตาร์ชแกรนูล

สกัดสตาร์ชจากฟลาวัวร์ (ภาคผนวก ก.1) นำสตาร์ชที่ได้มาศึกษาลักษณะสัณฐานของสตาร์ชแกรนูลโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope) (JEOL, Tokyo, Japan) (ภาคผนวก ก.2)

3.3.1.2 องค์ประกอบหลัก (proximate composition)

วิเคราะห์ปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีนหยาบ ไขมันหยาบ และเส้นใยหยาบตามวิธี AOAC (2000) (ภาคผนวก ก.3-ก.7) และคำนวณปริมาณคาร์โบไฮเดรตโดยใช้สูตรที่ 3.1 (James, 1995)

$$\% \text{Carbohydrates (wb)} = 100 - (\% \text{moisture} + \% \text{ash} + \% \text{crude protein} + \% \text{crude fat} + \% \text{crude fiber}) \quad (3.1)$$

3.3.1.3 ปริมาณสตาร์ช อมิโลส และอมิโลเพกทิน

สกัดสตาร์ชจากฟลาวัวร์ (ภาคผนวก ก.1) นำตัวอย่างที่ได้มาวิเคราะห์ปริมาณสตาร์ชตามวิธี AACC 76-11 (AACC, 1990)

สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณอมิโลส สกัดไขมันจากสตาร์ชตามวิธีของ Gibson, Solah และ McCleary (1997) และวิเคราะห์ iodine affinity (IA) ของสตาร์ชและอมิโลสด้วยวิธีแอมเพโรเมตริกไทเทรชัน (amperometric titration) ตามที่ปรากฏใน Takeda และคณะ (1987) คำนวณปริมาณอมิโลสโดยใช้สูตรที่ 3.2 และคำนวณปริมาณอมิโลเพกทินจากส่วนต่างดังสูตรที่ 3.3

$$\% \text{Amylose (apparent)} = \frac{IA_{\text{starch}}}{IA_{\text{amylose}}} \times 100 \quad (3.2)$$

เมื่อ IA_{starch} คือ iodine affinity ของสตาร์ช (กรัม/100 กรัม)

IA_{amylose} คือ iodine affinity ของอมิโลส มีค่าเท่ากับ 20 กรัม/100 กรัม

(Takeda, Hizukuri and Juliano, 1986)

$$\% \text{Amylopectin} = 100 - \% \text{amylose} \quad (3.3)$$

3.3.1.4 ปริมาณฟอสฟอรัส

วิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสตามวิธี AOAC 984.27 (AOAC, 2005)

3.3.2 อุณหภูมิเจลาทีไนเซชันและพฤติกรรมการเกิดเพสต์ของแป้ง

ศึกษาอุณหภูมิเจลาทีไนเซชันและพฤติกรรมการเกิดเพสต์ของแป้งเดี่ยว ได้แก่ แป้งข้าวเจ้า (R) แป้งข้าวเหนียว (G) แป้งมันสำปะหลัง (C) แป้งมันฝรั่ง (P) และแป้งเท้ายายม่อม (A) และแป้งผสม ได้แก่ แป้งข้าวเจ้าผสมแป้งข้าวเหนียว (R:G) แป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันสำปะหลัง (R:C) แป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันฝรั่ง (R:P) และแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งเท้ายายม่อม (R:A) ในอัตราส่วน 90:10, 80:20, 70:30 และ 60:40 โดยน้ำหนัก เตรียมแป้งผสมโดยนำแป้งมาผสมด้วยเครื่องผสมอาหารเป็นเวลา 30 วินาที หยุดพัก 15 วินาที และผสมอีกครั้งเป็นเวลา 30 วินาที

3.3.2.1 อุณหภูมิเจลาทีนเซชัน

ติดตามโดยใช้ DSC (Perkin Elmer, Waltham, MA) โดยดัดแปลงจากวิธีของ Zaidul และคณะ (2008) (ภาคผนวก ก.8) ตัวอย่าง DSC thermogram แสดงดังภาพที่ ข.1 และ ข.2

3.3.2.2 พฤติกรรมการเกิดเฟส

ติดตามโดยใช้ RVA (Newport Scientific, Warriewood, Australia) โดยดัดแปลงจากวิธีของ Bao (2008) (ภาคผนวก ก.9)

3.3.3 ผลของอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งทดแทนต่อสมบัติของก๋วยเตี๋ยวสด

ผลิตก๋วยเตี๋ยวสดตามวิธีของอรพรรณ กัลปนายุทธ์ (2547) โดยเตรียมเป็นสารแขวนลอย แป้งเข้มข้น 40% โดยน้ำหนัก เติมสารละลายเบนโซอิกให้ถึงความเข้มข้นสุดท้ายในสารแขวนลอย แป้งเท่ากับ 500 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ตั้งสารแขวนลอยแป้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้แป้งดูดน้ำเต็มที่ ซึ่งสารแขวนลอยแป้ง 30 กรัมบรรจุลงในภาดอลูมิเนียม ขนาด 17.5 x 17.5 เซนติเมตรที่ทาด้วยน้ำมันปาล์มหนึ่งด้วยไอน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที นำออกมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) นำแผ่นก๋วยเตี๋ยวที่ได้มาตัดเป็นเส้น ให้มีความกว้าง 2 เซนติเมตร

ผลิตตัวอย่างก๋วยเตี๋ยวสดจากแป้งข้าวเจ้า (R) และก๋วยเตี๋ยวสดจากแป้งผสม (R:G, R:C, R:P, R:A) ในอัตราส่วน 90:10, 80:20, 70:30 และ 60:40 โดยน้ำหนัก กำหนดให้ R เป็นตัวอย่างควบคุม วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely randomized design) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์สมบัติของก๋วยเตี๋ยวสดดังนี้

3.3.3.1 ปริมาณความชื้น

วิเคราะห์ตามวิธี AOAC (2000) (ภาคผนวก ก.3)

3.3.3.2 ความหนา

วัดโดยใช้ไมโครมิเตอร์ (Mitutoyo, Tokyo, Japan) ใช้ตัวอย่างรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้าง 2 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตรวัดที่ตำแหน่งแตกต่างกัน 10 จุดนับเป็น 1 ซ้ำ

3.3.3.3 สี

วัดค่าสีในระบบ CIELAB โดยใช้เครื่อง chroma meter (Minolta, Tokyo, Japan) โดยใช้แหล่งกำเนิดแสง D65 ใช้ตัวอย่างรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้าง 2 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร วางซ้อนกันสูง 1 เซนติเมตร วัดที่ตำแหน่งแตกต่างกัน 5 จุดนับเป็น 1 ซ้ำ คำนวณมุมสี (hue angle) ความเข้มสี (chroma) และดัชนีความขาว (whiteness index) โดยใช้สูตรที่ 3.4, 3.5 และ 3.6 ตามลำดับ

$$\text{Hue angle} = \arctan(b^*/a^*) \quad (3.4)$$

$$\text{Chroma} = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (3.5)$$

$$\text{Whiteness index} = 100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2} \quad (3.6)$$

3.3.3.4 เนื้อสัมผัส

วิเคราะห์สมบัติด้านเนื้อสัมผัสของก๋วยเตี๋ยวสดโดยใช้เครื่อง texture analyzer (Stable Micro Systems, Surrey, UK)

ความแน่นเนื้อ (firmness) วัดด้วยวิธีการกดตัด (compressive cutting) โดยดัดแปลงจากวิธีของ Oh และคณะ (1983) ใช้ตัวอย่างก๋วยเตี๋ย্বরูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้าง 2 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตร วางซ้อนกันจำนวน 3 เส้น ตัดด้วยหัววัด Light Knife Blade (Stable Micro Systems, Surrey, UK) กำหนดความเร็วของการเคลื่อนที่ของหัววัดเท่ากับ 0.17 มิลลิเมตร/วินาที รูปแบบโดยทั่วไปของกราฟการวิเคราะห์ความแน่นเนื้อโดยวิธีกดตัดแสดงดังภาคผนวก ข.3

การวิเคราะห์รูปแบบเนื้อสัมผัส (texture profile analysis) ดัดแปลงจากวิธีของ Kim และ Seib(1993) โดยใช้ตัวอย่างก๋วยเตี๋ย্বরูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสยาวด้านละ 2 เซนติเมตร วางซ้อนกันสูง 1 เซนติเมตร กดด้วยหัววัดทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร (P100) (Stable Micro Systems, Surrey, UK) กำหนดความเร็วของการเคลื่อนที่ของหัววัดเท่ากับ 5 มิลลิเมตร/วินาที กดจนกระทั่งตัวอย่างเกิดการยุบตัว (deformation) 75% รายงานผลในรูปความแข็ง (hardness) ความยืดหยุ่น (springiness) การเกาะตัวกันของเนื้ออาหาร (cohesiveness) และการเกาะติดพื้นผิว (adhesiveness) รูปแบบโดยทั่วไปของกราฟการวิเคราะห์รูปแบบเนื้อสัมผัสแสดงดังภาคผนวก ข.4

3.3.4 ผลของอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งทดแทนต่อสมบัติของกัวยเดี่ยวสดในระหว่างการเก็บรักษา

การศึกษาในขั้นตอนนี้ใช้ตัวอย่างกัวยเดี่ยวที่ใช้อัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งทดแทนเท่ากับ 90:10 และ 70:30 ผลิตกัวยเดี่ยวสดตามวิธีในข้อ 3.3.3 บรรจุตัวอย่างกัวยเดี่ยวในถุงพอลิเอธิลีนความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene) ปิดผนึกด้วยความร้อน แบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 วัน และส่วนที่สองนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 วันวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด ทำการทดลอง 3 ซ้ำ สุ่มตัวอย่างกัวยเดี่ยวสดตามวิเคราะห์สมบัติดังต่อไปนี้ทุก 1 วัน

3.3.4.1 เนื้อสัมผัส

วิเคราะห์ความแน่นเนื้อตามรายละเอียดในข้อ 3.3.3.4

3.3.4.2 การเกิดเป็นผลึกใหม่ของอมิโลเพกทิน (amylopectin recrystallization)

ติดตามการเกิดเป็นผลึกใหม่ของอมิโลเพกทินโดยใช้ DSC (Perkin Elmer, Waltham, MA) โดยดัดแปลงจากวิธีของ Vittadini และ Vodovotz (2003) ซึ่งตัวอย่างกัวยเดี่ยว 10 มิลลิกรัมให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน บรรจุลงในถาด DSC (DSC pan) ชนิด volatile aluminum pan (Perkin Elmer, Waltham, MA) แล้วปิดผนึกสนิทไม่ให้อากาศผ่านเข้าออก (hermetic seal) ใช้ถาด DSC เปล่าที่ปิดสนิทเป็นถาดอ้างอิง (reference pan) ติดตามการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนโดยเพิ่มอุณหภูมิจาก 25 จนถึง 95 องศาเซลเซียส กำหนดอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส/นาที การเกิดผลึกใหม่ของอมิโลเพกทินสามารถติดตามได้จากการวัดการเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (การดูดความร้อน) ที่อุณหภูมิในช่วง 40-70 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่ผลึกอมิโลเพกทินหลอมละลาย (Vittadini and Vodovotz, 2003; Roongthongsri, 2008) รายงานในรูปแบบเอนทัลปีต่อกรัมตัวอย่าง

3.3.4.3 ปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ (water soluble starch content)

วิเคราะห์ปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้โดยดัดแปลงจากวิธีของ Shaikh, Ghodke และ Anathanarayan (2007) ซึ่งตัวอย่างกัวยเดี่ยว 5 กรัมบรรจุลงในขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร ปิดต่อน้ำกลั่นลงไป 100 มิลลิลิตร นำไปวางในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส เขย่าตัวอย่างเป็นเวลา 20 นาที นำสเลอรีที่ได้ไปเหวี่ยงแยกที่ความเร็ว 5000

รอบต่อนาที่เป็นเวลา 5 นาที ปิเปตส่วนโสมมา 10 มิลลิลิตร เติมสารละลายไอโอดีนมาตรฐาน 2 มิลลิลิตร (สารละลายไอโอดีนมาตรฐานคือสารละลายของไอโอดีน 0.2 กรัม และโพแทสเซียมไอโอไดด์ 2 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร) วัดค่า optical density (OD) ที่ความยาวคลื่น 680 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV/Vis spectrophotometer (Jasco, Easton, MD) กราฟเทียบมาตรฐานของความเข้มข้นของสตาร์ชข้าวเจ้ากับค่า OD ที่ 680 นาโนเมตร (OD_{680}) แสดงในภาคผนวก ข.5

3.3.5 ผลของอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งทดแทนต่อสมบัติของก๋วยเตี๋ยวบแห้ง

นำตัวอย่างก๋วยเตี๋ยวที่ใช้อัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งทดแทนเท่ากับ 90:10 และ 70:30 มาอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด (tray dryer) จนกระทั่งมีความชื้น 12% (wb) ซึ่งใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด ทำการทดลอง 3 ซ้ำวิเคราะห์สมบัติและคุณภาพในการหุงต้มของก๋วยเตี๋ยวบแห้งดังนี้

3.3.5.1 อัตราส่วนการดูดน้ำกลับ (rehydration ratio)

วิเคราะห์โดยดัดแปลงวิธีของ Lee และคณะ (2005) (ภาคผนวก ก.10)

3.3.5.2 การสูญเสียระหว่างการต้ม (cooking loss)

วิเคราะห์โดยดัดแปลงวิธีของ Lii และ Chang (1981) (ภาคผนวก ก.11)

3.3.5.3 สมบัติด้านเนื้อสัมผัส

นำก๋วยเตี๋ยวบแห้งที่ต้มแล้วมาวิเคราะห์ความแน่นเนื้อ ความแข็ง การเกาะติดพื้นผิว ความยืดหยุ่น และการเกาะติดกันของเนื้ออาหาร ตามรายละเอียดในข้อ 3.3.3.4

3.3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (analysis of variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple range test ที่ $p=0.05$

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ลักษณะสัณฐานของสตาร์ชแกรนูลและองค์ประกอบทางเคมีของแป้งที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

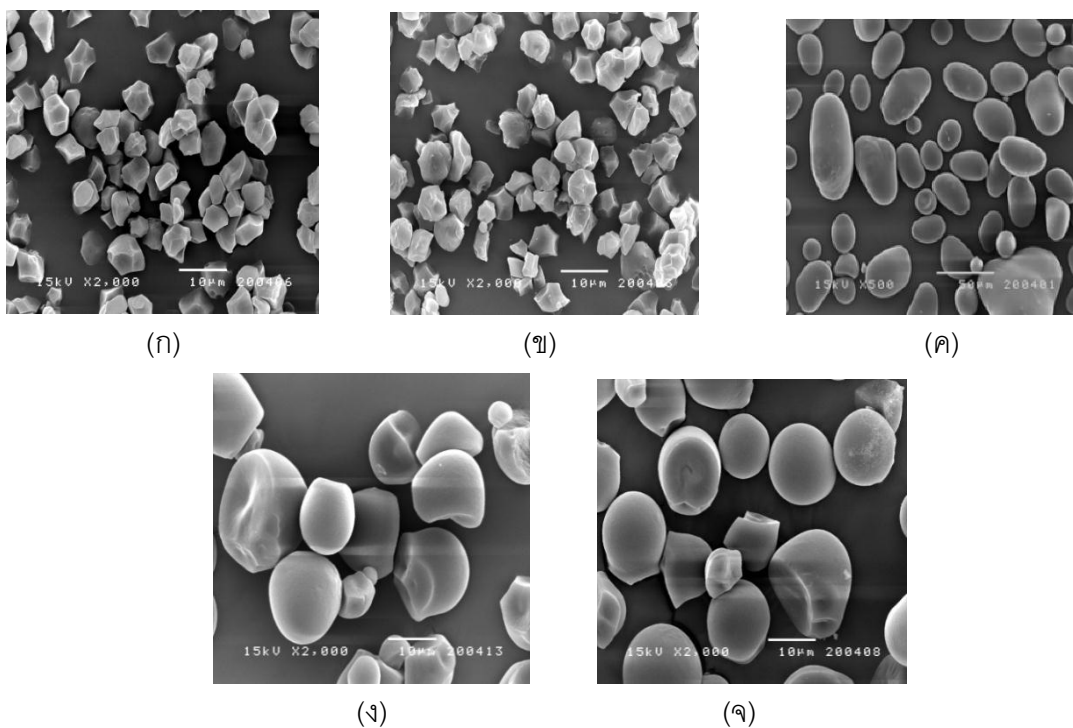
4.1.1 ลักษณะสัณฐานของสตาร์ชแกรนูล

การศึกษาลักษณะสัณฐานของสตาร์ชแกรนูลมีวัตถุประสงค์เพื่อยืนยันว่าแป้งที่ใช้เป็นวัตถุดิบโดยเฉพาะอย่างยิ่งแป้งทำายม่อมเป็นแป้งที่ได้จากพืชที่ระบุ จากภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ภาพที่ 4.1) พบว่าสตาร์ชแกรนูลของแป้งทุกชนิดที่ใช้มีลักษณะตรงตามลักษณะเฉพาะของสตาร์ชแกรนูลจากพืชแต่ละชนิดที่มีรายงานก่อนหน้านี้ โดยสตาร์ชแกรนูลของข้าวเจ้าและข้าวเหนียวมีลักษณะรูปร่างเป็นเหลี่ยมและมีขนาดเล็ก ส่วนสตาร์ชแกรนูลของมันฝรั่งมีลักษณะรูปร่างคล้ายไข่และมีขนาดใหญ่ที่สุด ในขณะที่สตาร์ชแกรนูลของมันสำปะหลังและทำายม่อมมีลักษณะรูปร่างกลมคล้ายไข่มีรอยตัด สำหรับแป้งทำายม่อมจากการที่สตาร์ชแกรนูลส่วนใหญ่อยู่ในสภาพที่สมบูรณ์ (intact granule) จึงอนุมานได้ว่าแป้งดังกล่าวเป็นแป้งทำายม่อมจากธรรมชาติและไม่ใช่แป้งมันสำปะหลังดัดแปร

4.1.2 องค์ประกอบหลัก

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของแป้งที่ใช้เป็นวัตถุดิบทั้ง 5 ชนิด คือแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว แป้งมันฝรั่ง แป้งมันสำปะหลังและแป้งทำายม่อม (ตารางที่ 4.1) พบว่าแป้งที่ใช้ส่วนใหญ่มีความชื้นใกล้เคียงกัน โดยมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงประมาณ 11-12% (wb) อย่างไรก็ตามแป้งมันฝรั่งมีปริมาณความชื้นค่อนข้างสูง (17.37%, wb) และจากการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของแป้งผสม (ตารางที่ 4.2) พบว่าการทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งชนิดอื่นมีความชื้นใกล้เคียงกันในทุกตัวอย่าง ยกเว้นการทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งมันฝรั่ง พบว่าปริมาณความชื้นมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของแป้งมันฝรั่ง โดย R:P 60:40 มีปริมาณความชื้นสูงที่สุด (14.15%) แป้งจากธัญพืช (ข้าวเจ้าและข้าวเหนียว) มีปริมาณโปรตีนหยาบประมาณ 6% (wb) (ตารางที่ 4.1) และแป้งจากพืชหัว (แป้งมันฝรั่ง แป้งมันสำปะหลังและแป้งทำายม่อม) มีปริมาณโปรตีนหยาบเพียงเล็กน้อย (0.1-0.2%, wb) โดยองค์ประกอบที่มีปริมาณมากที่สุดในแป้งที่ใช้เป็นวัตถุดิบทุกชนิดคือคาร์โบไฮเดรตซึ่งมีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบหลัก ดังนั้นลักษณะคุณภาพของ

ถ้วยเดี่ยวที่ผลิตได้จะขึ้นกับสมบัติของสตาร์ชเป็นหลัก (Hormdok and Noomhorm, 2007; Sandhuet *al.*, 2010)



ภาพที่ 4.1 ลักษณะสัณฐานของสตาร์ชแกรนูลของแป้งที่ใช้เป็นวัตถุดิบ (ก) แป้งข้าวเจ้า (ข) แป้งข้าวเหนียว (ค) แป้งมันฝรั่ง (ง) แป้งมันสำปะหลัง และ (จ) แป้งท้าวยายม่อม โดยถ่ายที่กำลังขยาย 500 เท่าสำหรับแป้งมันฝรั่งและที่กำลังขยาย 2000 เท่าสำหรับแป้งอื่น

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบหลักของแป้งที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

Flour	Content (% , wb)					
	Moisture	Ash	Crude protein	Crude fat	Crude fiber	Carbohydrates
Rice	11.13±0.63 ^a	0.29±0.03 ^c	6.38±0.26 ^c	0.43±0.05 ^c	0.61±0.00 ^d	81.42±0.21 ^a
Glutinous						
Rice	11.03±0.57 ^a	0.19±0.03 ^{ab}	5.94±0.22 ^b	0.43±0.08 ^c	0.55±0.02 ^c	81.79±0.27 ^a
Potato	17.37±0.41 ^c	0.29±0.03 ^c	0.15±0.24 ^a	0.30±0.05 ^b	0.18±0.01 ^a	81.55±0.34 ^a
Cassava	10.85±0.40 ^a	0.16±0.02 ^a	0.19±0.04 ^a	0.34±0.04 ^b	0.30±0.01 ^b	87.82±0.42 ^c
Arrowroot	12.56±0.51 ^b	0.23±0.06 ^b	0.08±0.02 ^a	0.12±0.04 ^a	0.52±0.02 ^c	86.45±0.18 ^b

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสมมติเดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.2 ปริมาณความชื้นของแป้งผสม

Flour	Substitution ratio	Moisture content (% , wb)
R	-	11.13±0.63
R:G	90:10	11.31±0.16
	80:20	11.42±0.14
	70:30	11.43±0.25
	60:40	11.35±0.20
R:P	90:10	11.93±0.50
	80:20	12.73±0.32
	70:30	13.28±0.28
	60:40	14.15±0.35
R:C	90:10	11.15±0.23
	80:20	11.91±0.62
	70:30	11.57±0.25
	60:40	11.35±0.06
R:A	90:10	11.10±0.35
	80:20	11.56±0.21
	70:30	11.52±0.24
	60:40	11.81±0.20

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

4.1.3 ปริมาณอมิโลสและอมิโลเพกทิน

ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณอมิโลสและอมิโลเพกทินในสตาร์ชชนิดต่างๆ พบว่า ปริมาณอมิโลสและอมิโลเพกทินของสตาร์ชแต่ละชนิดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดย สตาร์ชข้าวเจ้ามีปริมาณอมิโลสสูงที่สุด (23.34%) รองลงมาคือสตาร์ชมันฝรั่ง สตาร์ชมันสำปะหลัง และสตาร์ชเท้ายายม่อม สตาร์ชจากพืชหัวเหล่านี้มีปริมาณอมิโลสและอมิโลเพกทินใกล้เคียงกัน โดยมีอมิโลสประมาณ 17% และอมิโลเพกทินประมาณ 83% ในขณะที่สตาร์ชข้าวเหนียวแทบไม่มีอมิโลสอยู่เลย (0.42%) อัตราส่วนของอมิโลสต่ออมิโลเพกทินที่แตกต่างกันนี้อาจส่งผลต่อ ลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ (Sandhu and Singh, 2007)

ตารางที่ 4.3 ปริมาณอมิโลสและอมิโลเพกทินในสตาร์ชที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

Sample	Starch (% by weight of sample*)	Amylose (% by weight of starch)	Amylopectin (% by weight of starch)	Amylose:amylopectin ratio
Rice	96.54 ± 0.29 ^b	23.34 ± 0.32 ^d	76.66 ± 0.32 ^a	1:3.3
Glutinous rice	97.58 ± 0.65 ^b	0.42 ± 0.07 ^a	99.58 ± 0.08 ^d	1:237.1
Potato	96.35 ± 1.00 ^b	18.71 ± 0.65 ^c	81.29 ± 0.66 ^b	1:4.3
Cassava	93.74 ± 0.04 ^a	16.70 ± 0.31 ^b	83.30 ± 0.32 ^c	1:4.9
Arrowroot	94.15 ± 0.55 ^a	16.07 ± 0.11 ^b	83.93 ± 0.11 ^c	1:5.2

*ตัวอย่างสตาร์ชที่สกัดจากพลาว์

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.1.4 ปริมาณฟอสฟอรัสของแป้งจากพืชหัว

ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณฟอสฟอรัสแป้งจากพืชหัวที่ใช้เป็นวัตถุดิบ พบว่าแป้งมันฝรั่งมีปริมาณฟอสฟอรัสสูงกว่าแป้งมันสำปะหลังและแป้งเท้ายายม่อมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยแป้งมันฝรั่งมีปริมาณฟอสฟอรัสสูงกว่าแป้งมันสำปะหลังและแป้งเท้ายายม่อมถึงประมาณ 15 เท่า ซึ่งผลที่ได้นี้สอดคล้องกับรายงานก่อนหน้านี (Jane *et al.*, 1999; Karim *et al.*, 2007; Sandhu *et al.*, 2010) โดยปริมาณฟอสฟอรัสที่แตกต่างกันอาจส่งผลต่อสมบัติการเกิดเพสต์ของแป้งและลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ (Jane *et al.*, 1999; Sandhu *et al.*, 2010)

ตารางที่ 4.4 ปริมาณฟอสฟอรัสของแป้งจากพืชหัว

Flour	Phosphorus content (mg/kg)
Potato	261.78 ± 5.83 ^b
Cassava	19.82 ± 2.38 ^a
Arrowroot	14.36 ± 0.25 ^a

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.2 พฤติกรรมการเกิดเพสต์ของแป้งเดี่ยวและแป้งผสมที่ใช้ผลิตก๋วยเตี๋ยว

4.2.1 พฤติกรรมการเกิดเพสต์ของแป้งเดี่ยว

สมบัติการเกิดเพสต์ของแป้งเดี่ยว ได้แก่ แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว แป้งมันฝรั่ง แป้งมันสำปะหลังและแป้งท้าวยายม่อมแสดงดังตารางที่ 4.5 พบว่าแป้งแต่ละชนิดมีพฤติกรรมการเกิดเพสต์ที่แตกต่างกัน โดยแป้งข้าวเจ้ามี pasting temperature สูงที่สุด ซึ่งแป้งจากธัญพืชโดยทั่วไปมีสมบัติการพองตัวและการละลายน้ำที่ต่ำ จึงต้องใช้อุณหภูมิที่สูงกว่าในการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารแขวนลอยแป้ง จากการที่แป้งมันฝรั่งมีปริมาณของฟอสฟอรัสสูง (ตารางที่ 4.4) โดยฟอสฟอรัสส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปหมู่ฟอสเฟตโมโนเอสเทอร์ จึงทำให้มีประจุพื้นผิวเป็นลบและเกิดแรงผลักระหว่างประจุที่เหมือนกัน ทำให้แป้งมันฝรั่งมี pasting temperature ที่ต่ำ peak viscosity ที่สูง breakdown ที่สูง และ setback ที่สูงกว่าแป้งโดยทั่วไป (Jane *et al.*, 1999; Karim *et al.*, 2007; Sandhu *et al.*, 2010) ค่า final viscosity เป็นดัชนีบ่งบอกลักษณะของผลิตภัณฑ์ว่ามีลักษณะเป็นเพสต์หรือเจลเมื่อผ่านการให้ความร้อนและทำให้เย็นลง พบว่าเพสต์แป้งข้าวเจ้ามีค่า final viscosity สูงที่สุด (383.67 RVU) และเพสต์แป้งข้าวเหนียวมีค่า final viscosity ต่ำที่สุด (190.35 RVU)

ตารางที่ 4.5 สมบัติการเกิดเพสต์ของแป้งเดี่ยว

Flour	Pasting temperature (°C)	Peak viscosity (RVU)	Trough (RVU)	Breakdown (RVU)	Final viscosity (RVU)	Setback viscosity from trough (RVU)
Rice	92.27±0.39 ^c	239.35±14.61 ^a	201.09±14.68 ^c	38.26±4.06 ^a	383.67±20.45 ^c	182.58±8.10 ^c
Glutinous rice	75.90±0.44 ^c	311.79±11.37 ^b	153.31±4.40 ^a	158.87±7.20 ^b	190.35±5.11 ^a	37.04±0.89 ^a
Potato	70.23±0.34 ^a	1079.50±45.95 ^e	168.41±11.33 ^b	911.11±41.26 ^d	342.79±98.60 ^c	174.38±93.11 ^c
Cassava	79.51±1.19 ^d	359.27±14.80 ^c	150.93±5.92 ^a	208.34±10.39 ^c	247.68±13.51 ^b	96.75±14.11 ^b
Arrowroot	72.33±0.32 ^b	394.56±8.18 ^d	176.89±2.96 ^b	217.67±7.34 ^c	237.80±7.22 ^b	60.91±7.73 ^{ab}

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ในด้านค่า setback from trough คำนวณได้จากผลต่างของ final viscosity และ trough แสดงถึงการคืนตัวของเพสต์แป้งซึ่งเป็นผลมาจากการจัดเรียงใหม่ของโมเลกุลสตาร์ช ขณะที่มีการลดอุณหภูมิ ค่า setback มีความสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ โดยถ้า

setback มีค่าสูงหรือมีค่าเป็นบวกหมายถึงเพสต์แป้งเกิดรีโทรเกรเดชันได้มากในระหว่างที่มีการลดอุณหภูมิ และมีแนวโน้มที่จะให้เจลแข็งที่แข็ง (ปิติพร ฤทธิเรืองเดช และคณะ, 2546) ในงานวิจัยนี้พบว่าเพสต์แป้งข้าวเจ้ามี setback สูงที่สุด (182.58 RVU) เนื่องจากแป้งข้าวเจ้ามีปริมาณอมิโลสที่สูงกว่าแป้งอื่นๆ (ตารางที่ 4.3) แป้งมันฝรั่งเป็นแป้งอีกชนิดหนึ่งที่มี setback ค่อนข้างสูง (174.38 RVU) Jane และคณะ (1999) Karim และคณะ (2007) และ Sandhu และคณะ (2010) ศึกษาการคืนตัวของสตาร์ชมันฝรั่งและรายงานผลในทำนองเดียวกันกับผลที่พบในงานวิจัยนี้

เพสต์แป้งที่มี setback สูงรองลงมาจากเพสต์แป้งข้าวเจ้าและเพสต์แป้งมันฝรั่งคือเพสต์แป้งมันสำปะหลัง (96.75 RVU) และเพสต์แป้งท้าวยายม่อม (60.91 RVU) Lim, Kasemsuwan และ Jane (1994) เสนอว่าแป้งจากพืชหัวโดยทั่วไปมี setback ค่อนข้างต่ำ เป็นผลเนื่องมาจากการที่แป้งจากพืชหัวมีปริมาณลิพิดและฟอสโฟลิพิดที่ต่ำ ส่วนเพสต์แป้งข้าวเหนียวมีค่า setback ต่ำที่สุด (37.04 RVU) ความแตกต่างของการคืนตัวหรือการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งมีอิทธิพลมาจากหลายปัจจัย เช่น ปริมาณอมิโลส ความยาวของโมเลกุลอมิโลส และการกระจายตัวของสายอมิโลส (Mishra and Rai, 2006)

Jane และคณะ (1999) ติดตามพฤติกรรมของการเกิดเพสต์ของสตาร์ช 21 ชนิดโดยใช้ RVA ใช้ความเข้มข้นของสารแขวนลอยสตาร์ชเท่ากับ 5% พบว่าสตาร์ชมันฝรั่งมีค่า peak viscosity และ final viscosity สูงที่สุด สำหรับสตาร์ชข้าวโพดพบว่ามี setback สูงที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากสตาร์ชข้าวโพดมีอมิโลสในปริมาณสูง

4.2.2 พฤติกรรมของการเกิดเพสต์ของแป้งผสม

สมบัติการเกิดเพสต์ของแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งข้าวเหนียว (R:G) แป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันฝรั่ง (R:P) แป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันสำปะหลัง (R:C) และแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งท้าวยายม่อม (R:A) ในอัตราส่วนต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.6

พบว่าอัตราส่วนของแป้งที่ใช้ทดแทนแป้งข้าวเจ้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ pasting temperature มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) R:P มีค่า peak viscosity และ final viscosity สูงกว่าแป้งข้าวเจ้าและแป้งผสมอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดย R:P ในอัตราส่วน 60:40 มี peak viscosity สูงที่สุด (459.13 RVU) และ R:P ในอัตราส่วน 80:20 มี final viscosity สูงที่สุด (540.02 RVU) นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบที่อัตราส่วนของแป้งผสมที่เท่ากัน R:P ยังมี

setback สูงกว่าแป้งผสมอื่นๆ สำหรับ R:G, R:C และ R:A เมื่อเปรียบเทียบกับ R:P พบว่ามีค่า peak viscosity และ final viscosity อยู่ในช่วงใกล้เคียงกับแป้งข้าวเจ้ามากกว่า เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแป้งผสมชนิดต่างๆ พบว่า R:P มี setback สูงที่สุด ส่วน R:G และ R:A มี setback ที่ต่ำ โดย R:A ในอัตราส่วน 60:40 มี setback ต่ำที่สุด (88.19 RVU) สมบัติการเกิดเพสต์ต่างๆ ของแป้งผสมนี้มีความสัมพันธ์กับสมบัติของแป้งเดี่ยวที่เป็นองค์ประกอบ ผลที่ได้นี้สอดคล้องกับรายงานของ Wang และคณะ (2000) ซึ่งศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารแขวนลอย ฟลาวร์ข้าวเจ้า (RF) สตาร์ชข้าวโพด (CS) และฟลาวร์ข้าวเจ้าผสมสตาร์ชข้าวโพด (RF:CS) ในอัตราส่วน 1:3 และ 3:1 พบว่า RF:CS มีอุณหภูมิเจลลิตีในเซชันต่ำกว่า RF แต่มีค่าใกล้เคียงกับ CS นอกจากนี้ยังพบว่า RF:CS มีค่า breakdown ลดลงเมื่ออัตราส่วนของ RF ในของผสมเพิ่มขึ้น และ setback เพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของ CS ในของผสมเพิ่มขึ้น โดย RF:CS ในอัตราส่วน 3:1 มีค่า setback สูงกว่าอัตราส่วน 1:3 นอกจากนี้ Sandhu และคณะ (2010) ซึ่งศึกษาพฤติกรรมการเกิดเพสต์ของสตาร์ชข้าวเจ้าผสมสตาร์ชมันฝรั่งในอัตราส่วน 1:3, 1:1 และ 3:1 พบว่าอัตราส่วน 1:3 มีค่า peak viscosity สูงที่สุด Saeleaw และ Schleining (2010) ศึกษาพฤติกรรมการเกิดเพสต์ของแป้งผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว และแป้งสาลี พบว่า peak viscosity มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งมันสำปะหลัง ทั้งนี้เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังมีปริมาณไขมันและโปรตีนที่ต่ำกว่าแป้งจากธัญพืช โดยไขมันและโปรตีนที่อยู่บริเวณสตาร์ชแกรนูลมีผลขัดขวางการจับกับน้ำ ทำให้สตาร์ชแกรนูลเกิดเจลลิตีในเซชันได้ลดลงและเพสต์แป้งมีความหนืดลดลง

ตารางที่ 4.6 สมบัติการเกิดเพสต์ของแป้งผสม

Flour	Substitution ratio	Pasting temperature (°C)	Peak viscosity (RVU)	Trough (RVU)	Breakdown (RVU)	Final viscosity (RVU)	Setback viscosity from trough (RVU)
R	-	92.27±0.39 ⁱ	239.35±14.61 ^a	201.09±14.68 ^a	38.26±4.06 ^{bc}	383.67±20.45 ^f	182.58±8.10 ⁱ
R:G	90:10	93.11±1.42 ^j	228.94±5.52 ^a	200.04±6.96 ^a	28.91±2.97 ^a	343.93±11.04 ^d	143.90±7.13 ^g
	80:20	84.32±0.80 ^g	231.41±6.46 ^a	200.85±6.21 ^a	30.56±1.03 ^a	324.37±12.63 ^{bc}	123.52±7.85 ^{de}
	70:30	79.99±1.79 ^{de}	232.34±6.04 ^a	200.21±6.01 ^a	32.13±1.19 ^a	318.24±8.84 ^{bc}	118.03±4.01 ^{cd}
	60:40	73.66±0.39 ^{ab}	238.71±11.96 ^a	199.80±6.88 ^a	38.26±4.06 ^{bc}	313.93±11.93 ^{ab}	114.12±4.13 ^c
R:P	90:10	83.66±1.41 ^g	325.09±9.33 ^e	287.52±8.01 ^e	37.57±10.99 ^{bc}	505.80±15.48 ⁱ	218.28±8.63 ^k
	80:20	79.38±0.50 ^d	395.17±21.59 ^f	347.26±11.26 ^f	47.91±10.99 ^e	540.02±10.99 ^k	192.76±4.34 ^j
	70:30	74.72±0.22 ^b	411.27±4.24 ^g	344.20±3.39 ^f	67.07±4.28 ^h	524.71±4.23 ^j	180.52±4.55 ⁱ
	60:40	73.14±0.28 ^a	459.13±6.89 ^h	362.08±5.27 ^g	97.05±5.20 ⁱ	508.53±4.02 ⁱ	146.44±3.79 ^g
R:C	90:10	86.27±4.75 ^h	265.96±15.42 ^{bc}	277.81±11.19 ^c	38.15±7.69 ^{bc}	411.58±19.59 ^h	183.77±9.37 ^j
	80:20	81.40±0.44 ^f	275.66±5.06 ^{cd}	230.68±5.21 ^{cd}	44.98±2.67 ^{de}	394.81±7.26 ^g	164.13±6.18 ^h
	70:30	78.66±0.27 ^d	277.94±6.04 ^d	225.20±5.87 ^c	52.74±3.29 ^f	360.04±6.66 ^e	134.83±4.50 ^f
	60:40	76.45±0.04 ^c	281.48±5.10 ^d	213.98±4.27 ^b	67.50±2.17 ^h	327.56±4.83 ^c	113.58±2.94 ^c
R:A	90:10	87.79±1.01 ⁱ	259.38±10.79 ^b	222.51±10.56 ^c	36.87±4.18 ^b	369.60±14.50 ^e	147.05±5.75 ^g
	80:20	80.98±0.38 ^{ef}	280.07±8.83 ^d	237.80±8.86 ^d	42.27±3.02 ^{cd}	365.44±12.19 ^e	127.64±4.18 ^e
	70:30	76.30±0.26 ^c	272.91±7.36 ^{cd}	226.96±6.44 ^c	45.94±2.76 ^{de}	327.47±8.77 ^c	101.29±3.69 ^b
	60:40	74.11±0.26 ^{ab}	276.87±12.38 ^d	214.92±6.53 ^b	61.95±7.91 ^g	303.11±8.58 ^a	88.19±3.33 ^a

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.3 การเกิดเจลลิตีในเซชันของแป้งเดี่ยวและแป้งผสมที่ใช้ผลิตก๋วยเตี๋ยว

4.3.1 การเกิดเจลลิตีในเซชันของแป้งเดี่ยว

คุณหมุมิเจลลิตีในเซชันของแป้งเดี่ยวที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตก๋วยเตี๋ยวซึ่งศึกษาโดยใช้ differential scanning calorimeter แสดงเป็นค่า onset temperature (T_o), peak temperature (T_p) และ conclusion temperature (T_c) ดังตารางที่ 4.7 พบว่าแป้งข้าวเจ้า แป้งมันฝรั่ง แป้งมันสำปะหลัง และแป้งเท้ายายม่อมมี T_o และ T_p ที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวเหนียว คุณหมุมิเจลลิตีในเซชันที่สูงนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณอไมโลสที่สูงในแป้งทั้งสี่ชนิด (16-23%) ทำให้มีคุณหมุมิเจลลิตีในเซชันสูง Visser และคณะ (1997) เสนอว่าอไมโลสให้โครงสร้างผลึกของสตาร์ชแกรนูลที่แข็งแรง จึงมีผลทำให้คุณหมุมิเจลลิตีในเซชันมีค่าสูง คุณหมุมิเจลลิตีในเซชันที่ต่ำของแป้งข้าวเหนียวเนื่องมาจากการที่สตาร์ชข้าวเหนียวมีความยาวเฉลี่ยของโซ่กิ่งที่ต่ำและมีโซ่กิ่งขนาดสั้นในสัดส่วนที่สูง (Jane *et al.*, 1999) แป้งมันสำปะหลังและแป้งเท้ายายม่อมมีคุณหมุมิเจลลิตีในเซชันอยู่ในช่วง 67.07-82.54 องศาเซลเซียสส่วนแป้งมันฝรั่งมีคุณหมุมิเจลลิตีในเซชันในช่วง 66.88-78.07 องศาเซลเซียส แม้สตาร์ชมันฝรั่งจะมีความยาวเฉลี่ยของโซ่กิ่งที่สูง แต่การที่มีปริมาณอนุพันธ์ฟอสเฟตโมโนเอสเทอร์สูงรวมทั้งการมีผลึกแบบบี ทำให้สตาร์ชมันฝรั่งมีคุณหมุมิเจลลิตีในเซชันที่ต่ำกว่าสตาร์ชจากพืชหัวโดยทั่วไป (Jane *et al.*, 1999)

ตารางที่ 4.7 คุณหมุมิเจลลิตีในเซชันของแป้งเดี่ยว

Flour	T_o (°C)	T_p (°C)	T_c (°C)
Rice	66.74 ± 0.45 ^b	70.71 ± 0.20 ^a	75.33 ± 0.33 ^a
Glutinous rice	63.13 ± 0.22 ^a	70.61 ± 0.16 ^a	77.61 ± 0.25 ^b
Potato	66.88 ± 0.14 ^c	71.43 ± 0.33 ^b	78.07 ± 0.54 ^b
Cassava	67.24 ± 0.18 ^c	74.06 ± 0.10 ^d	82.54 ± 0.43 ^d
Arrowroot	67.07 ± 0.13 ^c	71.90 ± 0.19 ^c	79.51 ± 0.38 ^c

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

4.3.2 การเกิดเจลลิตีในเซชันของแป้งผสม

ตารางที่ 4.8 แสดงคุณสมบัติเจลลิตีในเซชันของแป้งผสม พบว่า R:P, R:C และ R:A มีคุณสมบัติเจลลิตีในเซชันใกล้เคียงกับ R ทั้งนี้เนื่องจากแป้งเดี่ยวทั้งสี่ชนิดมีคุณสมบัติเจลลิตีในเซชันที่ใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 4.7) ส่วน R:G มีคุณสมบัติเจลลิตีในเซชันที่ต่ำกว่า R และแป้งผสมอื่นๆ เนื่องมาจากแป้งข้าวเหนียวมีคุณสมบัติเจลลิตีในเซชันที่ต่ำกว่าแป้งชนิดอื่นๆ (ตารางที่ 4.7)

ตารางที่ 4.8 คุณสมบัติเจลลิตีในเซชันของแป้งผสม

Flour	Substitution ratio	T _o (°C)	T _p (°C)	T _c (°C)
R	-	66.74 ± 0.45 ^{de}	70.71 ± 0.20 ^e	75.33 ± 0.33 ^{cdef}
R:G	90:10	64.40 ± 0.35 ^b	69.41 ± 0.33 ^{bc}	73.49 ± 0.28 ^{ab}
	80:20	63.75 ± 0.16 ^a	69.18 ± 0.16 ^b	76.49 ± 4.34 ^{ef}
	70:30	64.08 ± 0.02 ^{ab}	69.58 ± 0.04 ^{cd}	73.98 ± 0.21 ^{abc}
	60:40	64.06 ± 0.41 ^{ab}	69.57 ± 0.05 ^{cd}	74.08 ± 0.87 ^{abcd}
R:P	90:10	66.24 ± 0.20 ^{ef}	70.82 ± 0.25 ^{ef}	75.15 ± 0.32 ^{cde}
	80:20	66.28 ± 0.07 ^{ef}	71.45 ± 0.14 ^{gh}	76.16 ± 0.03 ^{ef}
	70:30	66.63 ± 0.05 ^{fg}	71.50 ± 0.13 ^{gh}	76.66 ± 0.40 ^{ef}
	60:40	66.87 ± 0.21 ^g	71.82 ± 0.23 ^h	76.96 ± 0.24 ^f
R:C	90:10	64.31 ± 0.21 ^b	68.75 ± 0.17 ^a	72.51 ± 0.08 ^a
	80:20	65.07 ± 0.08 ^c	69.58 ± 0.08 ^{cd}	72.90 ± 0.18 ^a
	70:30	65.75 ± 0.16 ^d	69.92 ± 0.14 ^d	72.60 ± 0.16 ^a
	60:40	66.63 ± 0.14 ^{fg}	71.47 ± 0.17 ^e	73.87 ± 0.07 ^{abc}
R:A	90:10	66.20 ± 0.21 ^{ef}	70.79 ± 0.26 ^e	75.07 ± 0.25 ^{bcde}
	80:20	66.86 ± 0.37 ^g	71.17 ± 0.36 ^{fg}	75.63 ± 0.23 ^{def}
	70:30	66.77 ± 0.22 ^g	71.31 ± 0.35 ^g	75.77 ± 0.39 ^{ef}
	60:40	67.06 ± 0.01 ^g	71.49 ± 0.01 ^{gh}	76.30 ± 0.11 ^{ef}

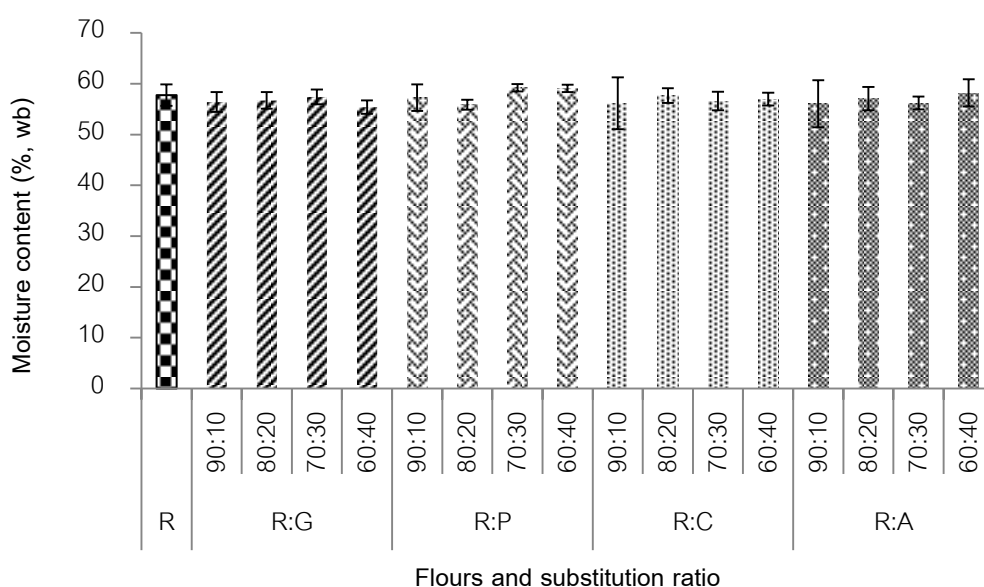
ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.4 ผลของอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งทดแทนต่อสมบัติของก๋วยเตี๋ยวสด

4.4.1 ปริมาณความชื้น

ปริมาณความชื้นของก๋วยเตี๋ยวสดที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า (R) และแป้งผสม (R:G, R:P, R:C และ R:A) แสดงดังภาพที่ 4.2 พบว่าปริมาณความชื้นของก๋วยเตี๋ยวสดมีค่าอยู่ในช่วง 55.86-58.48% (wb) ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ดังนั้นหากมีความแตกต่างของลักษณะคุณภาพด้านใดด้านหนึ่งของก๋วยเตี๋ยวสดจึงไม่ได้เป็นผลเนื่องมาจากปริมาณความชื้นที่ต่างกัน

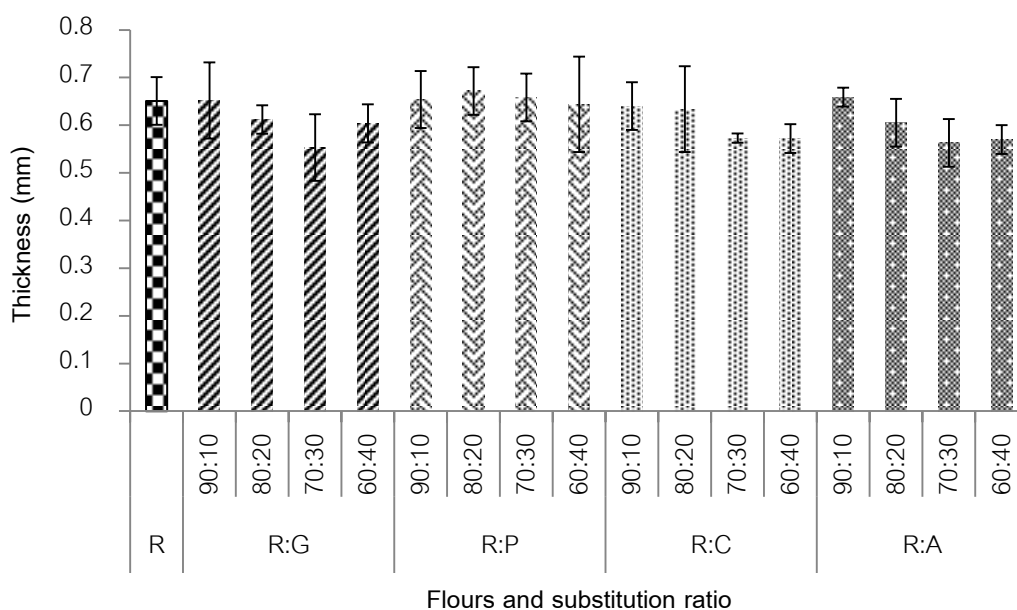


ภาพที่ 4.2 ปริมาณความชื้นของก๋วยเตี๋ยวสด R คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า R:G คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งข้าวเหนียว R:P คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันฝรั่ง R:C คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันสำปะหลัง และ R:A คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งเท้ายายม่อม

4.4.2 ความหนา

ภาพที่ 4.3 แสดงความหนาของก๋วยเตี๋ยวสด พบว่าความหนาของก๋วยเตี๋ยวสดมีค่าอยู่ในช่วง 0.563-0.658 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน ดังนั้นหากมีความแตกต่างของลักษณะคุณภาพด้านใดด้านหนึ่งของก๋วยเตี๋ยวสดจึงไม่ได้เป็นผลเนื่องมาจากความหนาที่ต่างกัน

โดยก๋วยเตี๋ยวจานที่ผลิตในงานวิจัยนี้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมก๋วยเตี๋ยวจาน (มอก. 959-2533) (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2533) ที่กำหนดให้ก๋วยเตี๋ยวจานต้องมีความหนาไม่เกิน 0.7 มิลลิเมตร



ภาพที่ 4.3 ความหนาของก๋วยเตี๋ยวจาน R คือก๋วยเตี๋ยวจานที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า R:G คือก๋วยเตี๋ยวจานที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งข้าวเหนียว R:P คือก๋วยเตี๋ยวจานที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันฝรั่ง R:C คือก๋วยเตี๋ยวจานที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันสำปะหลัง และ R:A คือก๋วยเตี๋ยวจานที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งเท้ายายม่อม

4.4.3 สี

4.4.3.1 $L^* a^* b^*$

ความสว่างสี (L^*) แสดงความสว่าง (lightness) โดยมีค่าตั้งแต่ 0-100 ค่า L^* เท่ากับ 0 แสดงถึงความสว่างต่ำสุด ส่วนค่า L^* เท่ากับ 100 แสดงถึงความสว่างสูงสุด ค่า a^* แสดงความเป็นสีเขียว/สีแดง a^* ที่มีค่าเป็นลบแสดงถึงสีเขียวและ a^* ที่มีค่าเป็นบวกแสดงถึงสีแดง ค่า b^* แสดงความเป็นสีน้ำเงิน/สีเหลือง b^* ที่มีค่าเป็นลบแสดงถึงสีน้ำเงินและ b^* ที่มีค่าเป็นบวกแสดงถึงสีเหลือง

ภาพที่ 4.4 แสดงค่า $L^* a^* b^*$ ของก๋วยเตี๋ยวจาน พบว่าตัวอย่างก๋วยเตี๋ยวจานมีค่า L^* อยู่ในช่วง 80.54 ถึง 84.75 ส่วน a^* มีค่าอยู่ในช่วง -1.19 ถึง -1.96 แสดงถึงสีเขียว และ b^*

มีค่าอยู่ในช่วง +3.76 ถึง +5.95 แสดงถึงสีเหลือง โดย $L^* a^* b^*$ มีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนของแป้งทดแทนเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามสำหรับ R:A พบว่า b^* มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของแป้งทำายาม่อมเพิ่มขึ้น

4.4.3.2 มุมสี

สีเป็นลักษณะคุณภาพที่สำคัญประการหนึ่งของกล้วยเดี่ยว โดยมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกล้วยเดี่ยว (มอก. 959-2533) (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2533) กำหนดว่ากล้วยเดี่ยวต้องมีสีขาวนวลและสม่ำเสมอ

สำหรับมุมสีแสดงถึงเฉดสี โดยสีแดงมีมุมสีเท่ากับ 0 องศาและสีเหลืองมีมุมสีเท่ากับ 90 องศา มุมสีของกล้วยเดี่ยวสดแสดงดังภาพที่ 4.5 พบว่ามุมสีของตัวอย่างกล้วยเดี่ยวสดมีค่าอยู่ในช่วง 67.28-78.31 องศา หมายถึงกล้วยเดี่ยวสดมีสีในเฉดเหลือง มุมสีของตัวอย่างกล้วยเดี่ยวมีค่าใกล้เคียงกัน แม้ว่า R:A จะมีแนวโน้มของมุมสีที่สูงกว่าตัวอย่างอื่นเล็กน้อย การทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งชนิดอื่นจึงไม่มีผลสำคัญต่อเฉดสีของกล้วยเดี่ยว

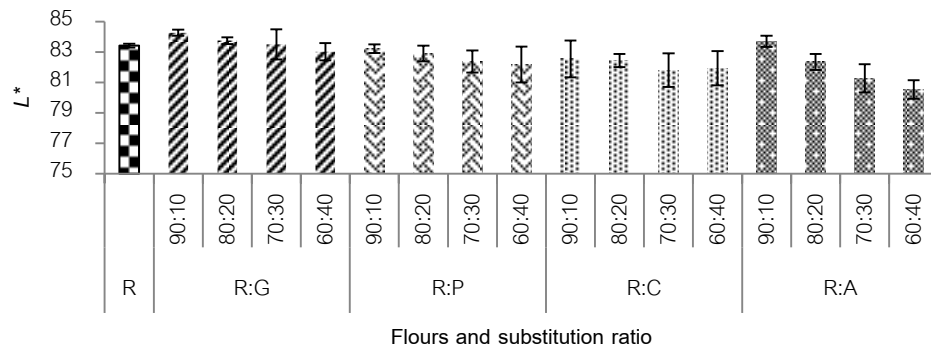
4.4.3.3 ความเข้มสี

ความเข้มสีหมายถึงความบริสุทธิ์ของสี (color purity) มีช่วงความแตกต่างตั้งแต่สีออกเทา (ความเข้มสีต่ำ, 0 หน่วย) ไปจนถึงสีสด (ความเข้มสีสูง, 100 หน่วย) (Natural Resources Canada, 2009) จากความเข้มสีของกล้วยเดี่ยวสด (ภาพที่ 4.6) พบว่าความเข้มสีมีค่าที่สอดคล้องกับค่า b^* โดยความเข้มสีที่เพิ่มขึ้นสอดคล้องกับ b^* ที่เพิ่มขึ้น

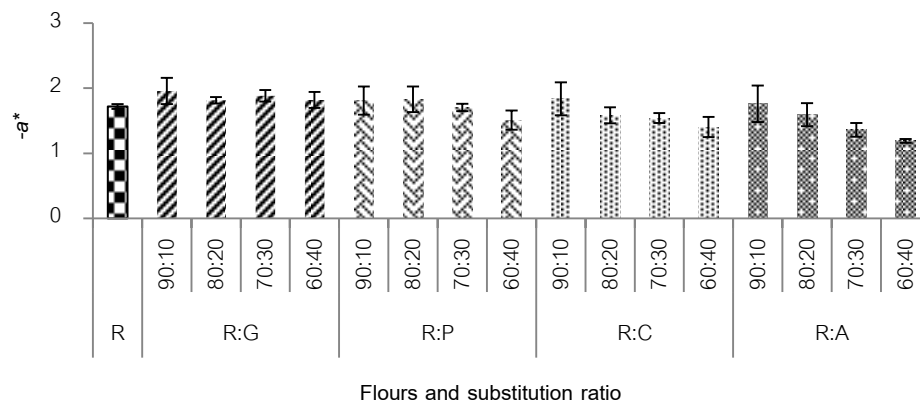
4.4.3.4 ดัชนีความขาว

ดัชนีความขาวของกล้วยเดี่ยวสดแสดงดังภาพที่ 4.7 พบว่าดัชนีความขาวมีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราส่วนของแป้งทดแทนเพิ่มสูงขึ้น โดย R:A ในอัตราส่วน 60:40 มีค่าดัชนีความขาวต่ำที่สุด

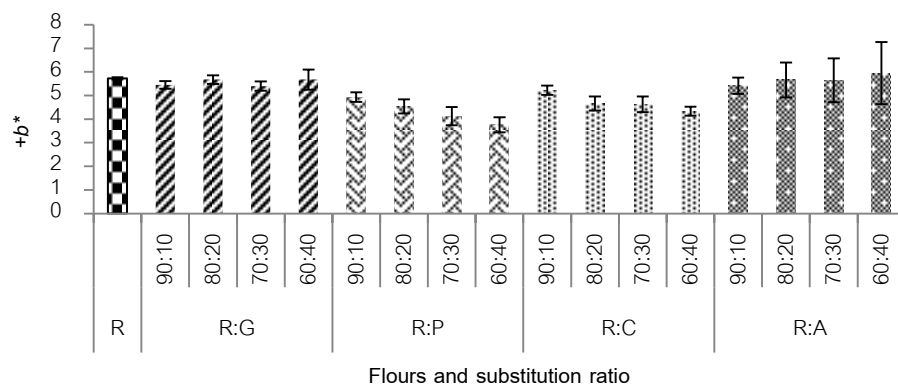
สำหรับสมบัติด้านสีของกล้วยเดี่ยวสด พบว่าการทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งข้าวเหนียว แป้งมันฝรั่ง และแป้งมันสำปะหลัง ไม่มีผลต่อสมบัติด้านสีของกล้วยเดี่ยวสดมากนัก อย่างไรก็ตามการทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งทำายาม่อมมีผลทำให้ค่า $+b^*$ มุมสี ความเข้มสี มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และดัชนีความขาวมีแนวโน้มลดลง



(ก)

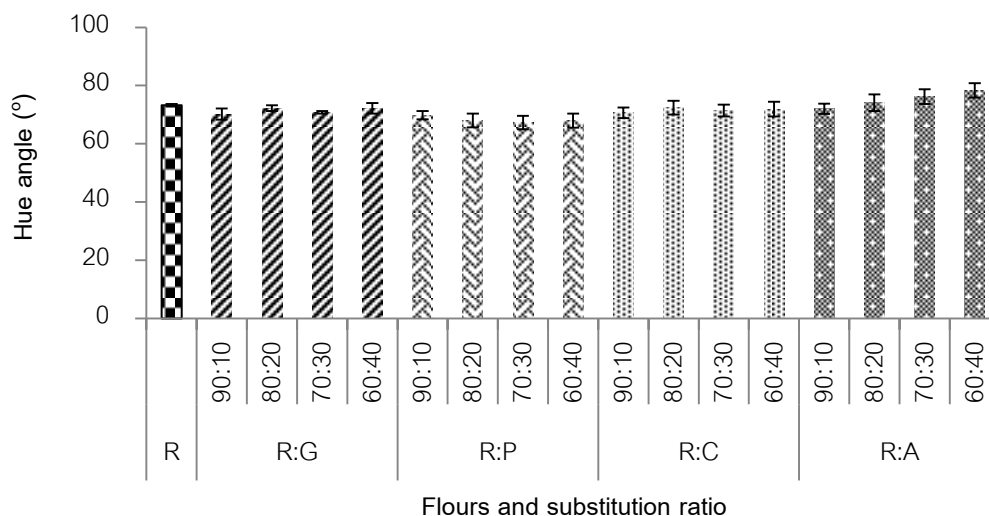


(ข)

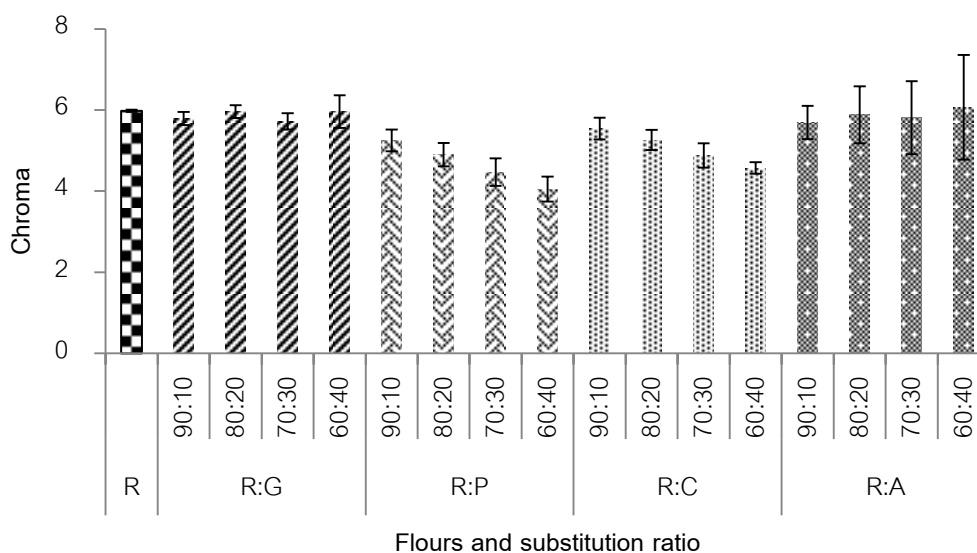


(ค)

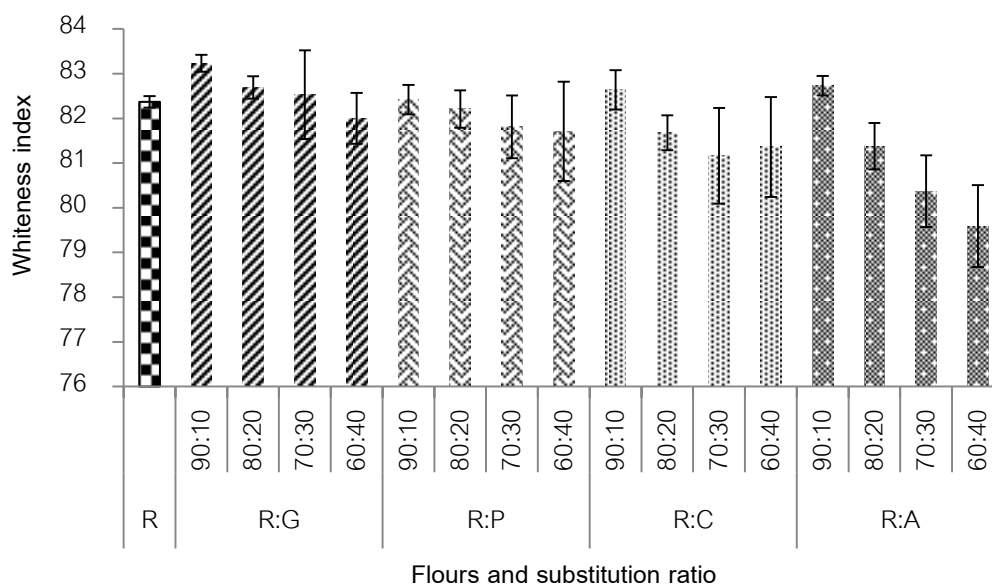
ภาพที่ 4.4 ค่าสีในระบบ CIELAB ของก๋วยเตี๋ยวสด (ก) L^* (ข) $-a^*$ และ (ค) $+b^*$ R คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า R:G คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งข้าวเหนียว R:P คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันฝรั่ง R:C คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันสำปะหลัง และ R:A คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งเท้ายายม่อม



ภาพที่ 4.5 มุมสีของก๋วยเตี๋ยวสด R คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า R:G คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งข้าวเหนียว R:P คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันฝรั่ง R:C คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันสำปะหลัง และ R:A คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งเท้ายายม่อม



ภาพที่ 4.6 ความเข้มสีของก๋วยเตี๋ยวสด R คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า R:G คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งข้าวเหนียว R:P คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันฝรั่ง R:C คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันสำปะหลัง และ R:A คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งเท้ายายม่อม



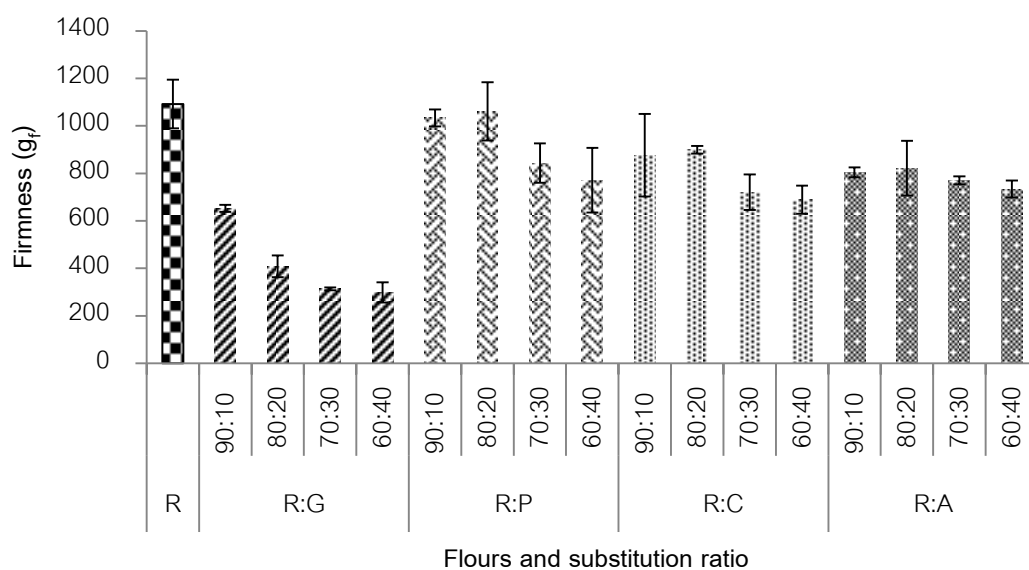
ภาพที่ 4.7 ดัชนีความขาวของก๋วยเตี๋ยวสด R คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า R:G คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งข้าวเหนียว R:P คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันฝรั่ง R:C คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันสำปะหลัง และ R:A คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งท้าวยายม่อม

สำหรับหัวข้อ 4.4.4-4.4.8 ที่จะกล่าวถึงต่อไปเป็นผลการวิเคราะห์สมบัติด้านเนื้อสัมผัสของก๋วยเตี๋ยวสด Biliaderis (1998) กล่าวว่าสมบัติเชิงกลของเจลสตาร์ชเป็นผลมาจากปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ลักษณะเฉพาะด้านการไหลของเมทริกซ์อิมัลชัน สัดส่วนเชิงปริมาตร (volume fraction) และความคงรูป (rigidity) ของสตาร์ชแกรนูลที่เกิดเจลลาทีโนเซชัน รวมทั้งอันตรกิริยาระหว่างภูมิภาคกระจายและภูมิภาคต่อเนื่องของเจล ซึ่งปัจจัยดังกล่าวขึ้นอยู่กับปริมาณอิมัลชันและโครงสร้างของอิมัลชัน (Yamin *et al.*, 1999)

4.4.4 ความแน่นเนื้อ

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมก๋วยเตี๋ยว (มอก. 959-2533) (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2533) กำหนดลักษณะคุณภาพของก๋วยเตี๋ยวไว้ว่าต้องมีเนื้อสัมผัสนุ่มและเหนียวไม่เกาะติดกันภาพที่ 4.8 แสดงความแน่นเนื้อของก๋วยเตี๋ยวสด พบว่าตัวอย่างที่มีความแน่นเนื้อสูง ได้แก่ R และ R:P ในอัตราส่วน 90:10 และ 80:20 ค่าความแน่นเนื้อที่สูงนี้สัมพันธ์กับค่า setback ที่สูงของเพสต์แป้งเหล่านี้ (ตารางที่ 4.6) โดยปิติพร ฤทธิเรืองเดช และ

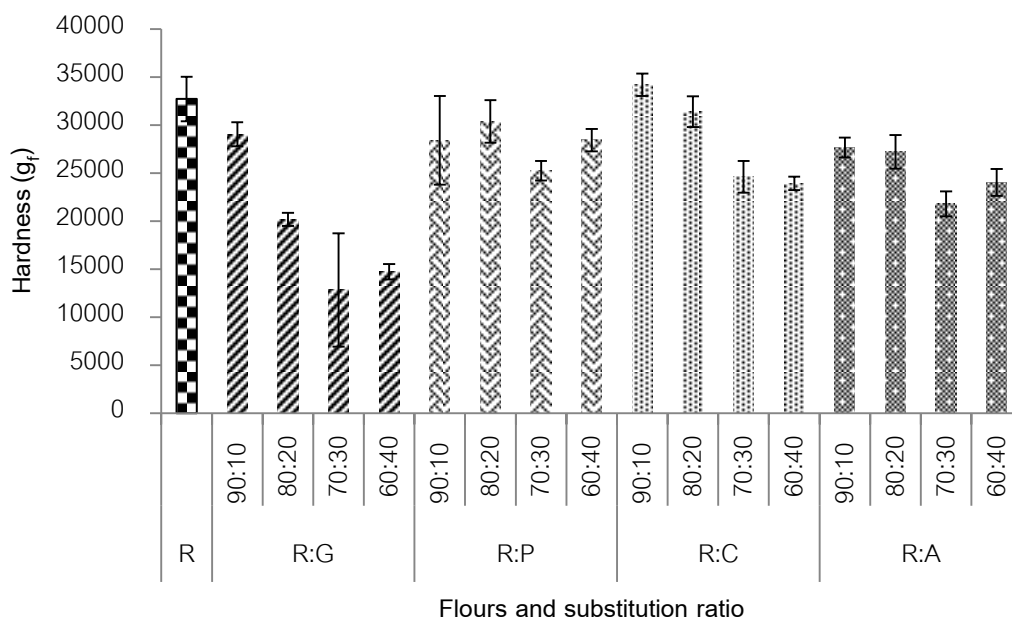
คณะ (2546) เสนอว่า setback ที่สูงหรือมีค่าเป็นบวกหมายถึงเพสต์แป้งเกิดรีโทรเกรเดชันได้มาก ในระหว่างที่มีการลดอุณหภูมิและมีแนวโน้มที่จะให้เจลแป้งที่แข็ง ความแน่นเนื้อของก๋วยเตี๋ยวสด ที่ผลิตจากแป้งผสมมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่ออัตราส่วนของแป้งทดแทนเพิ่มสูงขึ้น และ R:G มีความแน่นเนื้อต่ำกว่าตัวอย่างอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดย R:G ในอัตราส่วน 70:30 และ 60:40 มีความแน่นเนื้อต่ำที่สุด



ภาพที่ 4.8 ความแน่นเนื้อของก๋วยเตี๋ยวสด R คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า R:G คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งข้าวเหนียว R:P คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันฝรั่ง R:C คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันสำปะหลัง และ R:A คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งเท้ายายม่อม

4.4.5 ความแข็ง

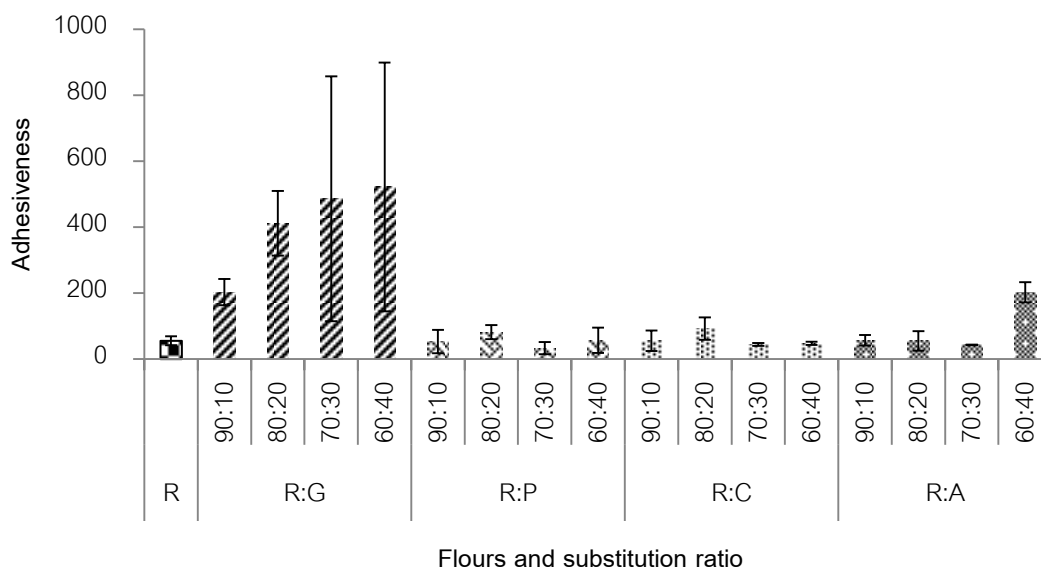
จากการศึกษาความแข็งของก๋วยเตี๋ยวสด (ภาพที่ 4.9) พบว่า R:G มีความแข็งต่ำกว่าตัวอย่างอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) สำหรับแป้งผสมอื่นๆ (R:P, R:C และ R:A) การลดลงของความแข็งสามารถเห็นได้ชัดเจนที่ระดับการทดแทนสูงๆ (70:30 และ 60:40) ซึ่งสัมพันธ์กับค่า setback ของเพสต์แป้งเหล่านี้ที่ศึกษาโดยใช้ RVA (ตารางที่ 4.6) โดยก๋วยเตี๋ยวสดที่ผลิตจาก R:P และ R:C ที่อัตราการทดแทนต่ำ (90:10 และ 80:20) มีความแข็งใกล้เคียงกับ R ในการศึกษาของ Mua และ Jackson (1997) พบว่าสตาร์ชที่ให้เจลที่แข็งมักมีปริมาณอมิโลสสูงและความยาวโซ่กิ่งของอมิโลเพกทินที่สูง



ภาพที่ 4.9 ความแข็งของก๋วยเตี๋ยวสด R คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า R:G คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งข้าวเหนียว R:P คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันฝรั่ง R:C คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันสำปะหลัง และ R:A คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งเท้ายายม่อม

4.4.6 การเกาะติดพื้นผิว

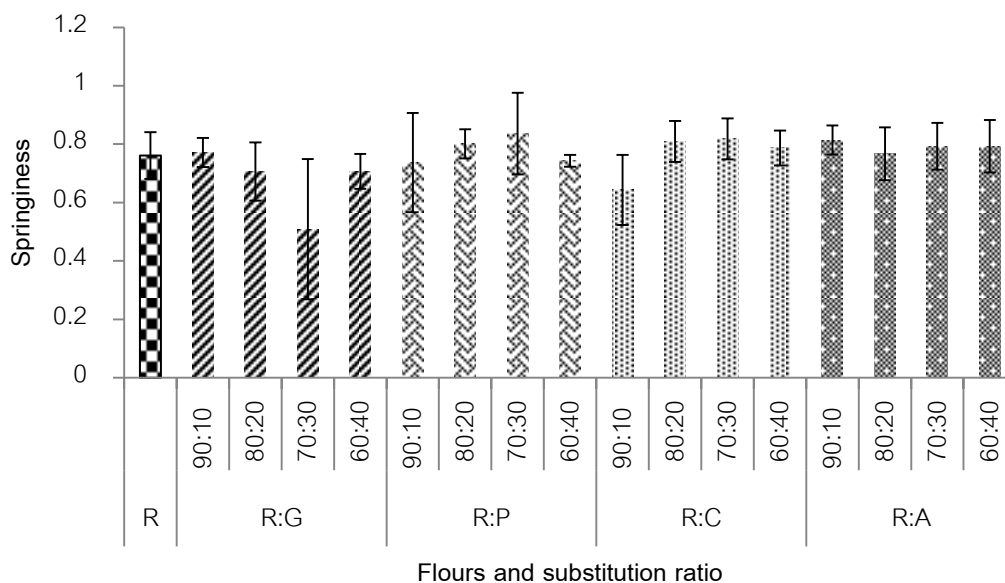
ตามที่กล่าวแล้วว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมก๋วยเตี๋ยว (มอก. 959-2533) (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2533) กำหนดลักษณะเนื้อสัมผัสประการหนึ่งของก๋วยเตี๋ยวไว้ว่าต้องไม่เกาะติดกันจากการศึกษาการเกาะติดพื้นผิวของก๋วยเตี๋ยวสด (ภาพที่ 4.10) พบว่าก๋วยเตี๋ยวสดทุกตัวอย่าง ยกเว้น R:G มีการเกาะติดพื้นผิวที่ต่ำมาก สำหรับ R:G การเกาะติดพื้นผิวมีค่าสูงกว่าตัวอย่างอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 202.88-522.15 การเกาะติดพื้นผิวของ R:G มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของแป้งข้าวเหนียวเพิ่มสูงขึ้น การเกาะติดพื้นผิวที่สูงนี้เนื่องมาจากการที่แป้งข้าวเหนียวแทบไม่มีอิมิโดสเป็นองค์ประกอบเลย (Olsen and Purugganan, 2002)



ภาพที่ 4.10 การเกาะติดพื้นผิวของก๋วยเตี๋ยวสด R คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า R:G คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งข้าวเหนียว R:P คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันฝรั่ง R:C คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันสำปะหลัง และ R:A คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งท้าวยายม่อม

4.4.7 ความยืดหยุ่น

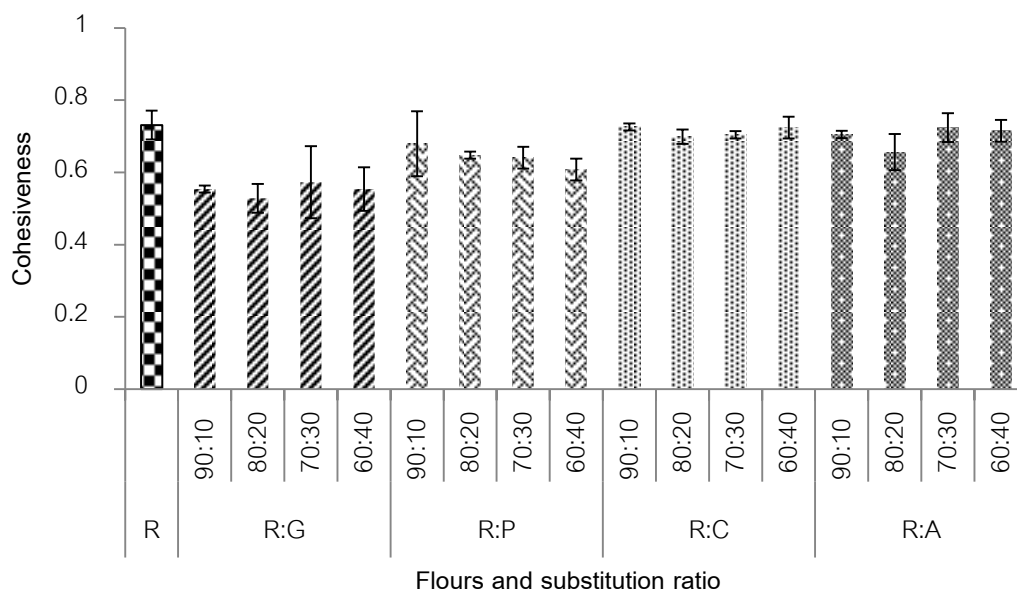
ความยืดหยุ่นของก๋วยเตี๋ยวสดแสดงดังภาพที่ 4.11พบว่าโดยทั่วไปตัวอย่างก๋วยเตี๋ยวมีความยืดหยุ่นใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 4.11 ความยืดหยุ่นของก๋วยเตี๋ยวสด R คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า R:G คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งข้าวเหนียว R:P คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันฝรั่ง R:C คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันสำปะหลัง และ R:A คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งเท้ายายม่อม

4.4.8 การเกาะตัวกันของเนื้ออาหาร

จากการศึกษาการเกาะตัวกันของเนื้ออาหาร (ภาพที่ 4.12) พบว่า R:C และ R:A มีการเกาะตัวกันของเนื้ออาหารใกล้เคียงกับ R ในขณะที่ R:P มีการเกาะตัวกันของเนื้ออาหารต่ำกว่า R, R:C และ R:A เล็กน้อย ส่วน R:G มีค่าการเกาะตัวกันของเนื้ออาหารต่ำกว่าตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ผลที่ได้นี้สอดคล้องกับรายงานของ Moritaka และ Nakazawa (2009) ซึ่งพบว่าเจลของสตาร์ชข้าวเหนียวมีการเกาะตัวกันของเนื้ออาหารต่ำกว่าเจลของสตาร์ชข้าวเจ้า ผู้วิจัยอธิบายว่าที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากการที่สตาร์ชข้าวเจ้าประกอบด้วยทั้งอไมโลสและอไมโลเพกทิน เมื่อมีแรงภายนอกกระทำต่อเจล แรงที่จะทำให้เจลเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (deformation) จึงถูกรบกวนโดยโมเลกุลอไมโลส ในขณะที่สตาร์ชข้าวเหนียวซึ่งแทบไม่มีอไมโลสอยู่เลยจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ง่ายเมื่อมีแรงภายนอกกระทำต่อเจล โดยทั่วไปพบว่าอัตราส่วนของแป้งทดแทนที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อการเกาะตัวกันของเนื้ออาหาร



ภาพที่ 4.12 การเกาะตัวกันของเนื้ออาหารของก๋วยเตี๋ยวสด R คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า R:G คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งข้าวเหนียว R:P คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันฝรั่ง R:C คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันสำปะหลัง และ R:A คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งเท้ายายม่อม

สำหรับสมบัติด้านเนื้อสัมผัสโดยรวมพบว่าการทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งข้าวเหนียว แป้งมันฝรั่ง แป้งมันสำปะหลัง และแป้งเท้ายายม่อมส่งผลให้ก๋วยเตี๋ยวสดมีความแน่นเนื้อและความแข็งลดลง โดยความแน่นเนื้อและความแข็งมีค่าลดต่ำลงเมื่ออัตราส่วนของแป้งทดแทนเพิ่มขึ้น ในด้านการเกาะติดพื้นผิวพบว่าก๋วยเตี๋ยวสดทุกตัวอย่างมีการเกาะติดพื้นผิวต่ำมากยกเว้นตัวอย่างที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวเหนียว ส่วนความยืดหยุ่นมีค่าใกล้เคียงกันในทุกตัวอย่าง

4.5 ผลของอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งทดแทนต่อสมบัติของก๋วยเตี๋ยวสดในระหว่างการเก็บรักษา

อัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งทดแทนนอกจากจะมีผลต่อสมบัติของก๋วยเตี๋ยวสดที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ แล้ว ยังอาจมีผลต่อลักษณะคุณภาพของก๋วยเตี๋ยวสดในระหว่างการเก็บรักษาด้วย ในขั้นตอนนี้จึงติดตามการเปลี่ยนแปลงสมบัติของก๋วยเตี๋ยวสดที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า (R) และก๋วยเตี๋ยวสดที่ผลิตจากแป้งผสม (R:G, R:C, R:P, R:A) ในอัตราส่วน 90:10 และ 70:30 โดยน้ำหนัก โดยเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 วันและที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 วัน

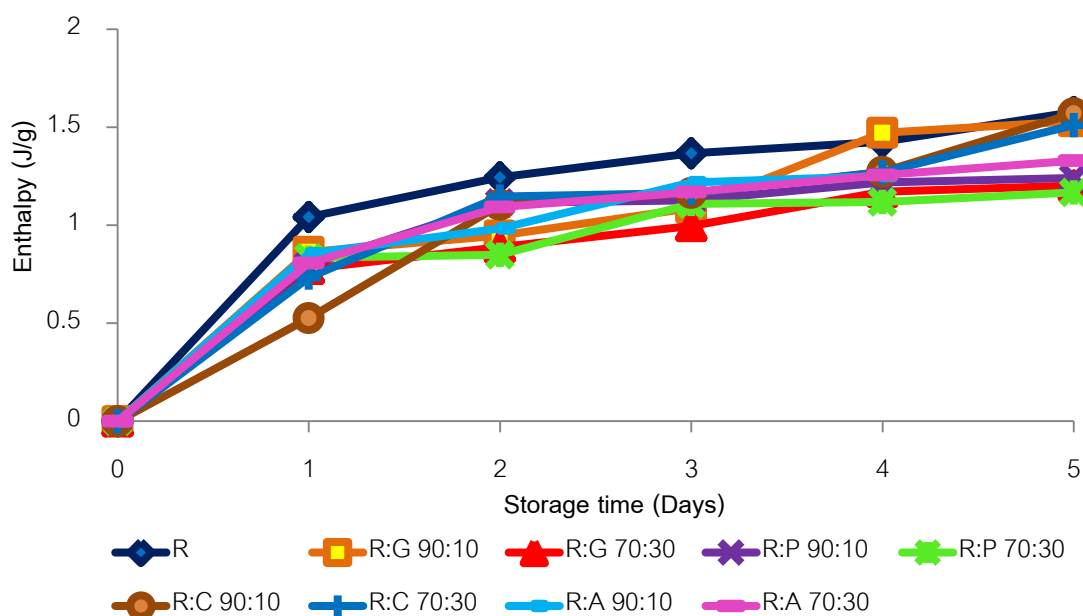
4.5.1 การเกิดเป็นผลึกใหม่ของอμιโลเพกทิน

รีโทรเกรเดชันคือปรากฏการณ์ที่โมเลกุลสตาร์ชในเพสต์สตาร์ชหรือเจลสตาร์ช กลับมารวมตัวกันใหม่ (reassociation) และเกิดเป็นโครงสร้างที่เป็นระเบียบ (Atwell *et al.*, 1988) ในการเกิดรีโทรเกรเดชันของอมิโลส โมเลกุลอมิโลสจะเกิดเป็นโครงสร้างแบบเกลียวคู่ (double helical structure) ที่ประกอบด้วยกลูโคส 40-70 หน่วยย่อย (Jane and Robyt, 1984) ในขณะที่การเกิดเป็นโครงสร้างแบบผลึกใหม่ของอมิโลเพกทินเกิดจากการรวมตัวกันใหม่ของโซ่กิ่งด้านนอก (Ring *et al.*, 1987) แม้ว่าทั้งอมิโลสและอมิโลเพกทินเกิดรีโทรเกรเดชันได้ แต่อมิโลเพกทินเป็นส่วนที่เกิดรีโทรเกรเดชันอย่างช้าๆ จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์จากแป้งในระหว่างการเก็บรักษา (Miles *et al.*, 1985; Ring *et al.*, 1987)

ภาพที่ 4.13 แสดงเอนทัลปีที่ใช้ในการหลอมละลายผลึกอมิโลเพกทินในกวยเตียวดสที่เก็บรักษาไว้ที่ 4 องศาเซลเซียสพบว่าเอนทัลปีมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ผลที่ได้นี้สอดคล้องกับรายงานของ Vodovotz และ Chinachoti (1998) ซึ่งติดตามการเกิดเป็นผลึกใหม่ของอมิโลเพกทินในระหว่างการเก็บรักษาเจลสตาร์ชข้าวสาลี และพบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเอนทัลปีที่ใช้ในการหลอมละลายผลึกอมิโลเพกทินมีค่าเพิ่มขึ้น

ในงานวิจัยนี้พบว่า R มีค่าเอนทัลปีที่ใช้ในการหลอมละลายผลึกอมิโลเพกทินสูงที่สุดในช่วงเก็บรักษา ในขณะที่กวยเตียวที่ผลิตจากแป้งผสมอื่นๆ มีการเกิดเป็นผลึกใหม่ของอมิโลเพกทินในระดับที่ใกล้เคียงกัน Lim และคณะ (1994) และ Jane และคณะ (1999) เสนอว่าสตาร์ชธัญพืชโดยทั่วไปเกิดรีโทรเกรเดชันในอัตราเร็วกว่าสตาร์ชจากพืชหัว ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากสตาร์ชจากพืชหัวประกอบด้วยฟอสเฟตโมโนเอสเทอร์ซึ่งขัดขวางการเกิดรีโทรเกรเดชัน ในขณะที่ลิพิดและฟอสโฟลิพิดในสตาร์ชธัญพืชขัดขวางการพองตัวและกระจายตัวของสตาร์ชแแกรนูล จึงเร่งการเกิดรีโทรเกรเดชัน Jane และคณะ (1999) ติดตามการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชที่เจลาทีไนส์แล้วและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 7 วัน และรายงานว่สตาร์ชข้าวเจ้าและสตาร์ชมันฝรั่งมีร้อยละการเกิดรีโทรเกรเดชันใกล้เคียงกัน คือมีค่าเท่ากับ 40.5 และ 43.4 ตามลำดับ ในขณะที่สตาร์ชข้าวเหนียวและสตาร์ชมันสำปะหลังมีร้อยละการเกิดรีโทรเกรเดชันต่ำกว่า โดยมีค่าเท่ากับ 5.0 และ 25.3 ตามลำดับอย่างไรก็ตามการที่กวยเตียวดสที่ผลิตจากแป้งผสมและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 7 วันมีการเกิดเป็น

ผลึกใหม่ของอมิโดเพกทินที่ใกล้เคียงกันอาจเนื่องมาจากระดับการทดแทนที่ต่ำ ทำให้การเปลี่ยนแปลงขึ้นกับส่วนที่เป็นแป้งข้าวเจ้าซึ่งเป็นองค์ประกอบหลัก



ภาพที่ 4.13 เอนทาลปีที่ใช้ในการหลอมละลายผลึกอมิโดเพกทินในถ้วยเดี่ยวสตูที่เก็บรักษาไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส R คือถ้วยเดี่ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า R:G คือถ้วยเดี่ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งข้าวเหนียว R:P คือถ้วยเดี่ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันฝรั่ง R:C คือถ้วยเดี่ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันสำปะหลัง และ R:A คือถ้วยเดี่ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งเท้ายายม่อม

สำหรับการเก็บรักษาตัวอย่างถ้วยเดี่ยวสตูเป็นเวลา 1 วัน ที่อุณหภูมิห้องไม่พบการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิการหลอมละลายผลึกอมิโดเพกทิน เพื่อองศาขั้นตะ (2552) เปรียบเทียบการเกิดเป็นผลึกใหม่ของอมิโดเพกทินในตัวอย่างขนมปังที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิแช่เย็นและอุณหภูมิห้อง และรายงานว่าผลึกอมิโดเพกทินเกิดขึ้นในอัตราที่สูงกว่าในตัวอย่างที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิแช่เย็น

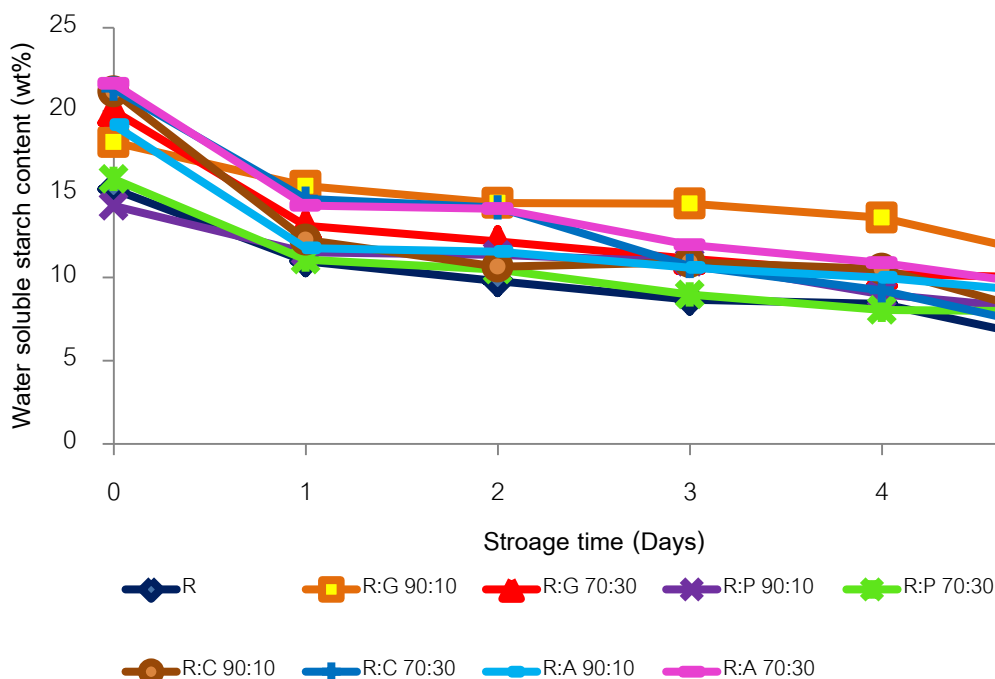
Slade และ Levine (1987) และ Marsh และ Blanshard (1988) อธิบายว่าการเกิดผลึกของอมิโดเพกทินนั้นเป็น nucleation-limiting process โดยการเกิดเป็นผลึกของอมิโดเพกทินเกิดขึ้นในช่วงของอุณหภูมิสูงกว่า glass transition temperature (T_g) หรือ glass

transition temperature ของ maximally freeze-concentrated starch (T_g') (อุณหภูมิประมาณ -5 องศาเซลเซียส) เมื่อความเข้มข้นของสตาร์ชต่ำกว่า 70% และอุณหภูมิต่ำกว่า melting temperature (T_m) (อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส)

การเกิดผลึกประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ nucleation และ propagation สำหรับการเกิด nucleation มีอัตราสูงสุดที่อุณหภูมิสูงกว่า T_g หรือ T_g' เล็กน้อย ในขณะที่การเกิด propagation มีอัตราสูงสุดที่อุณหภูมิต่ำกว่า T_m เล็กน้อย (Slade and Levine, 1987; Marsh and Blanshard, 1988) และอัตราของ nucleation และ propagation มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล กล่าวคืออัตราของ nucleation เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลงจนถึง T_g หรือ T_g' ในขณะที่อัตราของ propagation เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจนถึง T_m เนื่องจากที่อุณหภูมิสูง nucleation เกิดขึ้นในอัตราต่ำ ดังนั้นการเกิดเป็นผลึกจึงเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำและมีอัตราการเกิดเป็นผลึกลดลงที่อุณหภูมิสูงขึ้น การเกิดเป็นผลึกของอไมโลเพกทินจึงเกิดขึ้นที่อุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิที่เหมาะสมของการเกิด nucleation และอุณหภูมิที่เหมาะสมของการเกิด propagation ซึ่ง Slade และ Levine (1987) สรุปว่าอุณหภูมิแช่เย็น (4 องศาเซลเซียส) เป็นจุดที่มีสมดุลของการเกิด nucleation และ propagation สตาร์ชที่เก็บรักษาที่อุณหภูมินี้จึงเกิดรีโทรเกรเดชันในอัตราสูงสุด

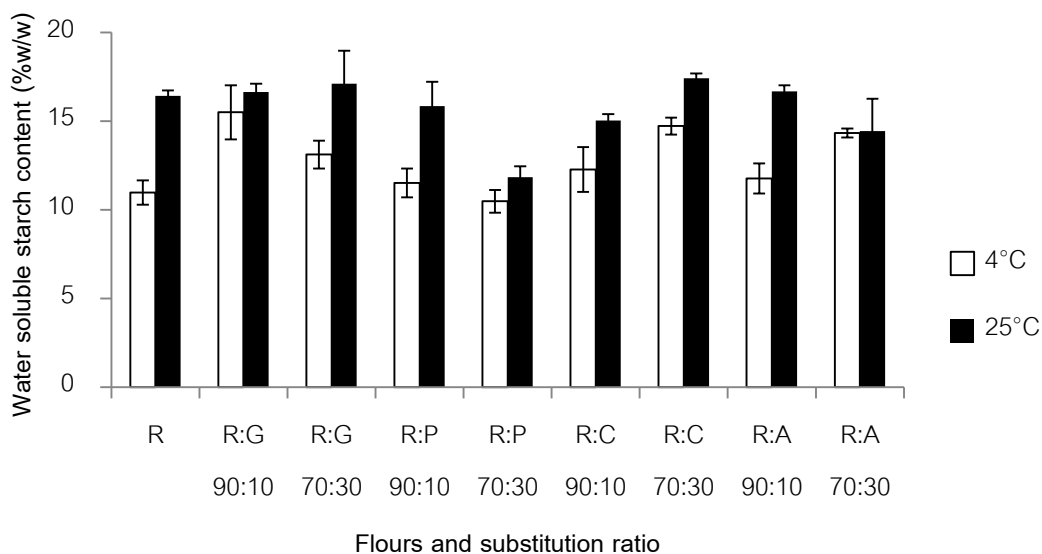
4.5.2 ปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้

เมื่อสตาร์ชเกิดรีโทรเกรเดชัน มีโครงสร้างแบบผลึกเกิดขึ้นใหม่โดยเกิดอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลสตาร์ช สตาร์ชที่เกิดรีโทรเกรเดชันจึงมีความสามารถในการละลายน้ำต่ำลง ปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ในถ้วยเดี่ยวสระหว่างการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส แสดงดังภาพที่ 4.14 พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ในทุกตัวอย่างมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ซึ่งสัมพันธ์กับการเกิดเป็นผลึกใหม่ของอไมโลเพกทินที่เพิ่มขึ้น โดย R มีปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ต่ำที่สุดในระหว่างเก็บรักษา ผลที่ได้นี้สอดคล้องกับรายงานของ Shaikh และคณะ (2007) ซึ่งติดตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ในจาปาตีในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 1 เดือนพบว่าปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ในจาปาตีมีค่าลดลงจาก 5.23 เป็น 0.30%



ภาพที่ 4.14 ปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ในก้วยเตี๋ยสดที่เก็บรักษาไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส R คือ ก้วยเตี๋ยที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า R:G คือก้วยเตี๋ยที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งข้าวเหนียว R:P คือก้วยเตี๋ยที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันฝรั่ง R:C คือก้วยเตี๋ยที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันสำปะหลัง และ R:A คือก้วยเตี๋ยที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งท้าวยายม่อม

ภาพที่ 4.15 เปรียบเทียบปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ในก้วยเตี๋ยสดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 และ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 วัน พบว่าก้วยเตี๋ยที่เก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียสทุกตัวอย่างมีปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้สูงกว่าก้วยเตี๋ยที่เก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจากก้วยเตี๋ยที่เก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียสมีการเกิดเป็นผลึกใหม่ของ อมิโลเพกทินต่ำกว่าก้วยเตี๋ยที่เก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส (หัวข้อ 4.5.1)

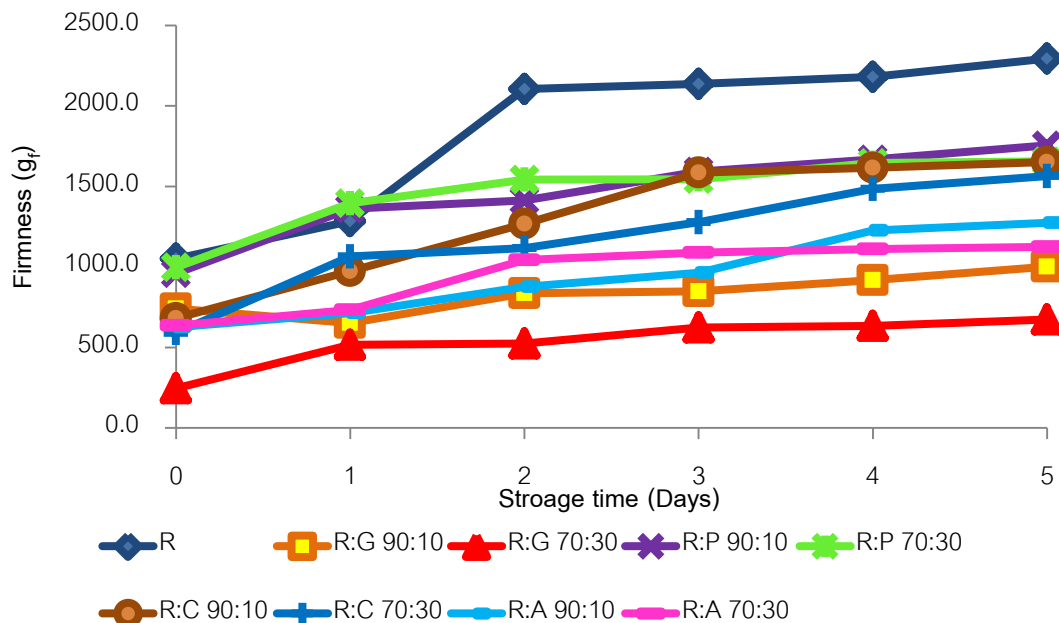


ภาพที่ 4.15 ปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ในก๋วยเตี๋ยวสดที่เก็บรักษาไว้ที่ 25 และ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน R คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า R:G คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งข้าวเหนียว R:P คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันฝรั่ง R:C คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันสำปะหลัง และ R:A คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งเท้ายายม่อม

4.5.3 ความแน่นเนื้อ

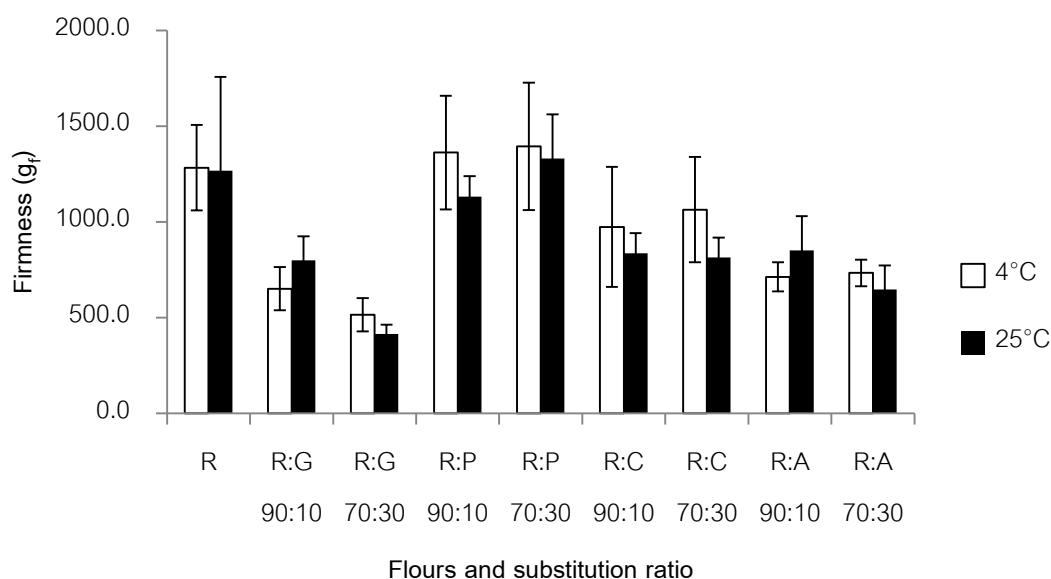
การเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชในระหว่างการเก็บรักษาทำให้ก๋วยเต๋วยมีเนื้อสัมผัสที่แข็งกระด้างขึ้น (Usui, 1987; Nguyen, 2010) ภาพที่ 4.16 แสดงความแน่นเนื้อของก๋วยเต๋วยสดที่เก็บรักษาไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความแน่นเนื้อของทุกตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ผลที่ได้นี้สอดคล้องกับรายงานของ Gujral และ Pathak (2002) ที่พบว่าจาปาตีที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมงมีความแข็งเพิ่มมากขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างก๋วยเต๋วยต่างๆ พบว่า R มีการเพิ่มขึ้นของความแน่นเนื้อสูงที่สุดสัมพันธ์กับการเกิดเป็นผลึกใหม่ของอไมโลเพกทินที่มีค่าสูงสุดเช่นกัน จากการเปลี่ยนแปลงของความชันของกราฟจะเห็นได้ว่าตัวอย่างก๋วยเต๋วยที่ผลิตจากแป้งผสมมีการเพิ่มขึ้นของความแน่นเนื้อใกล้เคียงกันสัมพันธ์กับการเกิดเป็นผลึกใหม่ของอไมโลเพกทินที่มีค่าใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 4.16 ความแน่นเนื้อของก๋วยเตี๋ยวดัดที่เก็บรักษาไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส R คือก๋วยเตี๋ยวดัดที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า R:G คือก๋วยเตี๋ยวดัดที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งข้าวเหนียว R:P คือก๋วยเตี๋ยวดัดที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันฝรั่ง R:C คือก๋วยเตี๋ยวดัดที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันสำปะหลัง และ R:A คือก๋วยเตี๋ยวดัดที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งท้าวยายม่อม

ภาพที่ 4.17 เปรียบเทียบความแน่นเนื้อของก๋วยเตี๋ยวดัดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 และ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 วัน พบว่าโดยทั่วไปก๋วยเตี๋ยวดัดที่เก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียสมีความแน่นเนื้อสูงกว่าตัวอย่างที่เก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส เนื่องจากการเกิดเป็นผลึกใหม่ของอไมโลเพกทินที่สูงกว่าเมื่อเก็บรักษาไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส (หัวข้อ 4.5.1)



ภาพที่ 4.17 ความแน่นเนื้อของก๋วยเตี๋ยวสดที่เก็บรักษาไว้ที่ 25 และ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน R คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า R:G คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งข้าวเหนียว R:P คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันฝรั่ง R:C คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันสำปะหลัง และ R:A คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งเท้ายายม่อม

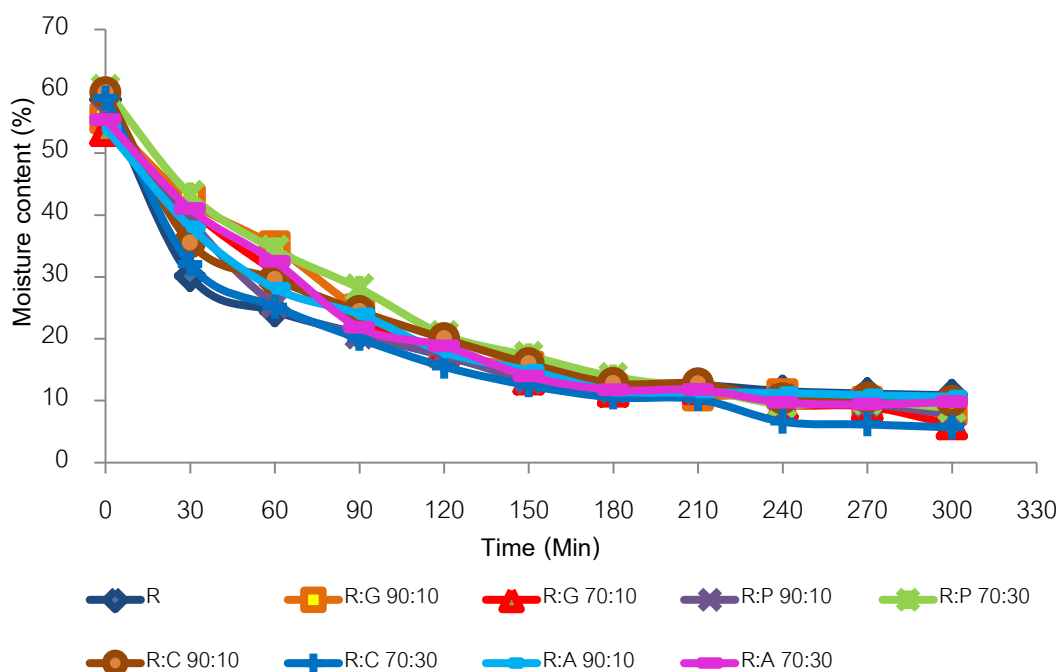
การทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งข้าวเหนียว แป้งมันฝรั่ง แป้งมันสำปะหลังและแป้งเท้ายายม่อม มีผลช่วยชะลอการเกิดรีโทรเกรเดชันของก๋วยเตี๋ยวสดในระหว่างการเก็บรักษา โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่รีโทรเกรเดชันเกิดขึ้นในอัตราที่สูง โดยจะเห็นได้จากการเกิดเป็นผลึกใหม่ของอมิไลเพกทินและการเพิ่มขึ้นของความแน่นเนื้อที่ต่ำกว่า

4.6 ผลของอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งทดแทนที่มีต่อคุณภาพก๋วยเตี๋ยวยอบแห้ง

ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาสมบัติการหุงต้มของก๋วยเตี๋ยวยอบแห้งที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า (R) และก๋วยเตี๋ยวยอบแห้งที่ผลิตจากแป้งผสม (R:G, R:C, R:P, R:A) ในอัตราส่วน 90:10 และ 70:30 โดยน้ำหนัก

ภาพที่ 4.18 แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นของตัวอย่างก๋วยเตี๋ยวในระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ตามที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมก๋วยเตี๋ยว (มอก. 959-2533) (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2533) ระบุไว้ว่าก๋วยเตี๋ยวยอบแห้งต้องมี

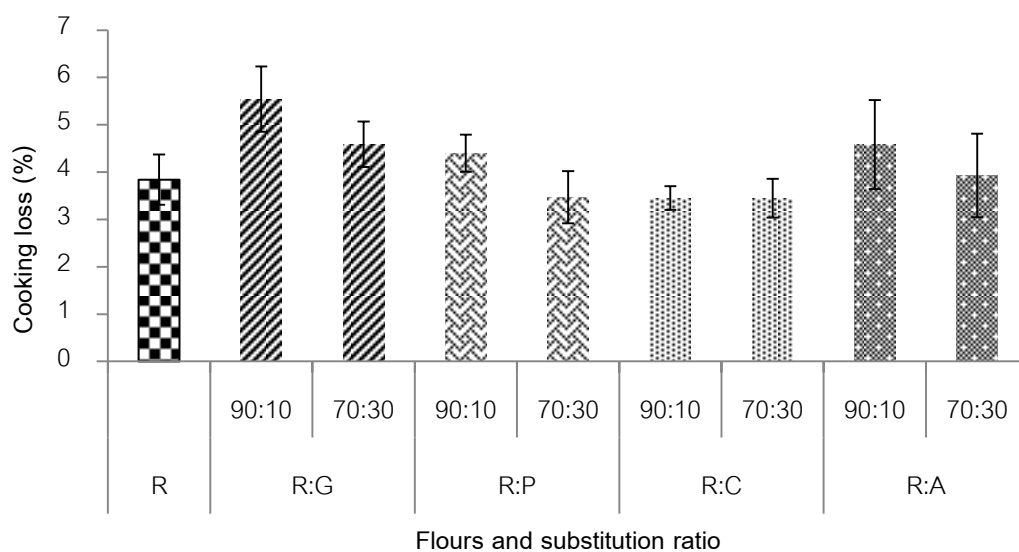
ความชื้นไม่เกิน 12% จากภาพที่ 4.18 พบว่าก๋วยเตี๋ยวทุกตัวอย่างมีอัตราการอบแห้งที่ใกล้เคียงกัน และก๋วยเตี๋ยวมีความชื้นเท่ากับ 12% ที่ระยะเวลาการอบแห้งเท่ากับ 180 นาที หรือ 3 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.18 ปริมาณความชื้นของตัวอย่างก๋วยเตี๋ยวในระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส R คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า R:G คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งข้าวเหนียว R:P คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันฝรั่ง R:C คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันสำปะหลัง และ R:A คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งเท้ายายม่อม

4.6.1 การสูญเสียระหว่างการต้ม

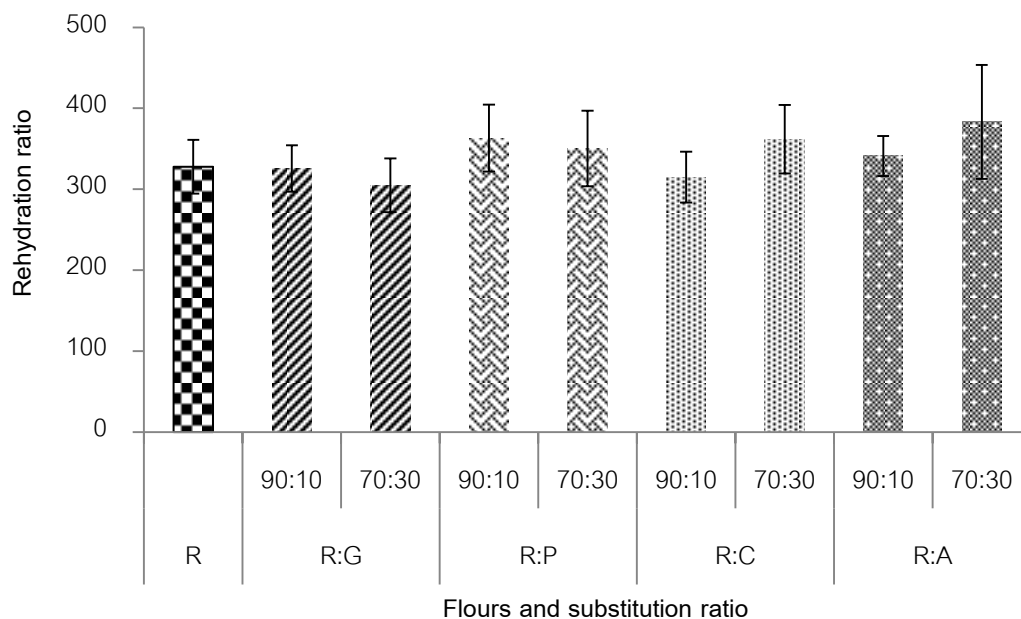
จากการวิเคราะห์การสูญเสียระหว่างการต้มของก๋วยเตี๋ยวบแห้ง (ภาพที่ 4.19) พบว่า R, R:P, R:C และ R:A มีการสูญเสียระหว่างการต้มใกล้เคียงกัน ส่วน R:G มีการสูญเสียระหว่างการต้มสูงกว่า R อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องมาจาก R:G มีการเกาะตัวกันของเนื้ออาหารต่ำกว่าตัวอย่างอื่นๆ (หัวข้อ 4.6.7)



ภาพที่ 4.19 การสูญเสียระหว่างการต้มของก๋วยเตี๋ยวอบแห้ง R คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า R:G คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งข้าวเหนียว R:P คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันฝรั่ง R:C คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันสำปะหลัง และ R:A คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งท้าวยายม่อม

4.6.2 อัตราส่วนการดูดน้ำกลับ

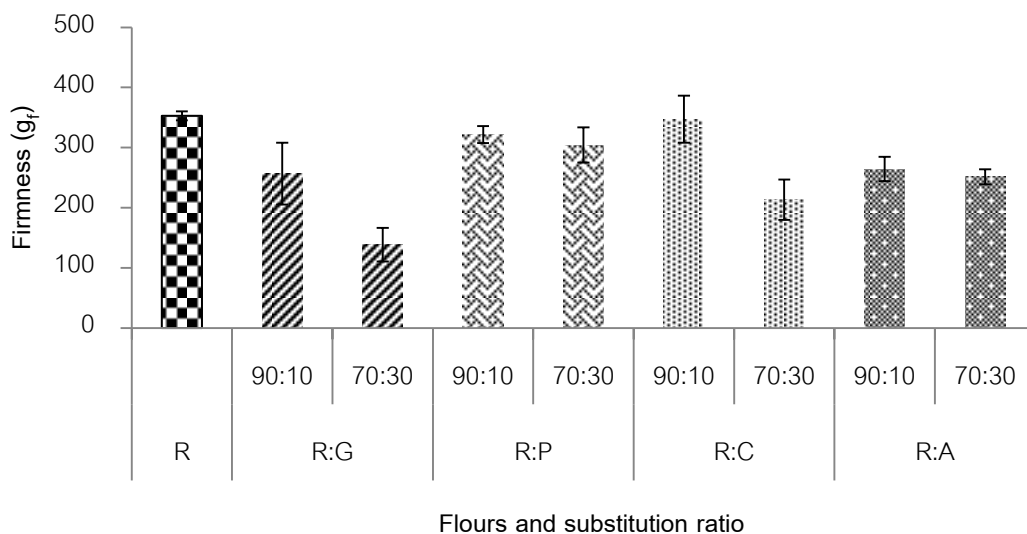
อัตราส่วนการดูดน้ำกลับของก๋วยเตี๋ยวอบแห้ง แสดงดังภาพที่ 4.20 พบว่า ตัวอย่างก๋วยเตี๋ยวมีอัตราส่วนการดูดน้ำกลับที่ใกล้เคียงกันโดยมีค่าอยู่ในช่วง 304.79-383.16 ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากวัตถุดิบแป้งที่ใช้มีปริมาณสตาร์ชไม่แตกต่างกันมากนัก (ตารางที่ 4.6) และ เนื่องจากสตาร์ชมีสมบัติชอบน้ำ ก๋วยเตี๋ยวทุกตัวอย่างจึงมีอัตราส่วนการดูดน้ำกลับที่ใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 4.20 อัตราส่วนการดูดน้ำกลับของก๋วยเตี๋ยวบแห้ง R คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า R:G คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งข้าวเหนียว R:P คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันฝรั่ง R:C คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันสำปะหลัง และ R:A คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งเท้ายายม่อม

4.6.3 ความแน่นเนื้อ

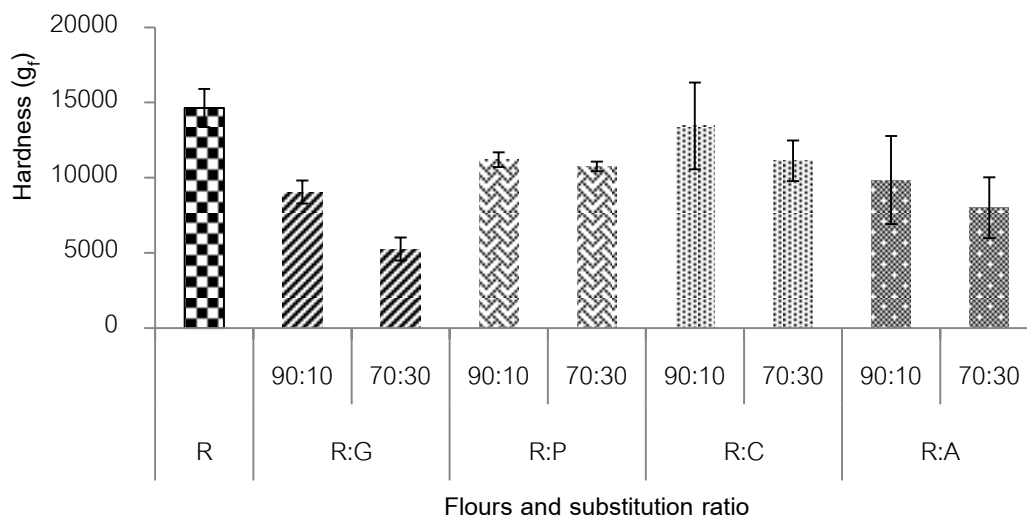
จากการศึกษาความแน่นเนื้อของก๋วยเตี๋ยวบแห้งที่ต้มแล้ว (ภาพที่ 4.21) พบว่า R, R:P และ R:C มีค่าความแน่นเนื้อสูง และความแน่นเนื้อของตัวอย่างที่ผลิตจากแป้งผสมมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่ออัตราส่วนของแป้งทดแทนเพิ่มขึ้น สำหรับ R:G มีความแน่นเนื้อต่ำกว่า R อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.21 ความแน่นเนื้อของก๋วยเตี๋ยวบแห้งที่ต้มแล้ว R คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า R:G คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งข้าวเหนียว R:P คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันฝรั่ง R:C คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันสำปะหลัง และ R:A คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งเท้ายายม่อม

4.6.4 ความแข็ง

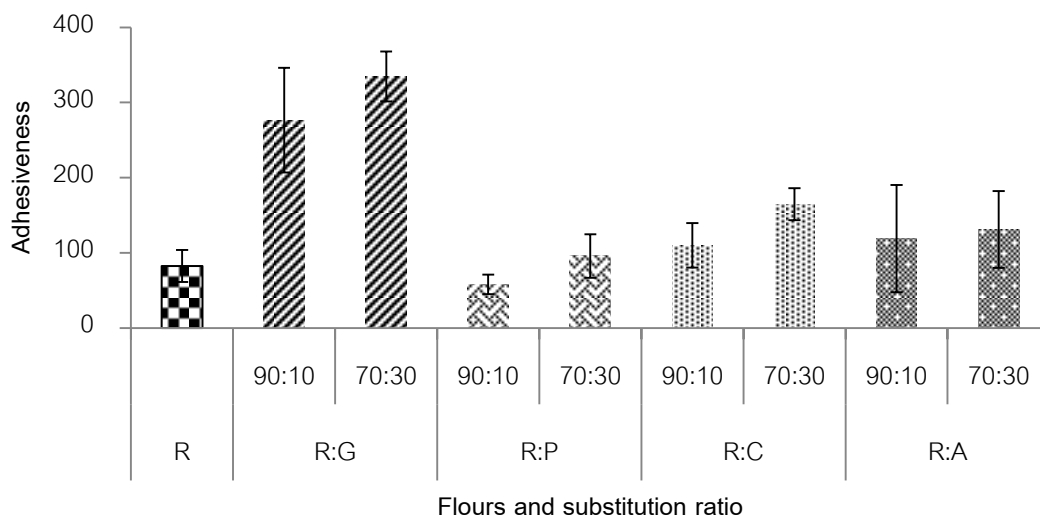
ความแข็งของก๋วยเตี๋ยวบแห้งที่ต้มแล้วแสดงดังภาพที่ 4.22 พบว่าตัวอย่างที่มีความแข็งสูง ได้แก่ R และ R:C ความแข็งของตัวอย่างที่ผลิตจากแป้งผสมมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่ออัตราส่วนของแป้งทดแทนเพิ่มขึ้น โดย R:G ในอัตราส่วน 70:30 มีค่าความแข็งต่ำที่สุด



ภาพที่ 4.22 ความแข็งของก๋วยเตี๋ยวบแห้งที่ต้มแล้ว R คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า R:G คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งข้าวเหนียว R:P คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันฝรั่ง R:C คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันสำปะหลัง และ R:A คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งท้าวยายม่อม

4.6.5 การเกาะติดพื้นผิว

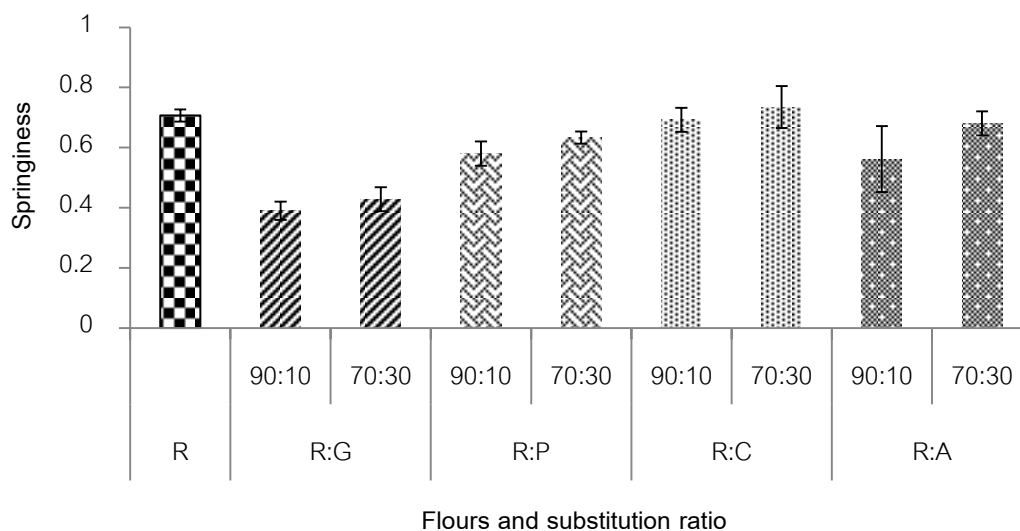
ภาพที่ 4.23 แสดงการเกาะติดพื้นผิวของก๋วยเตี๋ยวบแห้งที่ต้มแล้ว พบว่า R:P, R:C และ R:A มีการเกาะติดพื้นผิวใกล้เคียงกับ R โดยตัวอย่างกลุ่มดังกล่าวมีการเกาะติดพื้นผิวที่ค่อนข้างต่ำ ส่วน R:G มีการเกาะติดพื้นผิวสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดย R:G ในอัตราส่วน 70:30 มีการเกาะติดพื้นผิวสูงที่สุดผลที่ได้นี้เป็นไปในทำนองเดียวกับในตัวอย่างก๋วยเตี๋ยวด



ภาพที่ 4.23 การเกาะติดพื้นผิวของก๋วยเตี๋ยวบแห้งที่ต้มแล้ว R คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า R:G คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งข้าวเหนียว R:P คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันฝรั่ง R:C คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันสำปะหลัง และ R:A คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งเท้ายายม่อม

4.6.6 ความยืดหยุ่น

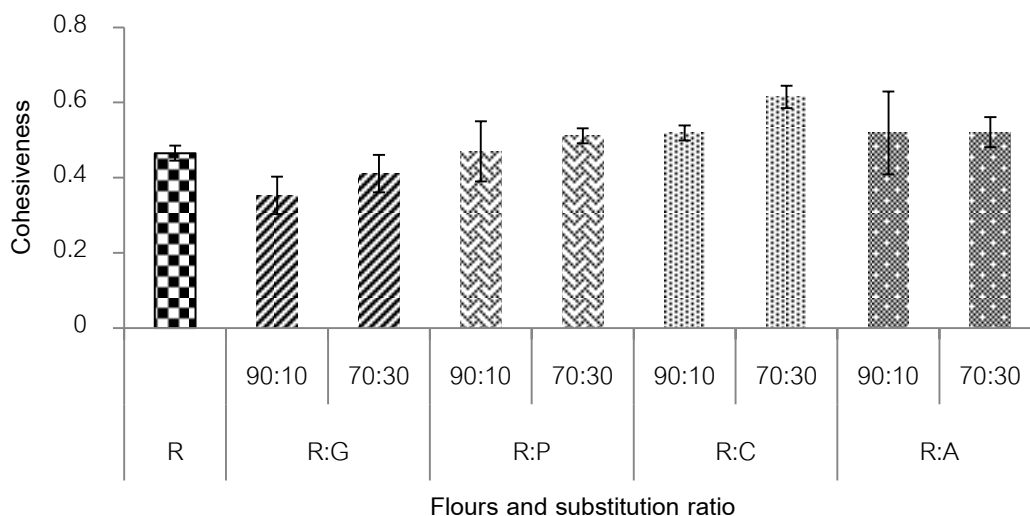
ความยืดหยุ่นของก๋วยเตี๋ยวบแห้งที่ต้มแล้วแสดงดังภาพที่ 4.24 พบว่า R:P และ R:C มีความยืดหยุ่นใกล้เคียงกับ R ในขณะที่ R:A มีความยืดหยุ่นต่ำกว่า R และ R:G มีความยืดหยุ่นต่ำกว่าตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.24 ความยืดหยุ่นของก๋วยเตี๋ยวบแห้งที่ต้มแล้ว R คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า R:G คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งข้าวเหนียว R:P คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันฝรั่ง R:C คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันสำปะหลัง และ R:A คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งเท้ายายม่อม

4.6.1.7 การเกาะตัวกันของเนื้ออาหาร

ภาพที่ 4.25 แสดงการเกาะตัวกันของเนื้ออาหารของก๋วยเตี๋ยวบแห้งที่ต้มแล้ว พบว่า R:P และ R:A มีการเกาะตัวกันของเนื้ออาหารใกล้เคียงกับ R ในขณะที่ R:C มีการเกาะตัวกันของเนื้ออาหารสูงกว่า R อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ส่วน R:G มีการเกาะตัวกันของเนื้ออาหารต่ำกว่าตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.25 การเกาะตัวกันของเนื้ออาหารของก๋วยเตี๋ยวบั้งที่ต้มแล้ว R คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า R:G คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งข้าวเหนียว R:P คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันฝรั่ง R:C คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันสำปะหลัง และ R:A คือก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งเท้ายายม่อม

สำหรับผลของอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งทดแทนที่มีต่อคุณภาพของก๋วยเตี๋ยวบั้ง พบว่าการทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งมันฝรั่ง แป้งมันสำปะหลัง และแป้งเท้ายายม่อมไม่ส่งผลต่อการสูญเสียระหว่างการต้ม อย่างไรก็ตามการทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งข้าวเหนียวมีผลให้การสูญเสียระหว่างการต้มเพิ่มสูงขึ้น สำหรับอัตราส่วนการดูดนํ้ากลับของทุกตัวอย่างมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนในด้านเนื้อสัมผัสพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของแป้งทดแทนมีผลให้ความแน่นเนื้อและความแข็งของก๋วยเตี๋ยวบั้งที่ต้มแล้วมีค่าลดลง

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

องค์ประกอบที่มีมากที่สุดในแป้งที่ใช้เป็นวัตถุดิบทุกชนิดคือคาร์โบไฮเดรตซึ่งมีปริมาณ 81-88% (wb) สตาร์ชแต่ละชนิดมีอัตราส่วนของอมิโลสต่ออมิโลเพกทินแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยสตาร์ชข้าวเจ้ามีอัตราส่วนของอมิโลสต่ออมิโลเพกทินสูงที่สุดรองลงมาคือสตาร์ชมันฝรั่ง สตาร์ชมันสำปะหลัง และสตาร์ชเท้ายายม่อม ส่วนสตาร์ชข้าวเหนียวแทบไม่มีอมิโลสอยู่เลย

จากการศึกษาพฤติกรรมการเกิดเพสตัดพบว่าแป้งข้าวเจ้ามีค่า pasting temperature สูงที่สุดมี peak viscosity ที่ต่ำที่สุด และมี setback ที่สูงที่สุด เมื่อเพิ่มอัตราส่วนการทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งข้าวเหนียว แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง และแป้งเท้ายายม่อม พบว่า peak viscosity มีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ pasting temperature, final viscosity และ setback มีค่าลดลงจากการติดตามการเกิดเจลลิตีในเซชันด้วย DSC พบว่าพบว่าแป้งข้าวเจ้า แป้งมันฝรั่ง แป้งมันสำปะหลัง และแป้งเท้ายายม่อมมีอุณหภูมิเจลลิตีในเซชันที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวเหนียว

สำหรับสมบัติด้านสีของก๋วยเตี๋ยวสด พบว่าการทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งข้าวเหนียว แป้งมันฝรั่ง และแป้งมันสำปะหลัง ไม่มีผลต่อสมบัติด้านสีของก๋วยเตี๋ยวสดมากนัก อย่างไรก็ตามการทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งเท้ายายม่อมมีผลทำให้ค่า $+b^*$ มุมสี ความเข้มสี มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และดัชนีความขาวมีแนวโน้มลดลง

ในด้านเนื้อสัมผัสพบว่าโดยรวมการทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งชนิดอื่นส่งผลให้ก๋วยเตี๋ยวสดมีความแน่นเนื้อและความแข็งลดลง การเกาะติดพื้นผิวของก๋วยเตี๋ยวสดทุกตัวอย่างมีค่าต่ำมาก ยกเว้นตัวอย่างที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวเหนียวซึ่งมีการเกาะติดพื้นผิวสูงกว่าตัวอย่างอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ความยืดหยุ่นมีค่าใกล้เคียงกันในทุกตัวอย่าง ส่วนการเกาะตัวกันของเนื้ออาหารของตัวอย่างที่ทดแทนด้วยแป้งมันสำปะหลังและแป้งเท้ายายม่อมมีค่าใกล้เคียงกับก๋วยเตี๋ยวสดที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า ในขณะที่ตัวอย่างที่ทดแทนด้วยแป้งมันฝรั่งมีการเกาะตัวกัน

ของเนื้ออาหารต่ำกว่าเล็กน้อย ส่วนตัวอย่างที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวเหนียวมีการเกาะตัวกันของเนื้ออาหารต่ำกว่าตัวอย่างอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

การเติมแป้งทดแทนมีผลให้เกิดเป็นผลึกใหม่ของอมิไลเพกทินในก้วยเตี๋ยวสดในระหว่างการเก็บรักษาลดต่ำลงเมื่อเปรียบเทียบกับก้วยเตี๋ยวสดที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ซึ่งมีค่าสูงกว่าและการเปลี่ยนแปลงของความแน่นเนื้อที่ต่ำกว่าก้วยเตี๋ยวสดที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า ก้วยเตี๋ยวสดที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสมีการเกิดเป็นผลึกใหม่ของอมิไลเพกทินและความแน่นเนื้อสูงกว่า ในขณะที่มีปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ต่ำกว่าก้วยเตี๋ยวสดที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

เมื่อนำมาผลิตเป็นก้วยเตี๋ยวอบแห้ง พบว่าก้วยเตี๋ยวอบแห้งทุกตัวอย่างมีการสูญเสียระหว่างการต้มใกล้เคียงกัน ยกเว้นตัวอย่างที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวเหนียวซึ่งมีการสูญเสียระหว่างการต้มสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ อัตราส่วนการคืนน้ำกลับของทุกตัวอย่างมีค่าใกล้เคียงกัน ในด้านเนื้อสัมผัสพบว่าโดยรวมการทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งชนิดอื่นส่งผลให้ก้วยเตี๋ยวอบแห้งที่ต้มแล้วมีความแน่นเนื้อและความแข็งลดลง โดยตัวอย่างที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวเหนียวมีความแตกต่างในด้านความแน่นเนื้อ ความแข็ง การเกาะติดพื้นผิว ความยืดหยุ่น และการเกาะตัวกันของเนื้ออาหารแตกต่างจากตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ข้อเสนอแนะ

คุณภาพของก้วยเตี๋ยวอบแห้งที่ยังไม่ผ่านการคืนรูป (rehydration) เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญทั้งในด้านการผลิต การกระจายสินค้า การเก็บรักษา รวมทั้งมีผลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อของผู้บริโภค ดังนั้นจึงมีความน่าสนใจที่จะศึกษาผลของการแทนที่แป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งชนิดอื่นต่อคุณภาพของก้วยเตี๋ยวอบแห้งที่ยังไม่ผ่านการคืนรูป

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2550. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- บุศรารวรรณ ไชยะ. 2547. ผลของแป้งข้าวพีเจล แป้งมันฝรั่งและน้ำตาลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของขนมจีนแป้งหมัก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ปิติพร ฤทธิเรืองเดช, ธงชัย สุวรรณสิขณณ์, วิชัย หฤทัยธนาสันต์ และ กล้าณรงค์ ศรีรอด. 2546. พฤติกรรมด้านความหนืดและคุณสมบัติทางกลของแป้งเท้ายายม่อม (*Tacca leontopetaloides* Ktze.). ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 4, หน้า 53-60. 3-7 กุมภาพันธ์.
- เฟื่องนภา ชันทะ. 2552. ผลของไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อความไม่สดและคุณภาพการเก็บรักษาของขนมปังแป้งสาลี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วรรณดา ตูลยธัญ. 2551. เคมีอาหารของคาร์โบไฮเดรต. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2529ก. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งข้าวเจ้า มอก.638-2529. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2529ข. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งข้าวเหนียว มอก.639-2529. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2533. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมก๋วยเตี๋ยว มอก. 959-2533. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

- โสภิตา สืบวงษา และ อนุกุล วัฒนสุข. 2550. ผลของสตาร์ชดัดแปรแบบพันธะเชื่อมขวางต่อคุณภาพก๋วยเตี๋ยวบแห้งและก๋วยเตี๋ยวบบรรจุกระป๋อง. ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45, หน้า 578-585. 30 มกราคม-2 กุมภาพันธ์.
- อรรถพรณ กัลปนายุทธ. 2547. การปรับปรุงคุณภาพก๋วยเตี๋ยวบพร้อมบริโภคในบรรจุภัณฑ์ปิดสนิทผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรเซชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภาษาอังกฤษ

- AACC. 1990. Approved Methods of Analysis. St. Paul: AACC International.
- Alvani, K., Qi, X., Tester, R. F. and Snape, C. E. 2011. Physico-chemical properties of potato starch. Food Chemistry125 (3): 958-965.
- AOAC. 2000. Official Methods of Analysis, 17th ed. Washington, D. C.: The Association of Analytical Chemists.
- AOAC. 2005. Official Methods of Analysis, 18th ed. Washington, D. C.: The Association of Analytical Chemists.
- Atwell, W. A., Wood, L. F., Lineback, D. R., Varriano Marston, E. and Zobel, H. F. 1988. The terminology and methodology associated with basic starch phenomenon. Cereal Foods World 33 (3): 306-311.
- Bao, J. S. 2008. Accurate measurement of pasting temperature by the Rapid Visco Analyser: a case study using rice flour. Rice Science 15 (1): 69-72.
- Bárcenas, M. E. and Rosell, C. M. 2005. Effect of HPMC addition on the microstructure, quality and aging of wheat bread. Food Hydrocolloids 19 (6): 1037-1043.
- BeMiller, J. N. and Whistler, R. L. 1996. Carbohydrates. In O. R. Fennema (ed.), Food Chemistry. 3rd ed., pp. 157-223. New York: Marcel Dekker.
- Biliaderis, C. G. 1998. Structures and phase transitions of starch polymers. In R. H. Walker (ed.), Polysaccharide Association Structures in Food, pp. 57-168. New York: Marcel Dekker.
- Bourne, M. C. 1982. Food technology and viscosity. Concept and measure. New York : Academic Press.

- deMan, J. M. 1990. Principles of food chemistry, 2nded. New York: Van Nostrand Reinhold
- Faroongsarng, D., Wongpoowarak, W. and Mitrevel, A. 1999. Starch gelatinization under thermal stress. Pharmaceutical Development and Technology 4 (4): 531-538.
- Gibson, T. S., Solah, V. A. and McCleary, B. V. 1997. A procedure to measure amylose in cereal starches and flours with Concanavalin A. Cereal Science 25(2): 111-119.
- Gujral, H. and Pathak, A. 2002. Effect of composite flour and additives on the texture of chapati. Journal of Food Engineering 55 (2): 173-179.
- Horndok, R. and Noomhorm, A. 2007. Hydrothermal treatments of rice starch for improvement of rice noodle quality. Lebensmittel Wissenschaft und-Technologie 40 (10): 1723-1731.
- James, C. S. 1995. Analytical Chemistry of Foods. London: Chapman & Hall
- Jane, J. L. and Robyt, J. F. 1984. Structure studies of amylose V complexes and retrograded amylose by action of alpha amylase, a new method for preparing amyloextrins. Carbohydrate Research 132 (1): 105-110.
- Jane, J., Chen, Y. Y., Lee, L. F., McPherson, A. E., Wong, K. S., Radosavljevic, M. and Kasemsuwan, T. 1999. Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. Cereal Chemistry 76 (5): 629-637.
- Karim, A. A., Toon, L. C., Lee, V. P. L., Ong, W. Y., Fazilah, A. and Noda, T. 2007. Effects of phosphorus contents on the gelatinization and retrogradation of potato starch. Journal of Food Science 72 (2): C132-C138.
- Kim, W. S. and Seib, P. A. 1993. Apparent restriction of starch swelling in cooked noodles by lipids in some commercial wheat flours. Cereal Chemistry 70 (4): 367-372.
- Kitts, D. D. 2012. Bread staling. [Online]. Available from: <http://www.landfood.ubc.ca/courses/fnh/301/waterq5.htm>

- Lee, S. Y., Woo, K. S., Lim, J. K., Kim, H. I. and Lim, S. T. 2005. Effect of processing variables on texture of sweet potato starch noodles prepared in a nonfreezing process. Cereal Chemistry 82 (4): 475-478.
- Lii, C. H. and Chang, S. H. 1981. Characterization of red bean (*Phaseolus radiatus* var. *Aurea*) starch and its noodle quality. Journal of Food Science 46 (1): 78-80.
- Lim, S. T., Kasemsuwan, T. and Jane, J. 1994. Characterization of phosphorus in starches using ³¹P-nuclear magnetic resonance spectroscopy. Cereal Chemistry 7 (5): 488-493.
- Manaosis, R. V. 2009. Modification of rice starch properties by addition of amino acids at various pH levels. M. S. Thesis. Department of Food Science, Louisiana State University.
- Mariotti, M., Sinelli, N., Catenacci, F., Pagani, M. A. and Lucisano, M. 2009. Retrogradation behaviour of milled and brown rice pastes during ageing. Cereal Science 49 (2): 171-177.
- Marsh, R. D. L. and Blanshard, J. M. V. 1988. The application of polymer crystal growth theory to the kinetics of formation of the β -amylose polymorph in a 50% wheat starch gel. Carbohydrate Polymers 9 (4): 301-317.
- Miles, M. J., Morris, V. J., Orford, P. D. and Ring, S. G. 1985. The roles of amylose and amylopectin in the gelation and retrogradation of starch. Carbohydrate Research 135 (2): 271-281.
- Mishra, S. and Rai, T. 2006. Morphology and functional properties of corn, potato and tapioca starches. Food Hydrocolloids 20 (5): 557-566.
- Morikawa, K. and Nishinari, K. 2000. Effect of concentration dependence of retrogradation behaviour of dispersions for native and chemically modified potato starch. Food Hydrocolloids 14 (4): 395-401.
- Moritaka, H. and Nakazawa, F. 2009. The rheological and swallowing properties of rice starch. Food Science and Technology Research 15 (2): 133-140.

- Mua, J. P. and Jackson, D. S. 1997. Relationship between functional attributes and molecular structures of amylose and amylopectin fractions of corn starch. Journal of Agricultural and Food Chemistry 45 (10): 3848-3854.
- Natural Resources Canada. 2009. Colour design and tools [Online]. Available from: http://atlas.nrcan.gc.ca/site/english/learningresources/carto_corner/map_content_design_tools.html [2012, March 23]
- Nguyen, A. 2010. Vietnamese noodles 101: Banh Pho flat rice noodles [Online]. Available from: <http://www.vietworldkitchen.com/blog/2010/03/vietnamese-noodles-101-banh-pho-flat-rice-noodles.html> [2010, April 26]
- Oh, N. H., Seib, P. A., Deyoe, C. W. and Ward, A. B. 1983. Noodles. I. Measuring the textural characteristics of cooked noodles. Cereal Chemistry 60 (6): 433-438.
- Olsen, K. M. and Purugganan, M. D. 2002. Molecular evidence on the origin and evolution of glutinous rice. Genetics 162 (2): 941-950.
- Ratnayake, W. S., Jackson, D. S. 2008. Starch gelatinization. Advances in Food and Nutrition Research 55: 221-268.
- Ring, S. G., Colonna, P., l'anson, K. J., Kalichevsky, M. T., Miles, M. J., Morris, V. J. and Orford, P. D. 1987. The gelation and crystallisation of amylopectin. Carbohydrate Research 162 (2): 277-293.
- Roongthongsri, S. 2008. Effects of soymilk residue (okara) or Soy flour on staling and keeping quality of bread. M. Sc. Thesis, Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University
- Saeleaw, M. and Schleining, G. 2010. Effect of blending cassava starch, rice, waxy rice and wheat flour on physico-chemical properties of flour mixtures and mechanical and sound emission properties of cassava crackers. Journal of Food Engineering 100 (1): 12-24.
- Sandhu, K. S. and Singh, N. 2007. Some properties of corn starches II: physicochemical, gelatinization, retrogradation, pasting, and gel textural properties. Food Chemistry 101 (4): 1499-1507.

- Sandhu, K. S., Kaur, M. and Mukesh. 2010. Studies on noodle quality of potato and rice starches and their blends in relation to their physicochemical, pasting and gel textural properties. Lebensmittel Wissenschaft und-Technologie 43 (8): 1289-1293.
- Shaikh, I. M., Ghodke, S. K. and Anathanarayan, L. 2007. Staling of chapatti (Indian unleavened flat bread). Food Chemistry 101(1): 113-119.
- Slade, L. and Levine, H. 1987. Recent advances in starch retrogradation. In S. S. Stivala, V. Crescenzi and I. C. M. Dea (eds.), Industrial Polysaccharides: The Impact of Biotechnology and Advanced Methodologies, pp. 387-430. New York: Gordon and Breach.
- Stable Micro Systems. 2010. TEE32 Application Program, Version 5.0.9.0
- Surojanametakul, V., Tungtrakul, P. and Varanyanond, W. 2006. Factors affecting water soluble polysaccharide content and pasting properties of Thai glutinous rice. Kasetsart Journal (Natural Science)40 (Suppl.): 117-124.
- Takeda, Y., Hizukuri, S. and Juliano, B. O. 1987. Structures of rice amylopectins with low and high affinities for iodine. Carbohydrate Research 168 (1): 79-88.
- Usui, T. 1987. Method of preventing retrogradation of foodstuffs. U. S. Patent 4690829.
- Visser, R. G. F., Suurs, L. C. J. M., Steeneken, P. A. M. and Jacobsen, E. 1997. Some physicochemical properties of amylose-free potato starch. Starch/Stärke 49 (11): 433-448.
- Vittadini, E. and Vodovotz, Y. 2003. Changes in the physicochemical properties of wheat- and soy-containing breads during storage as studied by thermal analysis. Journal of Food Science 68 (6): 2022-2027.
- Vodovotz, Y. and Chinachoti, P. 1998. Glassy-rubbery transition and recrystallization during aging of wheat starch gel. Journal of Agricultural and Food Chemistry46 (2): 446-453.
- Wang, H. H., Sun, D. W., Zeng, Q. and Lu, Y. 2000. Effect of pH, corn starch and phosphates on the pasting properties of rice flour. Journal of Food Engineering 46 (2): 133-138.

- Yamin, F. F., Lee, M., Pollak, L. M. and White, P. J. 1999. Thermal properties of starch in corn variants isolated after chemical mutagenesis of inbred line B73. Cereal Chemistry 76 (2): 175-181.
- Zaidul, I. S. M., Absar, N., Kim, S. J., Suzuki, T., Karim, A. A., Yamauchi, H. and Noda, T. 2008. DSC study of mixtures of wheat flour and potato, sweet potato, cassava, and yam starch. Journal of Food Engineering 86 (1): 68-73

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์

ก.1 การแยกสสารจากแป้งฟลาวัวร์

อุปกรณ์

1. ตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช
2. เครื่องเหวี่ยงแยก

สารเคมี

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.5%

วิธีการวิเคราะห์

1. นำแป้งฟลาวัวร์ 100 กรัมผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.5% ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
2. กวนสารละลายเป็นเวลา 30 นาทีที่อุณหภูมิห้อง
3. นำไปเหวี่ยงแยกที่ 2500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที
4. เทส่วนใสทิ้งและแยกส่วนสีเหลืองที่จับเป็นผิวอยู่ด้านบนออก
5. ล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตรผสมให้เข้ากันแล้วนำไปเหวี่ยงแยกที่ 2500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที
6. นำสสารที่ได้ไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
7. บดลดขนาดสสารแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช บรรจุในถุงพอลิเอทิลีน ปิดผนึก และเก็บในโถดูดความชื้น

ก.2 การศึกษาลักษณะพื้นฐานของสสารแกรนูลโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

อุปกรณ์

1. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

2. เครื่องฉาบทอง (ion sputter) (รุ่น SCD 040, Balzers Union, Furstentum, Liechtenstein)

วิธีการวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างติดบน stub โดยใช้เทปกาวสองหน้า
2. ฉาบด้วยทองหนา 20-30 มิลลิเมตร ด้วยเครื่อง ion sputter โดยใช้เทคนิค Hammer V Sputter Coater
3. บันทึกภาพโดยใช้กำลังขยายที่เหมาะสม

ก.3 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. จานอลูมิเนียมสำหรับวิเคราะห์ความชื้น
2. โถดูดความชื้น
3. ตู้อบลมร้อน
4. เครื่องชั่ง

วิธีการวิเคราะห์

1. อบจานอลูมิเนียมพร้อมฝาปิดที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที นำออกมาทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักจานและฝาปิดให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน
2. ชั่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัม ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน บรรจุลงในจานอลูมิเนียม นำเข้าอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 ชั่วโมง แล้วนำมาใส่ในโถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็น และชั่งน้ำหนัก หลังจากนั้นนำตัวอย่างเข้าอบซ้ำอีกครั้งละ 30 นาที จนกว่าจะได้น้ำหนักคงที่ (เปลี่ยนแปลงไม่เกิน 2 มิลลิกรัม) คำนวณปริมาณความชื้นจาก

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%, wb)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

ก.4 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. กรูชีเบล
2. โถดูดความชื้น
3. เต้าเผา
4. เครื่องชั่ง

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 2 กรัม บรรจุลงในกรูชีเบลที่ทราบน้ำหนักแน่นอน
2. นำตัวอย่างไปเผาโดยใช้เต้าไฟฟ้าจนหมดควัน
3. นำเข้าเผาต่อในเต้าเผาที่ 550 องศาเซลเซียสจนกระทั่งได้เถ้าสีขาวหรือสีเทาอ่อน
4. นำตัวอย่างที่เผาแล้วใส่ในโถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้องแล้วชั่ง

น้ำหนักคำนวณปริมาณเถ้าจาก

$$\text{ปริมาณเถ้า(\%, wb)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา}}$$

ก.5 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนหยาบ (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. เครื่องย่อยและเครื่องกลั่นหาไนโตรเจน
2. เครื่องชั่ง

สารเคมี

1. โซเดียมไฮดรอกไซด์
2. กรดบอริก
3. โซเดียมคาร์บอเนต, แอนไฮดรัส
4. โบรโมครีซอลกรีน
5. เมทิลเรด
6. เอทานอล, 95%

7. กรดซัลฟูริกเข้มข้น
8. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น
9. คะตะลิสต์ (คอปเปอร์ซัลเฟตและโพแทสเซียมซัลเฟตในอัตราส่วน 0.5:10)

การเตรียมสารละลาย

1. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 40% เตรียมโดยละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 กรัม ในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้เป็น 1000 มิลลิลิตร
2. สารละลายโบรโมครีซอลกรีน เตรียมโดยละลายโบรโมครีซอลกรีน 0.1 กรัม ในเอทานอลและปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร
3. สารละลายเมทิลเรด เตรียมโดยละลายเมทิลเรด 0.1 กรัม ในเอทานอลและปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร
4. สารละลายอินดิเคเตอร์ผสม เตรียมโดยผสมสารละลายโบรโมครีซอลกรีนและสารละลายเมทิลเรดเข้าด้วยกัน
5. สารละลายกรดบอริกเข้มข้น 4% เตรียมโดยละลายกรดบอริก 40 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร ให้ความร้อนจนกระทั่งละลายหมด ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นร้อนจนได้ปริมาตร 800 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เติมสารละลายอินดิเคเตอร์ผสมจนได้สารละลายสีชมพูม่วง แล้วจึงปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1000 มิลลิลิตร
6. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน 0.1 โมลาร์เตรียมโดยตวงกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 8.2 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้เป็น 1000 มิลลิลิตร เทียบมาตรฐานสารละลายกรดไฮโดรคลอริกโดยซิงค์แคโรบอเนต 5 กรัม บดให้ละเอียดแล้วอบที่อุณหภูมิ 265 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น จากนั้นซิงค์แคโรบอเนต 0.13 กรัม ให้น้ำหนักที่แน่นอนบรรจุลงในขวดรูปชมพู่เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร เติมสารละลายอินดิเคเตอร์ผสม 5 หยด แล้วไทเทรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกจนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู บันทึกปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ (V_1) แล้วนำสารละลายในขวดรูปชมพู่ไปต้มให้เดือดประมาณ 2-3 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องซึ่งสารละลายจะมีสีเขียว แล้วไทเทรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกต่อจนได้สีชมพูอีกครั้ง บันทึกปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ (V_2) คำนวณความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานจาก

$$\text{ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน (โมลาร์)} = \frac{2000 \times \text{น้ำหนักของโซเดียมคาร์บอเนต}}{\text{น้ำหนักโมเลกุลของโซเดียมคาร์บอเนต} \times (V_1 + V_2)}$$

วิธีการวิเคราะห์

การย่อยตัวอย่าง

1. ชั่งตัวอย่างมาประมาณ 0.5-1.0 กรัม ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน บรรจุลงในหลอดย่อย
2. เติมคะตะลิสต์
3. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นประมาณ 10-15 มิลลิลิตร เขย่าเบาๆ
4. บรรจุหลอดย่อยลงในฐานตั้งหลอด (stand) ติดตั้งอุปกรณ์ดูดอากาศ (exhaust manifold) ลงบนหลอดย่อย เปิดเครื่องดักจับกรด
5. บรรจุหลอดย่อยที่อยู่ในฐานตั้งหลอดและติดตั้งอุปกรณ์ดูดอากาศเรียบร้อยแล้วลงในเครื่องย่อย (digestor)
6. ย่อยตัวอย่างเป็นเวลาประมาณ 30-45 นาที จนได้สารละลายที่ใสและมีสีส้มเข้มเสมอกันทุกหลอด
7. นำหลอดย่อยที่อยู่ในฐานตั้งหลอดพร้อมทั้งอุปกรณ์ดูดอากาศออกจากเครื่องย่อยและทิ้งไว้ให้เย็น

การกลั่นและวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน

1. เปิดเครื่องหล่อเย็นก่อนทำการกลั่นตัวอย่างอย่างน้อย 30 นาที และเปิดเครื่องกลั่นไนโตรเจน
2. กดปุ่ม "ALKALI" ประมาณ 2-3 ครั้ง จนกระทั่งในท่อไม่มีฟองอากาศหลงเหลืออยู่
3. ช้อนเครื่องโดยใช้ขวดรูปชมพู่เปล่าและหลอดย่อยที่บรรจุน้ำกลั่นประมาณ 1/4 ของหลอดบรรจุในเครื่องกลั่น แล้วกดปุ่ม "STEAM" เพื่อกลั่นเป็นเวลาประมาณ 5 นาที จากนั้นปิดไอน้ำโดยกดปุ่ม "STEAM" อีกครั้ง นำหลอดย่อยและขวดรูปชมพู่ออก
4. ตั้งค่าปริมาณต่าง (60 มิลลิลิตร) และเวลาที่ใช้กลั่น (5 นาที)
5. นำขวดรูปชมพู่ซึ่งบรรจุสารละลายกรดบอริกเข้มข้น 4% ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ตั้งบน platform ของเครื่อง และยก platform ขึ้นไปให้ปลายท่อจุ่มอยู่ใต้สารละลายกรดบอริก

6. บรรจุน้ำหล่อลื่นที่มีตัวอย่างที่ย่อยแล้วลงในเครื่องกลั่น
7. กดปุ่ม "AUTO" เพื่อเลือกการทำงานแบบอัตโนมัติ
8. ปิดประตูด้านหน้าเครื่อง (safety door)
9. เมื่อสิ้นสุดการกลั่น เครื่องจะเลื่อน platform ลงมา นำขวดรูปชมพู่และหลอดย่อยออกจากเครื่องกลั่น หยดสารละลายโบรมอครีซอลกรีน 1-2 หยด
10. ไทเทรตสารละลายในขวดรูปชมพู่กับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานจนได้สารละลายเป็นสีชมพูอ่อนคำนวณปริมาณไนโตรเจนจาก

$$\%N = \frac{14 \times (V_1 - V_2) \times \text{molarity of HCl} \times 100}{W}$$

เมื่อ V_1 คือปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไทเทรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

V_2 คือปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไทเทรตแบลนจ์ (มิลลิลิตร)

W คือ น้ำหนักตัวอย่าง (มิลลิกรัม)

และคำนวณปริมาณโปรตีนจาก

$$\% \text{Protein} = \%N \times \text{conversion factor}$$

หมายเหตุ Nitrogen-to-protein conversion factor สำหรับข้าวและพืชหัวเท่ากับ 5.95 และ 6.25 ตามลำดับ

ก.6 การวิเคราะห์ปริมาณไขมันหยาบ (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. Soxhlet apparatus
2. เซลลูโลสริมเบ็ด
3. กระดาษกรอง เบอร์ 1
4. ฟลาสก์ก้นกลม
5. โถดูดความชื้น
6. เครื่องชั่ง

สารเคมี

ปิโตรเลียมอีเทอร์

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างที่อบแห้งแล้วประมาณ 2-3 กรัม ให้ได้น้ำหนักแน่นอนลงบนกระดาษกรองที่ทราบน้ำหนักแน่นอน ห่อตัวอย่างให้มิดชิดแล้วบรรจุลงในริมเบิล จากนั้นบรรจุริมเบิลลงในส่วนสกัด (extraction tube) ของ Soxhlet apparatus

2. ชั่งน้ำหนักพลาสติกก้นกลมที่อบแห้งแล้ว บรรจุปิโตรเลียมอีเทอร์ 220 มิลลิลิตร ลงในพลาสติก ประกอบส่วนพลาสติก ส่วนสกัด และส่วนควบแน่น (condenser tube) ของ Soxhlet apparatus เข้าด้วยกัน ให้ความร้อนแก่ปิโตรเลียมอีเทอร์เพื่อสกัดไขมัน

3. เมื่อการสกัดเสร็จสิ้น นำพลาสติกซึ่งมีปิโตรเลียมอีเทอร์และไขมันที่สกัดได้ไประเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ออก แล้วนำไปอบแห้งที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ชั่งน้ำหนัก อบซ้ำนานครั้งละ 30 นาที จนกระทั่งได้น้ำหนักคงที่ นำออกมาทำให้เย็นในโถดูดความชื้น คำนวณปริมาณไขมันจาก

$$\text{ปริมาณไขมัน (\%, db)} = \frac{\text{น้ำหนักไขมัน}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างอบแห้ง}} \times 100$$

จากนั้นจึงคำนวณปริมาณไขมันในฐานน้ำหนักสด

ก.7 การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยหยาบ(AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. กรูชีเปิด
2. ตู้อบลมร้อน
3. เต้าเผา
4. โถดูดความชื้น
5. เครื่องชั่ง

สารเคมี

1. สารละลายกรดซัลฟูริก, 1.25%
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์, 1.25%
3. เอทานอล, 95%

วิธีการวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างที่สกัดไขมันออกแล้วบรรจุลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1.25% ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ให้ความร้อนแก่ตัวอย่างเป็นเวลา 30 นาที
3. นำตัวอย่างมากรองผ่านกระดาษกรอง เบอร์ 1 ล้างกากด้วยน้ำกลั่นร้อนจนหมดความเป็นกรด
4. บรรจุกากที่ล้างแล้วลงในบีกเกอร์ เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1.25% ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ให้ความร้อนแก่ตัวอย่างเป็นเวลา 30 นาที
5. นำตัวอย่างมากรองผ่านกระดาษกรอง เบอร์ 1 ล้างกากด้วยน้ำกลั่นร้อนจนหมดความเป็นเบส
6. ชะกาคาที่ได้ด้วยเอทานอลเข้มข้น 95% ปริมาตร 25 มิลลิลิตร
7. นำกากที่ได้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสจนกระทั่งน้ำหนักคงที่
8. นำออกมาทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก จะได้ตัวอย่างน้ำหนักก่อนเผา
9. บรรจุตัวอย่างลงในกรูชีเบิลที่เผาแล้วและทราบน้ำหนักที่แน่นอน
10. นำตัวอย่างไปเผาโดยใช้เตาไฟฟ้าจนหมดควัน แล้วจึงนำเข้าเผาในเตาเผาที่ 550 องศาเซลเซียสจนได้เป็นเถ้าสีขาว
11. นำออกมาทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมงและชั่งน้ำหนัก จะได้น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา คำนวณน้ำหนักเส้นใยหยาบจาก

$$\text{น้ำหนักเส้นใยหยาบ (กรัม)} = \text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา (กรัม)} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา (กรัม)}$$
12. คำนวณปริมาณเส้นใยหยาบในฐานน้ำหนักสดจากน้ำหนักเส้นใยหยาบ ปริมาณไขมันหยาบ และปริมาณความชื้น

ก.8 การศึกษาการเกิดเจลลาทีโนเซชันด้วย differential scanning calorimeter (DSC) ดัดแปลงจากวิธีของ Zaidul และคณะ(2008)

อุปกรณ์

1. Differential scanning calorimeter
2. เครื่องชั่ง

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่าง 3 มิลลิกรัมให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน บรรจุลงใน ถาด DSC ชนิด volatile aluminum pan หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่นลงใน ถาด DSC โดยใช้อัตราส่วนของแป้งต่อน้ำเท่ากับ 30:70 โดยน้ำหนัก
2. ปิดฝีก ถาด DSC ให้สนิทด้วย เก็บถาด DSC ไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. นำถาด DSC ตัวอย่างบรรจุลงในช่องใส่ตัวอย่างของเครื่อง DSC และใช้ ถาด DSC เปล่าที่ปิดสนิทสำหรับอ้างอิง (reference pan)
4. ให้ความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 25-95 องศาเซลเซียสด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที
5. ติดตามการเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (การดูดความร้อน) ในช่วงอุณหภูมิ เจลาทีโนเซชันของแป้ง ซึ่งอยู่ในช่วงประมาณ 60-80 องศาเซลเซียส (Faroonsarng, Wongpoowarak and Mitrevel, 1999) บันทึกอุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลาทีโนเซชัน (onset temperature, T_o) อุณหภูมิสูงสุดของการเกิดเจลาทีโนเซชัน (peak temperature, T_p) และ อุณหภูมิสิ้นสุดของการเกิดเจลาทีโนเซชัน (conclusion temperature, T_c)

ก.9 การศึกษาพฤติกรรมของการเกิดเพสต์ของแป้งด้วย rapid visco analyzer (RVA) ดัดแปลง จากวิธีของ Bao (2008)

อุปกรณ์

1. Rapid visco analyzer
2. เครื่องชั่ง

วิธีการวิเคราะห์

1. เปิดเครื่อง RVA ใช้นาน 30 นาที เพื่ออุ่นเครื่อง
2. กำหนดโปรไฟล์การทำงานของเครื่อง RVA (ตารางที่ ก.1)

ตารางที่ ก.1 โปรไฟล์การทำงานของเครื่อง RVA

Time (h:min:sec)	Type	Value
00.00.00	Temperature	50 °C
00.00.00	Speed	960 rpm
00.00.10	Speed	160 rpm
00.01.00	Temperature	50 °C
00.04.45	Temperature	95 °C
00.07.15	Temperature	95 °C
00.11.06	Temperature	50 °C
00.12.30	End	

3. ตวงน้ำกลั่นปริมาตร 25.00 ± 0.1 มิลลิลิตร (สำหรับตัวอย่างแบ่งที่มีความชื้น 12%)
บรรจุลงในถ้วยตัวอย่าง (canister)

4. ชั่งตัวอย่างแบ่ง 3.00 ± 0.01 กรัม บรรจุลงในถ้วยตัวอย่างที่มีน้ำกลั่นอยู่แล้ว

5. ใส่ใบพัด (paddle) ลงในถ้วยตัวอย่าง หมุนใบพัดกวนไปมาอย่างแรง และตั้งขึ้นเพื่อ
กวนตัวอย่างอย่างแรงประมาณ 10 ครั้ง ถ้ามีตัวอย่างจับกันเป็นก้อนที่ผิวหน้าหรือติดที่ใบพัดกวน
ให้ทำซ้ำอีกรอบ

6. นำถ้วยตัวอย่างที่ใส่ใบพัดไว้แล้วใส่ในเครื่อง RVA กดปุ่มเพื่อให้เครื่อง RVA ทำงาน
เครื่อง RVA จะรายงานสมบัติการเกิดเพสต์จากกราฟพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืด (รูปที่
ก.1) ดังนี้

6.1 Peak time คือ เวลาที่เกิดความหนืดสูงสุดมีหน่วยเป็นนาที

6.2 Pasting temperature คือ อุณหภูมิ ณ จุดที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืด
มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

6.3 Peak temperature คือ อุณหภูมิที่เกิดความหนืดสูงสุดมีหน่วยเป็นองศา
เซลเซียส

6.4 Peak viscosity คือ ความหนืดสูงสุด มีหน่วยเป็น RVU

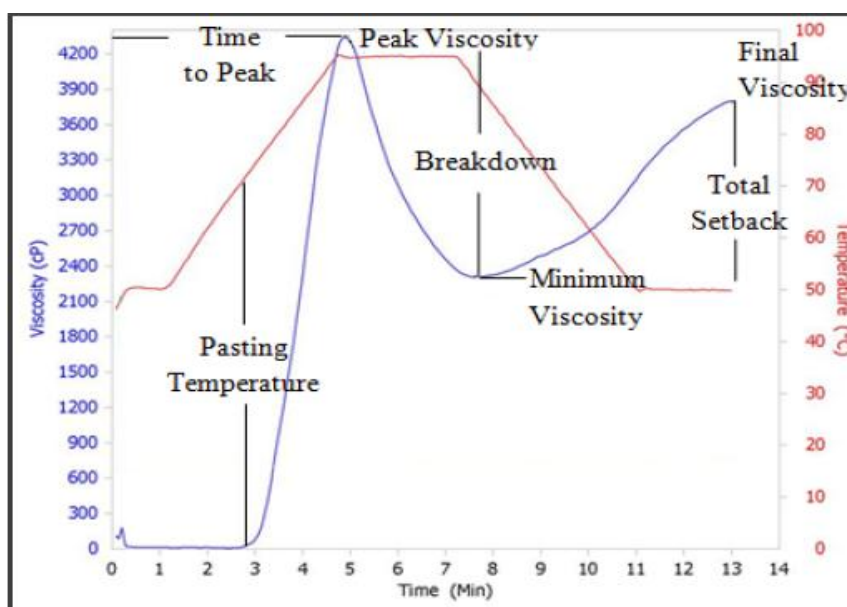
6.5 Trough คือ ค่าความหนืดต่ำสุดระหว่างการคงอุณหภูมิที่ 95 °C มีหน่วยเป็น RVU

6.6 Breakdown คือ ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด มีหน่วยเป็น RVU

6.7 Final viscosity คือ ความหนืดสุดท้าย มีหน่วยเป็น RVU

6.8 Setback from peak คือ ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดสูงสุด มีหน่วยเป็น RVU

6.9 Setback from trough คือ ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด มีหน่วยเป็น RVU



รูปที่ ก.1 รูปแบบโดยทั่วไปของกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA ที่มา: Manaois (2009)

ก.10 อัตราส่วนการตุน้ำกลับ ดัดแปลงจากวิธีของ Lee (2005)

อุปกรณ์

1. ตะแกรงกรอง
2. เครื่องชั่ง

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างกัวยเดี่ยวแห้งประมาณ 5 กรัมให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร ที่มีน้ำกลั่นต้มเดือด 200 มิลลิลิตร ปิดด้วยกระจกนาฬิกา และต้มเป็นเวลา 5 นาที
2. กรองผ่านตะแกรง
3. ล้างกัวยเดี่ยวด้วยน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร วางทิ้งไว้ในสะอาดน้ำเป็นเวลา 3 นาที
4. ชั่งน้ำหนักกัวยเดี่ยวที่ได้ คำนวณอัตราส่วนการดูดน้ำกลับจาก

$$\text{อัตราส่วนการดูดน้ำกลับ} = \frac{\text{น้ำหนักกัวยเดี่ยวหลังต้ม} - \text{น้ำหนักกัวยเดี่ยวก่อนต้ม}}{\text{น้ำหนักของแข็งในกัวยเดี่ยวเริ่มต้น}}$$

ก.11 การสูญเสียระหว่างการต้ม ดัดแปลงจากวิธีของ Lii และ Chang (1981)

อุปกรณ์

1. จานอลูมิเนียมสำหรับวิเคราะห์ความชื้น
2. โถดูดความชื้น
3. ตู้อบลมร้อน
4. เครื่องชั่ง

วิธีการวิเคราะห์

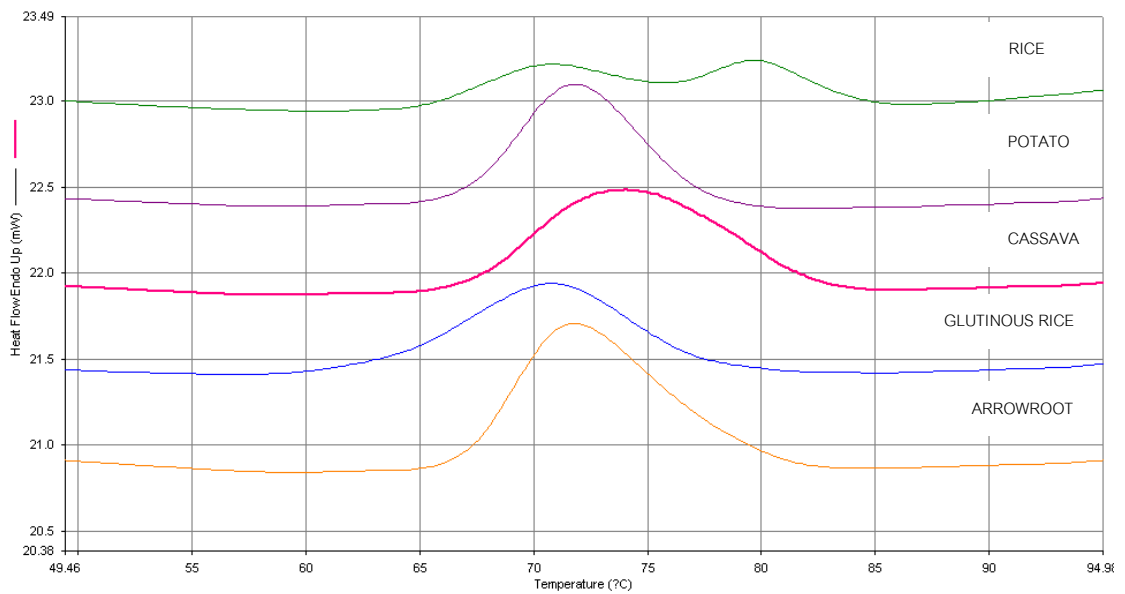
1. อบจานอลูมิเนียมพร้อมฝาปิดที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที นำออกมาทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักจานและฝาปิดให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน
2. นำส่วนน้ำที่ได้จากการต้มกัวยเดี่ยวแห้งซึ่งได้จากการวิเคราะห์อัตราการดูดน้ำกลับ (ภาคผนวก ก.11) บรรจุลงในจานอลูมิเนียม
3. นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ แล้วนำมาใส่ในโถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก คำนวณการสูญเสียในระหว่างการต้ม

$$\text{การสูญเสียในระหว่างการต้ม} = \frac{\text{น้ำหนักของแข็งในน้ำต้มกัวยเดี่ยว}}{\text{น้ำหนักของแข็งในกัวยเดี่ยวเริ่มต้น}}$$

ภาคผนวก ข

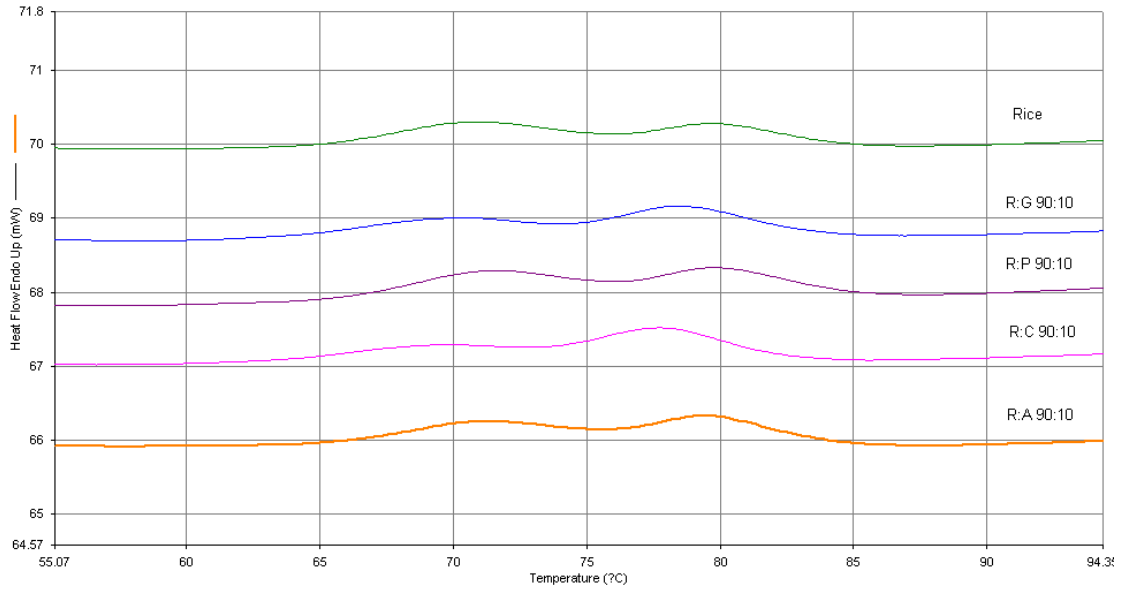
กราฟ

ข.1 DSC thermogram จากการติดตามการเกิดเจลลาทีโนเซชันของแป้งเดี่ยว



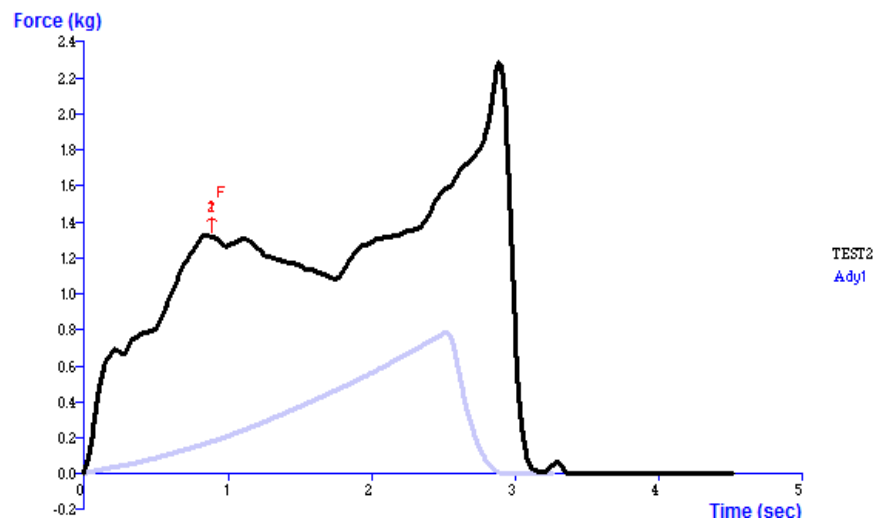
ภาพที่ ข.1 DSC thermogram ในช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลลาทีโนเซชันของแป้งเดี่ยว

ข.2 DSC thermogram จากการติดตามการเกิดเจลลาทีในเซชันของแป้งผสม



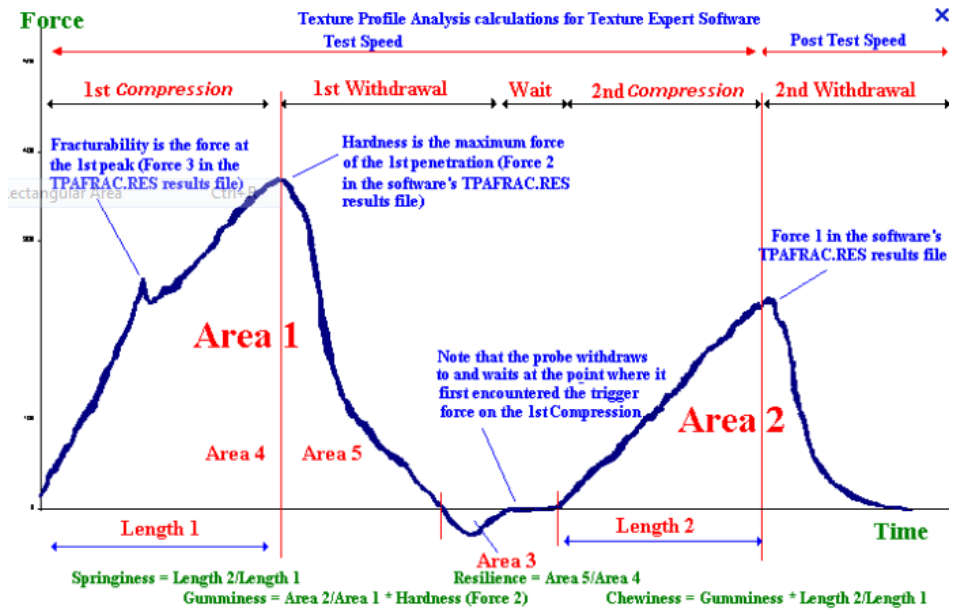
ภาพที่ ข.2 DSC thermogram ในช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลลาทีในเซชันของแป้งผสมในอัตราส่วน 90:10

ข.3 กราฟการวิเคราะห์ความแน่นเนื้อโดยวิธีการกดตัด



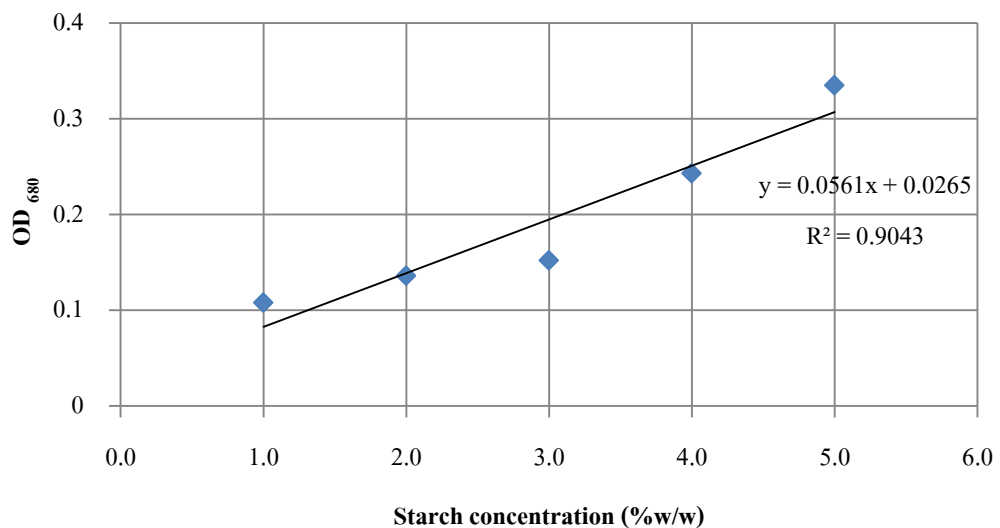
ภาพที่ ข.3 รูปแบบโดยทั่วไปของกราฟการวิเคราะห์ความแน่นเนื้อโดยวิธีการกดตัด
ที่มา: Stable Micro Systems (2010)

ข.4 กราฟและพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์รูปแบบเนื้อสัมผัส



ภาพที่ ข.4 รูปแบบโดยทั่วไปของกราฟและพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์รูปแบบเนื้อสัมผัส
ที่มา: Bourne (1982)

ข.5 กราฟเทียบมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้



ภาพที่ ข.5 กราฟเทียบมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้

ภาคผนวก ค

ตารางข้อมูล

ตารางที่ ค.1 ปริมาณความชื้นของก๋วยเตี๋ยวสด

Flour	Substitution ratio	Moisture content (%wb) ^{ns}
R	-	57.78 ± 2.11
R:G	90:10	56.42 ± 1.97
	80:20	56.71 ± 1.63
	70:30	57.39 ± 1.45
	60:40	55.38 ± 1.32
R:P	90:10	57.27 ± 2.62
	80:20	55.86 ± 0.99
	70:30	59.23 ± 0.72
	60:40	59.07 ± 0.73
R:C	90:10	56.15 ± 5.09
	80:20	57.67 ± 1.44
	70:30	56.60 ± 1.84
	60:40	56.98 ± 1.27
R:A	90:10	56.07 ± 4.61
	80:20	57.07 ± 2.31
	70:30	56.22 ± 1.25
	60:40	58.20 ± 2.67

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

^{ns} ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ ค.2 ความหนาของก๊วยเดี่ยวสด

Flour	Substitution ratio	Thickness (mm)
R	-	0.651 ± 0.05 ^{ab}
R:G	90:10	0.652 ± 0.08 ^{ab}
	80:20	0.612 ± 0.03 ^{ab}
	70:30	0.553 ± 0.07 ^a
	60:40	0.604 ± 0.04 ^{ab}
R:P	90:10	0.654 ± 0.06 ^{ab}
	80:20	0.672 ± 0.05 ^b
	70:30	0.658 ± 0.05 ^{ab}
	60:40	0.644 ± 0.10 ^{ab}
R:C	90:10	0.640 ± 0.05 ^{ab}
	80:20	0.634 ± 0.09 ^{ab}
	70:30	0.573 ± 0.01 ^{ab}
	60:40	0.572 ± 0.03 ^{ab}
R:A	90:10	0.659 ± 0.02 ^{ab}
	80:20	0.605 ± 0.05 ^{ab}
	70:30	0.563 ± 0.05 ^{ab}
	60:40	0.570 ± 0.03 ^{ab}

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.3 สมบัติด้านสีของก๋วยเตี๋ยวสด

Flour	Substitution ratio	L^*	$-a^*$	$+b^*$	Hue angle ($^{\circ}$)	Chroma	Whiteness index
R	-	83.42 ± 0.13	5.72 ± 0.04	5.72 ± 0.04	73.24 ± 0.47	5.98 ± 0.03	82.37 ± 0.13
R:G	90:10	84.27 ± 0.20	1.96 ± 0.20	5.45 ± 0.16	70.19 ± 1.95	5.79 ± 0.16	83.23 ± 0.19
	80:20	83.75 ± 0.22	1.81 ± 0.05	5.67 ± 0.18	72.22 ± 0.97	5.96 ± 0.16	82.69 ± 0.25
	70:30	83.50 ± 0.98	1.88 ± 0.09	5.40 ± 0.20	70.78 ± 0.44	5.72 ± 0.20	82.53 ± 0.99
	60:40	83.03 ± 0.57	1.82 ± 0.12	5.68 ± 0.43	72.16 ± 1.83	5.96 ± 0.40	82.00 ± 0.57
R:P	90:10	83.22 ± 0.29	1.81 ± 0.22	4.93 ± 0.21	69.82 ± 1.44	5.25 ± 0.27	82.42 ± 0.33
	80:20	82.91 ± 0.51	1.83 ± 0.20	4.54 ± 0.29	67.98 ± 2.38	4.90 ± 0.29	82.21 ± 0.42
	70:30	82.38 ± 0.73	1.70 ± 0.06	4.12 ± 0.39	67.28 ± 2.32	4.47 ± 0.34	81.81 ± 0.70
	60:40	82.17 ± 1.18	1.51 ± 0.15	3.76 ± 0.32	67.98 ± 2.43	4.05 ± 0.31	81.71 ± 1.11
R:C	90:10	82.55 ± 1.21	1.84 ± 0.25	5.22 ± 0.20	70.63 ± 1.82	5.54 ± 0.27	82.64 ± 0.44
	80:20	82.45 ± 0.43	1.58 ± 0.12	4.66 ± 0.30	72.39 ± 2.33	5.26 ± 0.25	81.68 ± 0.39
	70:30	81.81 ± 1.10	1.54 ± 0.08	4.63 ± 0.33	71.39 ± 2.02	4.88 ± 0.30	81.16 ± 1.07
	60:40	81.94 ± 1.13	1.40 ± 0.16	4.34 ± 0.19	71.90 ± 2.52	4.57 ± 0.14	81.36 ± 1.12
R:A	90:10	83.71 ± 0.37	1.76 ± 0.28	5.41 ± 0.35	72.03 ± 1.75	5.69 ± 0.41	82.73 ± 0.22
	80:20	82.35 ± 0.52	1.59 ± 0.18	5.66 ± 0.74	74.10 ± 2.86	5.88 ± 0.70	81.38 ± 0.52
	70:30	81.27 ± 0.92	1.36 ± 0.11	5.65 ± 0.93	76.19 ± 2.55	5.81 ± 0.90	80.37 ± 0.80
	60:40	80.54 ± 0.61	1.19 ± 0.03	5.95 ± 1.32	78.31 ± 2.48	6.07 ± 1.29	79.59 ± 0.92

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ตารางที่ ค.4 สมบัติด้านเนื้อสัมผัสของก๋วยเตี๋ยวสด

Flour	Substitution ratio	Firmness (g _r)	Hardness (g _r)	Adhesiveness	Springiness	Cohesiveness
R	-	1091.7 ± 102.21 ^f	32706.3 ± 2315.23 ^{hi}	54.44 ± 13.48 ^a	0.761 ± 0.08 ^b	0.731 ± 0.04 ^e
R:G	90:10	652.4 ± 15.31 ^b	29044.4 ± 1241.12 ^{fgh}	202.88 ± 39.58 ^{ab}	0.771 ± 0.05 ^b	0.555 ± 0.01 ^a
	80:20	408.5 ± 46.08 ^a	20184.7 ± 682.77 ^b	411.39 ± 97.92 ^{bc}	0.706 ± 0.10 ^b	0.528 ± 0.04 ^a
	70:30	312.9 ± 6.14 ^a	12840.8 ± 5890.86 ^a	485.75 ± 370.74 ^c	0.509 ± 0.24 ^a	0.573 ± 0.10 ^{ab}
	60:40	298.4 ± 42.23 ^a	14730.8 ± 792.02 ^a	522.15 ± 376.74 ^c	0.707 ± 0.06 ^b	0.554 ± 0.06 ^a
R:P	90:10	1033.7 ± 35.92 ^f	28404.2 ± 4615.89 ^{efg}	53.64 ± 35.46 ^a	0.737 ± 0.17 ^b	0.678 ± 0.09 ^{cde}
	80:20	1061.2 ± 122.67 ^f	30370.4 ± 2204.31 ^{ghi}	82.05 ± 21.23 ^a	0.801 ± 0.05 ^b	0.648 ± 0.01 ^{bcde}
	70:30	843.1 ± 83.05 ^{cde}	25243.4 ± 1004.34 ^{cdef}	33.40 ± 18.45 ^a	0.836 ± 0.14 ^b	0.641 ± 0.03 ^{bcd}
	60:40	770.7 ± 135.92 ^{bcde}	28431.6 ± 1156.15 ^{efg}	56.90 ± 38.21 ^a	0.743 ± 0.02 ^b	0.608 ± 0.03 ^{abc}
R:C	90:10	876.3 ± 174.46 ^{de}	34067.4 ± 1164.70 ⁱ	55.85 ± 31.06 ^a	0.643 ± 0.12 ^{ab}	0.726 ± 0.01 ^{de}
	80:20	898.7 ± 16.10 ^e	31380.5 ± 1605.49 ^{ghi}	92.65 ± 33.88 ^a	0.809 ± 0.07 ^b	0.699 ± 0.02 ^{de}
	70:30	720.4 ± 74.81 ^{bc}	24613.3 ± 1646.19 ^{cde}	44.47 ± 4.29 ^a	0.818 ± 0.07 ^b	0.704 ± 0.01 ^{de}
	60:40	688.8 ± 59.10 ^{bc}	23933.6 ± 701.07 ^{bcd}	48.01 ± 5.14 ^a	0.787 ± 0.06 ^b	0.724 ± 0.03 ^{de}
R:A	90:10	804.4 ± 20.78 ^{bcde}	27646.8 ± 1035.40 ^{defg}	57.28 ± 15.72 ^a	0.814 ± 0.05 ^b	0.705 ± 0.01 ^{de}
	80:20	821.4 ± 114.84 ^{cde}	27223.8 ± 1751.01 ^{defg}	55.04 ± 29.69 ^a	0.767 ± 0.09 ^b	0.656 ± 0.05 ^{cde}
	70:30	771.0 ± 16.91 ^{bcde}	21787.1 ± 1300.64 ^{bc}	42.96 ± 0.76 ^a	0.793 ± 0.08 ^b	0.724 ± 0.04 ^{de}
	60:40	733.9 ± 35.73 ^{bcd}	24024.5 ± 1409.15 ^{bcd}	202.35 ± 30.45 ^{ab}	0.793 ± 0.09 ^b	0.715 ± 0.03 ^{de}

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.5 เอนทาลปีที่ใช้ในการหลอมละลายผลึกอมิโดเพกทินในก๊วยเตียวดที่เก็บรักษาไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส

Flour	Substitution ratio	Day1	Day2	Day3	Day4	Day5
R	-	1.0424 ± 0.11 ^c	1.2447 ± 0.27 ^b	1.3671 ± 0.08 ^b	1.4252 ± 0.02 ^{bc}	1.5780 ± 0.02 ^c
R:G	90:10	0.8634 ± 0.06 ^{bc}	0.9469 ± 0.08 ^{ab}	1.0882 ± 0.13 ^{ab}	1.4714 ± 0.06 ^c	1.5312 ± 0.06 ^c
	70:30	0.7765 ± 0.08 ^b	0.8890 ± 0.18 ^a	0.9956 ± 0.28 ^a	1.1715 ± 0.09 ^a	1.2016 ± 0.08 ^{ab}
R:P	90:10	0.7950 ± 0.08 ^b	1.1145 ± 0.21 ^{ab}	1.1262 ± 0.36 ^{ab}	1.2182 ± 0.04 ^a	1.2420 ± 0.16 ^{ab}
	70:30	0.8340 ± 0.04 ^b	0.8492 ± 0.05 ^a	1.1097 ± 0.16 ^{ab}	1.1193 ± 0.12 ^a	1.1675 ± 0.15 ^a
R:C	90:10	0.5249 ± 0.28 ^a	1.1038 ± 0.17 ^{ab}	1.1647 ± 0.13 ^{ab}	1.2729 ± 0.16 ^{ab}	1.5709 ± 0.03 ^c
	70:30	0.7327 ± 0.04 ^b	1.1469 ± 0.22 ^{ab}	1.1639 ± 0.13 ^{ab}	1.2707 ± 0.18 ^{ab}	1.5114 ± 0.09 ^c
R:A	90:10	0.8559 ± 0.08 ^{bc}	0.9825 ± 0.14 ^{ab}	1.21843 ± 0.02 ^{ab}	1.2506 ± 0.07 ^{ab}	1.3476 ± 0.04 ^b
	70:30	0.8072 ± 0.16 ^b	1.0932 ± 0.08 ^{ab}	1.1687 ± 0.10 ^{ab}	1.2566 ± 0.02 ^{ab}	1.3297 ± 0.03 ^{ab}

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.6 ปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ในกล้วยเดี่ยวสดที่เก็บรักษาไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส

Flour	Substitution ratio	Day0	Day1	Day2	Day3	Day4	Day5
R	-	15.31 ± 1.03 ^{ab}	10.97 ± 0.69 ^{ab}	9.79 ± 0.63 ^a	8.67 ± 0.68 ^a	8.41 ± 0.41 ^{ab}	5.95 ± 0.55 ^a
R:G	90:10	18.12 ± 0.17 ^c	15.49 ± 1.53 ^f	14.48 ± 0.40 ^e	14.43 ± 0.77 ^d	13.59 ± 0.20 ^f	10.97 ± 0.60 ^g
	70:30	20.02 ± 0.24 ^{de}	13.11 ± 0.40 ^d	12.17 ± 0.54 ^d	11.13 ± 0.18 ^b	10.22 ± 0.94 ^{de}	9.96 ± 0.80 ^f
R:P	90:10	14.31 ± 2.11 ^a	11.51 ± 0.82 ^{abc}	11.35 ± 1.55 ^{bcd}	10.94 ± 0.81 ^b	9.00 ± 0.73 ^{bc}	7.91 ± 0.30 ^d
	70:30	15.92 ± 1.34 ^b	10.48 ± 0.64 ^a	11.08 ± 0.67 ^{bc}	8.98 ± 0.38 ^a	8.05 ± 0.53 ^a	7.96 ± 0.42 ^d
R:C	90:10	21.17 ± 1.81 ^{ef}	12.27 ± 1.26 ^{cd}	10.64 ± 0.38 ^b	10.91 ± 0.17 ^b	10.52 ± 0.55 ^{de}	7.34 ± 0.33 ^c
	70:30	21.33 ± 0.79 ^{ef}	14.72 ± 0.48 ^{ef}	14.21 ± 0.76 ^e	10.68 ± 0.52 ^b	9.22 ± 1.17 ^c	6.65 ± 0.14 ^b
R:A	90:10	19.16 ± 0.34 ^{cd}	11.76 ± 0.85 ^{bc}	11.55 ± 0.29 ^{cd}	10.59 ± 0.49 ^b	10.00 ± 0.28 ^d	8.95 ± 0.35 ^e
	70:30	21.65 ± 0.70 ^f	14.32 ± 0.25 ^e	14.13 ± 0.33 ^e	11.96 ± 0.91 ^c	10.87 ± 0.39 ^e	9.29 ± 0.41 ^e

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.7 ปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ในก๋วยเตี๋ยวสดที่เก็บรักษาไว้ที่ 25 และ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

Flour	Substitution ratio	25 °C	4 °C
R	-	16.41 ± 0.32 ^{ef}	10.97 ± 0.69 ^{ab}
R:G	90:10	16.63 ± 0.47 ^{ef}	15.49 ± 1.53 ^f
	70:30	17.11 ± 0.64 ^b	13.11 ± 0.40 ^d
R:P	90:10	15.70 ± 1.38 ^{de}	11.51 ± 0.82 ^{abc}
	70:30	11.84 ± 0.62 ^a	10.48 ± 0.64 ^a
R:C	90:10	15.04 ± 0.35 ^{cd}	12.27 ± 1.27 ^{cd}
	70:30	17.41 ± 0.28 ^f	14.72 ± 0.48 ^{ef}
R:A	90:10	16.68 ± 0.34 ^{ef}	11.76 ± 0.86 ^{bc}
	70:30	14.43 ± 1.83 ^{bc}	14.32 ± 0.25 ^e

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.8 ความแน่นเนื้อของก้วยเตี่ยวสดที่เก็บรักษาไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส

Flour	Substitution ratio	Day0	Day1	Day2	Day3	Day4	Day5
R	-	1051.3 ± 146.71 ^c	1252.4 ± 59.88 ^{de}	1963.0 ± 523.04 ^e	2370.4 ± 464.77 ^f	2212.4 ± 716.81 ^e	2293.6 ± 752.17 ^d
R:G	90:10	740.7 ± 69.64 ^b	650.8 ± 112.27 ^{ab}	849.5 ± 89.75 ^{ab}	848.5 ± 73.03 ^{ab}	913.3 ± 48.64 ^{ab}	1001.0 ± 160.90 ^{ab}
	70:30	245.8 ± 15.95 ^a	515.1 ± 81.86 ^a	512.4 ± 81.68 ^a	625.9 ± 162.63 ^a	671.6 ± 91.88 ^a	671.8 ± 71.08 ^a
R:P	90:10	960.1 ± 118.19 ^c	1361.8 ± 224.76 ^e	1401.8 ± 228.81 ^{cd}	1591.5 ± 237.24 ^{de}	1687.3 ± 224.56 ^d	1754.3 ± 76.86 ^c
	70:30	1000.0 ± 87.66 ^c	1393.8 ± 237.53 ^e	1529.6 ± 279.73 ^d	1544.5 ± 205.37 ^{cde}	1600.3 ± 229.43 ^{cd}	1667.0 ± 193.17 ^c
R:C	90:10	681.5 ± 45.50 ^b	973.7 ± 283.89 ^{bcd}	12390 ± 198.16 ^{bcd}	1720.1 ± 392.56 ^e	1588.1 ± 234.12 ^{cd}	1648.2 ± 44.11 ^c
	70:30	589.9 ± 67.21 ^b	1030.2 ± 260.47 ^{cd}	1116.6 ± 158.20 ^{bcd}	1277.8 ± 525.76 ^{bcd}	1442.5 ± 252.18 ^{bcd}	1562.9 ± 126.19 ^c
R:A	90:10	628.4 ± 168.48 ^b	712.8 ± 82.10 ^{abc}	874.9 ± 177.65 ^{ab}	963.4 ± 360.88 ^{abc}	1214.0 ± 84.89 ^{bcd}	1232.3 ± 167.33 ^{bc}
	70:30	634.4 ± 125.45 ^b	729.1 ± 65.80 ^{abc}	1043.8 ± 108.87 ^{bc}	1097.5 ± 112.91 ^{abcd}	1110.5 ± 120.87 ^{abc}	1247.5 ± 151.23 ^{bc}

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.9 ความแน่นเนื้อของกล้วยเตี้ยวสดที่เก็บรักษาไว้ที่ 25 และ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

Flour	Substitution ratio	25 °C	4 °C
R	-	1329.2 ± 511.91 ^d	1252.4 ± 59.88 ^{de}
R:G	90:10	826.5 ± 133.87 ^{bc}	650.8 ± 112.27 ^{ab}
	70:30	415.5 ± 16.96 ^a	515.1 ± 81.86 ^a
R:P	90:10	1132.1 ± 85.99 ^{cd}	1361.8 ± 224.76 ^e
	70:30	1345.0 ± 171.64 ^d	1393.8 ± 237.53 ^e
R:C	90:10	835.4 ± 91.94 ^{bc}	973.7 ± 283.89 ^{bcd}
	70:30	814.6 ± 94.63 ^{bc}	1030.2 ± 260.47 ^{cd}
R:A	90:10	841.9 ± 156.36 ^{bc}	712.8 ± 82.10 ^{abc}
	70:30	641.1 ± 66.73 ^{ab}	729.1 ± 65.80 ^{abc}

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.10 ปริมาณความชื้นของตัวอย่างกั่วยเดี่ยวในระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

Time (Min)	Moisture content (%)								
	R	R:G 90:10	R:G 70:30	R:P 90:10	R:P 70:30	R:C 90:10	R:C 70:30	R:A 90:10	R:A 70:30
0	58.64	55.58	53.57	56.61	60.37	59.79	58.90	54.04	55.37
30	30.12	42.33	40.84	39.07	43.28	35.50	32.04	38.03	40.98
60	24.45	34.89	30.86	25.59	34.39	29.60	25.16	28.12	32.46
90	20.78	24.67	22.60	20.60	28.14	24.45	20.00	23.95	21.78
120	17.22	17.70	18.11	17.38	20.61	20.02	15.47	17.82	18.81
150	13.78	15.40	13.40	13.35	17.22	15.99	12.46	14.87	13.91
180	12.64	11.77	11.45	11.81	13.84	12.80	10.51	11.61	11.71
210	12.53	10.75	11.86	11.54	11.98	12.75	10.23	11.33	11.73
240	11.55	10.98	9.34	10.33	9.40	10.32	6.58	11.24	9.69
270	11.14	9.75	9.05	9.55	9.93	10.46	6.14	10.88	9.38
300	10.87	8.36	6.14	7.68	8.77	9.89	5.67	10.65	9.77

ตารางที่ ค.11 การสูญเสียระหว่างการต้มและอัตราส่วนการดูดน้ำกลับของก๋วยเตี๋ยวอบแห้ง

Flour	Substitution ratio	Cooking loss (%)	Rehydration ratio
R	-	3.84 ± 0.53 ^{ab}	327.74 ± 33.13 ^{abc}
R:G	90:10	5.54 ± 0.69 ^d	325.53 ± 28.75 ^{abc}
	70:30	4.59 ± 0.48 ^c	304.79 ± 33.09 ^a
R:P	90:10	4.40 ± 0.39 ^{bc}	363.17 ± 41.36 ^{cd}
	70:30	3.47 ± 0.55 ^a	350.40 ± 46.57 ^{bcd}
R:C	90:10	3.45 ± 0.25 ^a	314.96 ± 31.56 ^{ab}
	70:30	3.45 ± 0.41 ^a	361.72 ± 42.37 ^{cd}
R:A	90:10	4.58 ± 0.94 ^c	341.10 ± 24.79 ^{abcd}
	70:30	3.93 ± 0.88 ^{ab}	383.16 ± 70.45 ^d

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.12 สมบัติด้านเนื้อสัมผัสของก๋วยเตี๋ยวอบแห้งที่ต้มแล้ว

Flour	Substitution ratio	Firmness (g _r)	Hardness (g _r)	Adhesiveness	Springiness	Cohesiveness
R	-	352.9 ± 7.41 ^d	14635.8 ± 1271.41 ^d	82.50 ± 21.25 ^a	0.707 ± 0.02 ^{cd}	0.465 ± 0.02 ^{bc}
R:G	90:10	256.8 ± 51.46 ^{bc}	9039.3 ± 765.32 ^b	276.54 ± 69.77 ^c	0.390 ± 0.03 ^a	0.353 ± 0.05 ^a
	70:30	138.4 ± 27.94 ^a	5254.6 ± 763.33 ^a	334.62 ± 33.16 ^c	0.428 ± 0.04 ^a	0.411 ± 0.05 ^{ab}
R:P	90:10	321.6 ± 14.17 ^d	11192.3 ± 495.30 ^{bc}	58.14 ± 13.07 ^a	0.580 ± 0.04 ^b	0.470 ± 0.08 ^{bc}
	70:30	304.3 ± 29.26 ^{cd}	10751.8 ± 316.96 ^{bc}	95.87 ± 28.86 ^{ab}	0.633 ± 0.02 ^{bc}	0.511 ± 0.02 ^c
R:C	90:10	347.3 ± 39.08 ^d	13440.8 ± 2872.22 ^{cd}	110.03 ± 29.61 ^{ab}	0.692 ± 0.04 ^{cd}	0.519 ± 0.02 ^{cd}
	70:30	213.3 ± 33.70 ^b	11115.8 ± 1351.67 ^{bc}	164.61 ± 21.29 ^b	0.735 ± 0.07 ^d	0.615 ± 0.03 ^d
R:A	90:10	264.3 ± 20.17 ^{bc}	9846.7 ± 2921.57 ^b	119.00 ± 71.49 ^{ab}	0.562 ± 0.11 ^b	0.519 ± 0.11 ^{cd}
	70:30	251.5 ± 12.62 ^{bc}	7996.6 ± 2021.18 ^{ab}	131.23 ± 51.14 ^{ab}	0.681 ± 0.04 ^{cd}	0.521 ± 0.04 ^{cd}

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวพรทิพย์ อ่อนน้อมนิตย์ เกิดเมื่อวันที่ 9 ตุลาคมพ.ศ. 2528 ที่จังหวัดลพบุรี สำเร็จการศึกษาระดับวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร จากมหาวิทยาลัยรังสิต เมื่อปีการศึกษา 2550 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2551

นำเสนอผลงานทางวิชาการเรื่อง Partial Substitution of Rice Flour with Root and Tuber Flours and Its Effect on Pasting Behavior and Quality of Rice Noodle ในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ Asia Pacific Symposium on Postharvest Quality Management of Root and Tuber Crops 2011 ณ โรงแรมโกลเด้น ทิวลิป ซอฟเฟอริน กรุงเทพฯ ในวันที่ 21-24 กุมภาพันธ์ 2555