

**การศึกษากระบวนการยืดอายุการเก็บผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวสดสำหรับอุตสาหกรรมขนาดกลาง
และขนาดเล็ก**

โดย

นางสาวกนกวรรณ ฌ พัทลุง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

The Study of Shelf life Extension of Fresh Noodle Produced by SMEs

By

Kanokwan Na Phatthalung

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree

MASTER OF SCIENCE

Department of Food Technology

Graduate School

SILPAKORN UNIVERSITY

2007

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “การศึกษากระบวนการ
ยืดอกและการเก็บผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวสดสำหรับอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก” เสนอโดย
นางสาวกนกวรรณ ณ พัทลุง เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

๐๓ ม

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ชินะดังกูร)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ๒๐ เดือน พฤษภาคม พ.ศ. ๒๕๖๑

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปริญดา เพ็ญโรจน์
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเชษฐ์ สมุทเสนีโค
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกพันธ์ แก้วมณีชัย

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร.ดวงใจ ธีรธรรมถาวร)

๒๙ / พ.ค. / ๒๕๖๑

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยยงค์ เตชะไพโรจน์)

๒๕ / มี.ค. / ๖๑

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเชษฐ์ สมุทเสนีโค)

๒๙ / พ.ค. / ๖๑

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปริญดา เพ็ญโรจน์)

๒๕ / มี.ค. / ๖๑

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกพันธ์ แก้วมณีชัย)

๒๙ / พ.ค. / ๖๑

47403201 : สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

คำสำคัญ : ก้วยเตี๋ยว/รีโทรกราเดชัน/ สารลดแรงตึงผิว/ ลักษณะเนื้อสัมผัส/ การยืดอายุการเก็บ

กนกวรรณ ณ พัทลุง : การศึกษากระบวนการยืดอายุการเก็บผลิตภัณฑ์เส้นก้วยเตี๋ยวสด

สำหรับอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผศ.ดร.ปริญดา

เพ็ญโรจน์, ผศ.ดร.สุเชษฐ์ สมุหเสนีโต และ ผศ.ดร.เอกพันธ์ แก้วมณีชัย. 115 หน้า.

เส้นก้วยเตี๋ยวสดมีอายุการเก็บรักษาสั้น การเก็บเส้นก้วยเตี๋ยวในตู้เย็นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของลักษณะเนื้อสัมผัสอย่างรวดเร็วกลายเป็นแข็งเปราะและมีความเหนียวลดลงเนื่องจากการเกิดรีโทรกราเดชัน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บรักษา (0, 24, 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมง) และอุณหภูมิในการเก็บรักษา (9, 30 และ 40 °C) ต่ออัตราการเกิดรีโทรกราเดชันของเส้นก้วยเตี๋ยวและศึกษาอิทธิพลของสารลดแรงตึงผิว (surfactants) ต่อคุณภาพของเส้นก้วยเตี๋ยวในระหว่างการเก็บรักษา โดยวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส X-ray Diffraction และ DSC พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บเส้นก้วยเตี๋ยวเพิ่มขึ้น ค่าแรงกดสูงสุด ณ จุดที่เส้นก้วยเตี๋ยวขาดมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่าระยะทางสูงสุด ณ จุดที่เส้นก้วยเตี๋ยวขาดมีค่าลดลง โดยเส้นก้วยเตี๋ยวที่เก็บที่อุณหภูมิต่ำมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสเร็วกว่าเส้นก้วยเตี๋ยวที่เก็บที่อุณหภูมิสูง และพบว่าที่อุณหภูมิ 9 °C เห็น Endothermic peak ชัดเจนที่สุด ขณะที่อุณหภูมิ 40 °C ไม่พบ Endothermic peak ตลอดระยะเวลาการเก็บ ค่าเอนทาลปี (ΔH) ของการเกิดรีโทรกราเดชันเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บเส้นก้วยเตี๋ยว ข้อมูลจาก X-ray diffraction แสดงให้เห็นว่าการเก็บเส้นก้วยเตี๋ยวที่อุณหภูมิต่ำเร่งอัตราการเกิดรีโทรกราเดชัน การเติม surfactants (SSL, GMS และ MG) ทำให้ค่า ΔH ของการเกิดรีโทรกราเดชันและปริมาณผลึกของการเกิดรีโทรกราเดชันในเส้นก้วยเตี๋ยวลดลง SSL, GMS และ MG สามารถชะลอการเกิดรีโทรกราเดชันในเส้นก้วยเตี๋ยวระหว่างการเก็บรักษา โดยการเติม SSL 0.5%, GMS 0.2% และ MG 0.5% ทำให้เส้นก้วยเตี๋ยวมีค่าแรงกดสูงสุด ณ จุดที่เส้นก้วยเตี๋ยวขาดต่ำที่สุดและมีค่าระยะทางสูงสุด ณ จุดที่เส้นก้วยเตี๋ยวขาดสูงสุดและทำให้ค่า ΔH ของการเกิดรีโทรกราเดชันต่ำลง การเติม SSL ลดค่า ΔH ของการเกิดรีโทรกราเดชันได้มากกว่าการเติม GMS และ MG และพบว่าพื้นที่ผลึกชนิด V-type ของเส้นก้วยเตี๋ยวที่เติม SSL 0.5% มีค่าสูงสุด ซึ่งสนับสนุนว่าการเติม surfactants ช่วยชะลอการเกิดรีโทรกราเดชันในเส้นก้วยเตี๋ยวได้เนื่องจากเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของ surfactant กับอะมิโลส

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2550

ลายมือชื่อนักศึกษา. กนกวรรณ ณ พัทลุง

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ 1. ผศ.ดร.ปริญดา 2. ผศ.ดร.สุเชษฐ์ 3. ผศ.ดร.เอกพันธ์

47403201 : MAJOR : FOOD TECHNOLOGY

KEY WORD : NOODLE/RETROGRADATION/SURFACTANTS/TEXTURE/SHELF LIFE
EXTENSION

KANOKWAN NA PHATTHALUNG : The Study of Shelf life Extension of Fresh Noodle Produced by SMEs. THESIS ADVISORS : ASST.PROF. PARINDA PENROJ, Ph.D., ASST.PROF. SUCHED SAMUHASANEETOO, Ph.D. AND ASST.PROF. EAKAPHAN KEOWMANEECHAI, Ph.D. 115 pp.

Fresh noodle has short shelf life. To extend noodle shelf life by keeping in a refrigerator causes noodle texture rapidly becomes tough and less sticky. This change is due to retrogradation. The objective of this research was to study effect of storage time (0, 24, 48, 72, 96 and 120 hours) and storage temperature (9, 30 and 40 °C) on retrogradation rate in noodle and to study effect of surfactants on noodle quality during storage using Texture Analyzer, X-ray Diffraction and DSC. It was found that breaking force increased with storage time but breaking distance decreased with storage time. Texture of noodle which was kept at low temperature changed more rapidly than that at high temperature. Endothermic peak of noodle kept at 9 °C was obviously observed while that at 40 °C was not. Enthalpy of retrogradation increased with time of storage. Data from X-ray Diffraction supported that keeping noodle at low temperature accelerated retrogradation rate. Addition of approved surfactants (SSL, GMS and MG) lowered the enthalpy of retrogradation and the crystallinity of noodle. SSL, GMS and MG could retard the retrogradation in noodle during storage. Addition of 0.5% SSL, 0.2% GMS, and 0.5% MG minimized breaking force and maximized breaking distance of noodle and lowered the enthalpy of retrogradation. SSL lowered the enthalpy of retrogradation more than GMS or MG. V-type crystalline area of noodle with added 0.5% SSL was the highest. This evidence supported that the retardation of retrogradation in noodle by addition of surfactants is the result of surfactant and amylose complex formation.

Department of Food Technology Graduate School, Silpakorn University Academic Year 2007

Student's signaturekanokwan

Thesis Advisors' signature 1. Parinda Penroj 2. Suched Samuhasaneetoo 3. Eakaphan Keowmaneechai

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ปริญดา เพ็ญโรจน์ และ ผศ.ดร.สุเชษฐ์ สมุทเสนีโต ที่ได้
สละเวลาอันมีค่าให้ความรู้ คำปรึกษา และความช่วยเหลือ ตลอดจนข้อเสนอแนะต่างๆ ในการ
ทำงานวิจัย จนกระทั่งงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการและคณาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีอาหารทุกท่านที่ได้ให้
ความรู้และคำชี้แนะด้านต่างๆ เสมอมา

ขอขอบพระคุณแหล่งทุนวิจัยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยภายใต้โครงการทุน
วิจัยมหานักคิดสกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประจำปี 2548

ขอขอบคุณพี่ๆ เจ้าหน้าที่สำนักงาน เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการของภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร
ทุกท่าน และเพื่อนๆ ทุกคน ที่ให้กำลังใจ กำลังกาย และความช่วยเหลือด้านต่างๆ

และสุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดามารดาที่ช่วยส่งเสริมทางด้านการศึกษาและคอยให้
กำลังใจตลอดมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญรูป	ญ
บทที่	
1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์.....	2
สมมติฐานการศึกษา	2
ขอบเขตการศึกษา	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
ลักษณะทั่วไปของข้าวและแป้งข้าว	4
คุณสมบัติของแป้งข้าวเจ้าที่เหมาะสมต่อการผลิตก๋วยเตี๋ยว	7
ก๋วยเตี๋ยว.....	10
วัตถุดิบ	11
วิธีการผลิต	12
การเกิดรีโทรกราเดชัน	15
ผลของการเกิดรีโทรกราเดชัน	17
ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดรีโทรกราเดชัน	17
ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพเจล	19
การตรวจสอบการเกิดรีโทรกราเดชันของเจล	21
กลไกการเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ช	25
surfactants.....	26
ชนิดของ surfactants	27
หน้าที่ของ surfactants	35
กลไกของ surfactants ในการป้องกันการเกิดรีโทรกราเดชัน	36

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3	38
วัตถุดิบ อุปกรณ์ และวิธีการ	38
วัตถุดิบและสารเคมี.....	38
อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	39
วิธีการทดลอง.....	39
ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการเกิดรีโทรกราเดชันต่อคุณภาพของ	
เส้นก๋วยเตี๋ยว	39
ศึกษาผลของชนิดและปริมาณสาร surfactants ต่อการเกิดรีโทรกราเดชัน	
ของเจลแป้งข้าวและคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยว.....	41
การวิเคราะห์ผลทางสถิติ.....	43
4	44
ผลและวิจารณ์.....	44
ผลของอุณหภูมิและเวลาในการเกิดรีโทรกราเดชันต่อคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยว	44
ผลองค์ประกอบพื้นฐานของแป้งข้าวเจ้าตราช้างสามเศียรชนิดไม่น้ำตาล	
ทางด้านเคมี เคมีกายภาพ และกายภาพ	44
ผลของอุณหภูมิและเวลาในการเกิดรีโทรกราเดชันต่อคุณภาพของเส้น	
ก๋วยเตี๋ยว.....	48
ผลของชนิดและปริมาณสาร surfactants ต่อการเกิดรีโทรกราเดชันของเจลแป้ง	
ข้าวและคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยว.....	55
5	78
สรุปผลการศึกษา.....	78
บรรณานุกรม	79
ภาคผนวก.....	92
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์คุณสมบัติของแป้งข้าวเจ้า	92
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์คุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยว.....	101
ภาคผนวก ค ผลทางสถิติ.....	104
ประวัติผู้วิจัย.....	115

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ความแตกต่างของอะมิโลสและอะมิโลเพคติน	6
2	ชนิดของ surfactants	28
3	องค์ประกอบทางเคมีของแป้ง.....	44
4	ระยะทางที่แป้งไหล	45
5	ความคงตัวของเจลแป้ง.....	45
6	อิทธิพลของระยะเวลาและอุณหภูมิการเก็บต่อปริมาณความชื้นของเส้นก๋วยเตี๋ยว...	48
7	อิทธิพลของระยะเวลาและอุณหภูมิการเก็บต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยว	50
8	อิทธิพลของระยะเวลาและอุณหภูมิการเก็บต่อค่า ΔH , T_o , T_p , และ T_c	52
9	อิทธิพลของระยะเวลาการเก็บต่อปริมาณผลึกของก๋วยเตี๋ยวเก็บที่อุณหภูมิ 9 °C	55
10	อิทธิพลของ surfactants ต่อความหนืดของแป้งข้าวเมื่อวัดด้วยเครื่อง RVA	56
11	อิทธิพลของ surfactants ต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เก็บที่อุณหภูมิ.... 9 °C	63
12	อิทธิพลของ surfactants ต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เก็บที่อุณหภูมิ.... 30 °C	63
13	อิทธิพลของ surfactants ต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เก็บที่อุณหภูมิ.... 40 °C	64
14	อิทธิพลของ surfactants ต่อค่า ΔH	63
15	อิทธิพลของ surfactants ต่อค่า T_o	66
16	อิทธิพลของ surfactants ต่อค่า T_p	67
17	อิทธิพลของ surfactants ต่อค่า T_c	68
18	อิทธิพลของ surfacants ต่อปริมาณผลึกชนิดของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เก็บที่อุณหภูมิ 9 °C	73
19	Avrami exponent (n) และเวลาคงที่ (k) ของเส้นก๋วยเตี๋ยว.....	77

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1	โครงสร้างอะมิโลส.....	5
2	โครงสร้างอะมิโลเพคติน.....	5
3	รูปแบบความหนืดของแป้งชนิดต่างๆ วัดด้วยเครื่องบราเบนเดอร์ อะมิโลกราฟ.....	10
4	การเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ช.....	15
5	ความสัมพันธ์ค่ามอดูลัสกับอุณหภูมิ Tg และ Tm.....	16
6	โครงสร้างของ GMS.....	29
7	ปฏิกิริยาการเกิด MG.....	30
8	การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของ MG กับอะมิโลส.....	31
9	สูตรทางเคมีของ SSL.....	32
10	สูตรทางเคมีของ lecithin.....	33
11	สูตรทางเคมีของ DATEM.....	34
12	สูตรทางเคมีของ sucrose ester ของกรดไขมัน.....	35
13	ผลกำลัการพองตัวของแป้ง.....	47
14	ผลค่าการละลายของแป้งข้าว.....	47
15	X-ray Diffractogram ของเส้นก๋วยเตี๋ยวเก็บที่อุณหภูมิ 9 °C เป็นระยะเวลาต่างๆ.....	54
16	การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งและแป้งที่เติม SSL 0.3, 0.5 และ 0.7%.....	57
17	การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งและแป้งที่เติม GMS 0.2, 0.4 และ 0.5%.....	58
18	การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งและแป้งที่เติม MG 0.1, 0.3 และ 0.5%.....	58
19	X-ray Diffractogram ของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เติม SSL 0.5% เก็บที่ 9 °C เป็นระยะเวลา ต่างๆ.....	71
20	X-ray Diffractogram ของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เติม GMS 0.2% เก็บที่ 9 °C เป็นระยะเวลา ต่างๆ.....	72
21	X-ray Diffractogram ของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เติม MG 0.5% เก็บที่ 9 °C เป็นระยะเวลา ต่างๆ.....	72
22	G' ของเจลแป้งข้าวที่อุณหภูมิ 9 °C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง.....	75

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
23	G'' ของเจลแป้งข้าวที่อุณหภูมิ 9 °C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง	75
24	$\tan \delta$ ของเจลแป้งข้าวที่อุณหภูมิ 9 °C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง	76
25	ผลการทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวด้วยเครื่อง Texture Analyzer...	102

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ผลิตข้าวที่สำคัญ เนื่องจากว่าคนไทยนิยมบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก อีกทั้งข้าวยังเป็นพืชเศรษฐกิจที่ทำรายได้ให้กับประเทศ โดยประเทศไทยเป็นประเทศผู้ส่งออกข้าวรายใหญ่ที่สุดของโลก (สถาบันอาหาร, 2550) นอกจากนี้ในปัจจุบันยังมีการส่งเสริมให้มีการใช้ประโยชน์จากข้าว โดยนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ผลิตภัณฑ์อาหารเส้น ได้แก่ เส้นก๋วยเตี๋ยว เส้นหมี่ และขนมจีน เป็นต้น พบว่าก๋วยเตี๋ยวเป็นผลิตภัณฑ์ที่นิยมบริโภคกันมาก โดยนิยมบริโภค รองลงมาจากการบริโภคข้าว แต่อย่างไรก็ตามปัญหาที่สำคัญของเส้นก๋วยเตี๋ยว คือ มีอายุการเก็บรักษาสั้น เมื่อเก็บในตู้เย็นมีลักษณะแข็งกระด้าง ต้องมีการผลิตในลักษณะสดแบบวันต่อวัน เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาโดยเกิดรีโทรกราเดชัน (retrogradation)

การเกิดรีโทรกราเดชันเกิดเมื่อผลิตภัณฑ์จากแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลาติไนเซชัน (gelatinization) แล้วให้ความร้อนต่อไป ทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของอะมิโลส (amylose) ขนาดเล็กกระจายออกมาทำให้ความหนืดลดลง เมื่อปล่อยให้เย็นตัว โมเลกุลอะมิโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจับเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล โครงสร้างใหม่นี้สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการคูดน้ำเข้ามาอีก มีความหนืดคงตัวมากขึ้น (กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล, 2546) ทำให้มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส คุณภาพ และการยอมรับของผู้บริโภค ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพเสื่อมลง เนื้อสัมผัสและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ผลิตภัณฑ์สูญเสียความสามารถในการอุ้มน้ำ (Gudmundsson, 1994) มีรายงานการวิจัยพบว่าการเติม surfactants สามารถลดการแข็งตัวของขนมปังเมื่อเก็บเป็นระยะเวลาสั้น (Joensson และ Toernase, 1987; Krog และคณะ, 1989; Langhans และ Thalheimer, 1971; Lorenz, 1983; Roach และ Hoseney, 1995) โดยการเติมไขมันหรือการเติม surfactants มีผลต่อการเกิดรีโทรกราเดชัน เมื่อวัดด้วย Differential Scanning Calorimeter (DSC) พบว่าเอนทัลปี (enthalpy, ΔH) ในการเกิดรีโทรกราเดชันของอะมิโลเพคติน (amylpectin) ลดลง และขนาดของ

เอนโดเทอร์ม (endotherm) ที่เกี่ยวข้องกับสารประกอบเชิงซ้อนของอะมิโนกับไขมันเพิ่มขึ้น (Eliasson, 1983; Russell, 1983) Gray และ Bemiller (2003) พบว่าการเติม surfactants ในขนมปังเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง surfactants กับอะมิโน ทำให้เกิดเป็นพันธะที่แข็งแรง ช่วยป้องกันการละลายและหลุดออกของอะมิโน เม็ดสตาร์ชมีการพองตัวลดลง และพอลิเมอร์ของสตาร์ชมีการเคลื่อนที่น้อยลง ช่วยลดอัตราการแข็งตัวของขนมปังในระหว่างการเก็บรักษา กลไกการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของ surfactants กับโมเลกุลอะมิโน เกิดเนื่องจากโครงสร้างบางส่วน ของ surfactants ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ชอบน้ำถูกผลักให้เข้าไปภายในโครงสร้างที่เป็นเกลียวของอะมิโน อีกส่วนหนึ่งของสาร surfactants ซึ่งเป็นส่วนที่ชอบน้ำจะยื่นออกมาด้านนอก ทำให้สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลน้ำเกิดการดูดซับน้ำไว้ในโมเลกุลอะมิโน ทำให้ surfactants ที่เติมลงไปลดการเกิดรีโทรกราเดชัน (Krog, 1981)

งานวิจัยที่ผ่านมาเป็นการใช้ surfactants ลดการแข็งตัวของขนมปัง ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ทำจากแป้งสาลีมีองค์ประกอบที่แตกต่างจากแป้งข้าวเจ้าที่ใช้ทำเส้นก๋วยเตี๋ยว ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาผลของสภาวะการเก็บต่อการเกิดรีโทรกราเดชันของเส้นก๋วยเตี๋ยวและศึกษาอิทธิพลของ surfactants ต่อการเกิดรีโทรกราเดชันของเส้นก๋วยเตี๋ยวเพื่อปรับปรุงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษา

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 เพื่อศึกษาผลของสภาวะการเก็บต่อการเกิดรีโทรกราเดชันของเส้นก๋วยเตี๋ยว
- 1.2.2 เพื่อศึกษาอิทธิพลของ surfactants ต่อการเกิดรีโทรกราเดชันของเส้นก๋วยเตี๋ยว
- 1.2.3 เพื่อปรับปรุงคุณภาพเส้นก๋วยเตี๋ยวในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

- 1.3.1 อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บมีผลต่อการเกิดรีโทรกราเดชันของเส้นก๋วยเตี๋ยว
- 1.3.2 ชนิดและปริมาณสาร surfactants มีผลต่อการเกิดรีโทรกราเดชันของเส้นก๋วยเตี๋ยว
- 1.3.3 การชะลอการเกิดรีโทรกราเดชันในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาเส้นก๋วยเตี๋ยวสดได้จากการเสื่อมเสียทางกายภาพ

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1.4.1 ศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บต่อการเกิดรีโทรกราเดชันของเส้นก๊วยเดียว โดยทำการทดลองเปรียบเทียบที่อุณหภูมิ 9, 30 และ 40 °C เป็นระยะเวลา 0, 24, 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมง

1.4.2 ศึกษาผลของชนิดและปริมาณสาร surfactants ต่อการเกิดรีโทรกราเดชันของเส้นก๊วยเดียว โดยทำการทดลองเปรียบเทียบก๊วยเดียวที่ไม่เติม surfactants กับก๊วยเดียวที่เติม surfactants 3 ชนิด คือ monoglyceride (MG) ที่ระดับ 0.1 %, 0.3% และ 0.5%, sodium steryl-2-lactylate (SSL) ที่ระดับ 0.3%, 0.5% และ 0.7% และ glycerol monostearate (GMS) ที่ระดับ 0.08%, 0.2% และ 0.4% เก็บที่อุณหภูมิ 9, 30 และ 40 °C เป็นระยะเวลา 0, 24, 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมง

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะทั่วไปของข้าวและแป้งข้าว

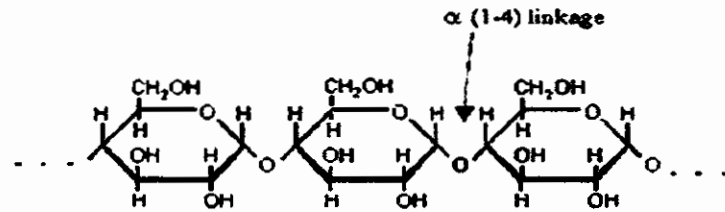
ข้าวเป็นอาหารหลักของประชากรในแถบเอเชียเป็นธัญชาติที่มีหลายพันธุ์ จึงมีองค์ประกอบและลักษณะทางเคมีที่แตกต่างกันอย่างมากเมื่อเทียบกับธัญชาติอื่นๆ ข้าวที่รับประทานกันอยู่มี 2 สายพันธุ์ คือ *Oryza glaberrima* ปลูกเฉพาะในเขตร้อนของแอฟริกาเท่านั้น และ *Oryza sativa* จะปลูกในเอเชียเป็นส่วนใหญ่ *Oryza sativa* ยังแบ่งออกได้ดังนี้ คือ *Oryza sativa japonica* ปลูกมากในเขตอบอุ่น ได้แก่ ประเทศญี่ปุ่นและเกาหลี *Oryza sativa indica* ปลูกมากในเขตร้อน ได้แก่ ประเทศไทย อินเดีย ลาว และพม่า ส่วน *Oryza sativa javanica* ปลูกในประเทศอินโดนีเซีย (ณรงค์, 2538)

คุณภาพทางเคมีของเมล็ดข้าวมีความสัมพันธ์และสำคัญอย่างยิ่งต่อคุณลักษณะการหุงต้ม การรับประทาน และการนำข้าวไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับส่วนประกอบและสมบัติของสสารในเมล็ดข้าว เมล็ดข้าวมีส่วนประกอบของสสารประมาณ 90% เม็ดสสารมีขนาด 3-9 ไมครอน อยู่อัดกันแน่นเป็นกลุ่มภายในส่วนที่เป็น starchy endosperm ในเนื้อข้าว เรียกว่า compound มีรูปร่างเป็นพอลิเฮดรอน (poly hedron) บริเวณเนื้อข้าวขนาดของเม็ดสสารจะเล็กกว่าส่วนตรงกลาง โดยเฉพาะบริเวณที่อยู่ใกล้กับกะหรือจมูกข้าวจะมีขนาดเล็กที่สุด (เสนอ, 2522)

สสารในเมล็ดข้าวประกอบด้วยองค์ประกอบส่วนใหญ่ 2 ส่วนคือ

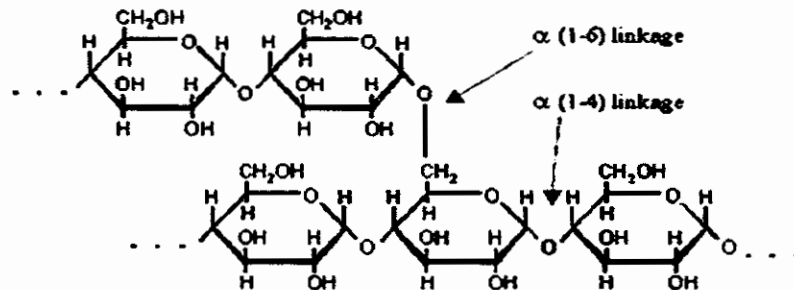
2.1.1 อะมิโลส เป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วยเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก (glucosidic linkage) ชนิด α -1,4 ที่โมเลกุลข้างเรียงเป็นเส้นตรง มีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 1 ตำแหน่งของอะมิโลสภายในเม็ดสสารขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ อะมิโลสบางส่วนอยู่ในกลุ่มของอะมิโลเพคติน บางส่วนกระจายอยู่ทั้งในส่วนอณูฐานและส่วนผลึก (กล้าณรงค์ และเกื้อกุล, 2546)

2.1.2 อะมิโลเพคติน เป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสที่โมเลกุลข้างเรียงเป็นกิ่งก้าน มีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 2 ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด α -1,4 และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้น มีขนาดโมเลกุลอยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย



รูปที่ 1 โครงสร้างของอะมิโลส

ที่มา : กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล (2546)



รูปที่ 2 โครงสร้างของอะมิโลเพคติน

ที่มา : กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล (2546)

เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด α -1,6 (กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2546) ซึ่งอะมิโลเพคตินจะมีคุณสมบัติทางเคมีกายภาพที่แตกต่างจากอะมิโลส ดังแสดงในตารางที่ 1

ปริมาณอะมิโลสเป็นปัจจัยที่สำคัญในการอธิบายคุณภาพในการหุงต้มของข้าว (Juliano, 1965) ข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ เมื่อหุงเป็นข้าวสุกแล้วจะนุ่ม เหนียว และเลื่อมมัน ในขณะที่ข้าวอะมิโลสสูง เมื่อหุงเป็นข้าวสุกจะร่วนและแข็ง (งามชื่น, 2529) ดังนั้นจึงใช้ปริมาณ อะมิโลส เป็นพื้นฐานในการแบ่งข้าว โดย International rice research institute (1971) แบ่งข้าวตามปริมาณ อะมิโลสเป็น 4 ชนิด คือ ข้าวอะมิโลสต่ำ มีปริมาณอะมิโลสต่ำกว่า 20% ข้าวอะมิโลสปานกลาง มีอะมิโลส 20-25% ข้าวอะมิโลสสูงปานกลาง มีอะมิโลส 25-27% และข้าวอะมิโลสสูง มีอะมิโลส สูงกว่า 27% ขึ้นไป ข้าวแต่ละประเภทมีคุณภาพในการหุงต้มและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่แตกต่าง กันไป เช่น ผลิตภัณฑ์ก๋วยเตี๋ยวนิยมใช้ข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสสูง เนื่องจากข้าวที่มีปริมาณอะมิ-โลสสูงการขยายตัวของแป้งเป็นไปอย่างมั่นคง แข็งแรง และไม่ยุบตัวง่าย สามารถต้านทานการ

ตารางที่ 1 ความแตกต่างของอะมิโลสและอะมิโลเพกติน

คุณสมบัติ	อะมิโลส	อะมิโลเพกติน
ลักษณะโครงสร้าง	สารประกอบของน้ำตาล กลูโคสเกาะกันเป็นเส้นตรง	สารประกอบของน้ำตาล กลูโคสเกาะกันเป็นกิ่งก้าน
พันธะที่จับ	α -1,4	α -1,4 และ α -1,6
ขนาด	200-2,000 หน่วยกลูโคส	มากกว่า 10,000 หน่วยกลูโคส
การละลาย	ละลายน้ำได้น้อยกว่า	ละลายน้ำได้ดีกว่า
การทำปฏิกิริยากับไอโอดีน	สีน้ำเงิน	สีแดงม่วง
การจับตัว	เมื่อให้ความร้อนแล้วทิ้งไว้จะ จับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง	ไม่จับตัวเป็นแผ่นแข็ง

ที่มา: กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล (2546)

แตกสลายของเมล็ดสารที่อุณหภูมิสูงได้มาก สามารถทำเป็นแผ่นได้ดี (พิมพ์เพ็ญ, 2533) นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวแต่ละพันธุ์ที่มีอะมิโลสสูงมีความแตกต่างกันในระหว่างการหุงต้ม และการรับประทาน ดังนั้นปริมาณอะมิโลสเพียงอย่างเดียวจึงไม่สามารถตัดสินคุณภาพของข้าวได้ International rice research institute (1971) ได้ทดสอบคุณภาพการรับประทานโดยใช้การทดสอบ ความคงตัวของแป้งสุก โดยศึกษาจากข้าวหุงสุก ถ้าข้าวหุงสุกมีลักษณะนุ่ม แป้งสุกจะไหลได้ระยะทางยาว แสดงว่ามีความคงตัวของแป้งสุกต่ำ ส่วนข้าวหุงสุกที่มีลักษณะแข็ง แป้งสุกจะไหลได้ระยะทางสั้นหรือมีความคงตัวของแป้งสุกสูง ดังนั้นสามารถแบ่งข้าวตามลักษณะความคงตัวของแป้งสุก ดังนี้ คือ พวกที่มีความคงตัวสูงไหลได้ 26-35 มิลลิเมตร พวกที่มีความคงตัวปานกลางไหลได้ 36-50 มิลลิเมตร และพวกที่มีความคงตัวต่ำไหลได้ 51 มิลลิเมตรขึ้นไป เนื่องจากปริมาณอะมิโลสเป็น ปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าวมีคุณภาพแตกต่างกัน ความคงตัวของแป้งสุกจึงใช้ทดสอบข้าวที่มี ปริมาณอะมิโลสสูง (งามชื่น, 2529)

การนำข้าวมาแปรรูปขั้นต้นจะได้เป็นผลิตภัณฑ์แป้งข้าว ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรม (มอก. 638, 2529) ได้ให้ความหมายแป้งข้าวไว้ว่า เป็นแป้งที่มาจากข้าวอาจเป็นข้าว เต็มเมล็ด ดันข้าว ข้าวหักใหญ่ ข้าวหักหรือปลายข้าว ซึ่งการแปรรูปขั้นต้นของข้าวยังไม่สามารถ นำมาบริโภคได้โดยตรง ต้องนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร กึ่งอาหาร และไม่ใช่อาหาร โดย การนำข้าวมาทำความสะอาด แล้วจากนั้นเป็นขั้นตอนการไม่ให้แป้ง ซึ่งทำได้ 3 วิธี (อรอนงค์, 2547)

วิธีที่ 1 การ โม่แห้ง เป็นการนำข้าวหักที่ผ่านระบบการทำความสะอาดในระบบแห้งด้วยเครื่องแยกชนิดต่างๆ แล้วเข้าสู่เครื่องโม่หรือบดแห้ง ได้เป็นแป้งผง จากนั้นร่อนผ่านเครื่องร่อนให้มีขนาดสม่ำเสมอ (180 ไมโครเมตร) เนื่องจากวัตถุดิบเป็นปลายข้าวที่เป็นผลพลอยได้จากการสีข้าว ดังนั้นจึงมักมีสิ่งเจือปนอยู่มาก แป้งที่ได้จึงมีความสะอาดต่ำ เมล็ดข้าวยังมีความแกร่งอยู่มาก ทำให้ยากลำบากที่จะทำให้แตกละเอียด แป้งที่ได้จากการโม่จึงมักเป็นแป้งหยาบ นอกจากนี้ไข่แมลงที่ติดมากับเมล็ดข้าวยังสามารถพัฒนาเป็นหนอนเมื่อเก็บไว้ช่วงระยะเวลาไม่นาน อีกทั้งไขมันที่เหลือในเมล็ดข้าวเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนง่าย ในประเทศไทยจึงไม่นิยมใช้แป้งข้าวชนิด โม่แห้ง (งามชื่น, 2541)

วิธีที่ 2 การ โม่เปียกหรือการ โม่ น้ำ เป็นวิธีการที่ใช้ในการผลิตแป้งข้าวเป็นส่วนใหญ่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศไทย เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นข้าวหัก ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการสีข้าว โดยยังมีสิ่งเจือปนมากต้องทำความสะอาดด้วยเครื่องแยกชนิดต่างๆ และต้องล้างด้วยน้ำให้สะอาดหลายๆ ครั้ง จนน้ำใส หลังจากนั้นจึงแช่ข้าวต่อไปเพื่อให้ข้าวดูดซับน้ำ และเมล็ดข้าวอ่อนตัวลง ทั้งนี้อาจใช้เวลา 3-4 ชั่วโมง แล้วจึงระบายน้ำออกให้ข้าวสะเด็ดน้ำ หลังจากนั้นจึงนำข้าวเข้าเครื่องโม่แบบหินจานพร้อมกับน้ำในปริมาณที่เหมาะสม ทำให้ได้น้ำแป้งที่ละเอียดสม่ำเสมอ ต่อจากนั้นจึงแยกน้ำออกจากแป้ง ได้ก้อนแป้งที่แห้งมีความชื้นประมาณ 40% ทำการตีป่นก้อนแป้งให้เป็นผง ผ่านเข้าเครื่องอบแป้งให้แห้ง แล้วนำแป้งแห้งไปโม่อีกครั้งให้เป็นผง และร่อนให้มีขนาดสม่ำเสมอ และมีความละเอียดตามต้องการ (งามชื่น, 2541)

วิธีที่ 3 การ โม่แบบผสม มีขั้นตอนการโม่คล้ายคลึงกับวิธีการโม่เปียก ในช่วงล้างข้าวหักและแช่ข้าวหักจนนุ่ม ต่อจากนั้นนำข้าวหักขึ้นจากน้ำแช่ให้สะเด็ดน้ำ แล้วผ่านไปยังเครื่องอบ ให้ข้าวแห้งระดับหนึ่งประมาณ 15-17% จึงนำข้าวหักเข้าบดหรือโม่แบบแห้งตามวิธีการโม่แห้งจนได้แป้งแห้ง ผ่านเข้าเครื่องร่อนแป้งให้มีขนาดสม่ำเสมอ แป้งที่ได้จากการ โม่แบบผสมมีความละเอียดน้อยกว่าชนิด โม่เปียก (งามชื่น, 2541)

2.2 คุณสมบัติของแป้งข้าวเจ้าที่เหมาะสมต่อการผลิตก๋วยเตี๋ยว

คุณสมบัติที่แตกต่างกันของแป้งข้าวมีผลต่อการนำไปทำผลิตภัณฑ์ เช่น ผลิตภัณฑ์อาหารเส้นประเภทก๋วยเตี๋ยว คุณภาพของก๋วยเตี๋ยวที่ต้องการเป็นเส้นที่มีความเหนียวและนุ่ม ไม่เกาะติดเป็นก้อน มีความคงตัวเมื่อลวก มีสีขาวนวล มีกลิ่นรสตามธรรมชาติ (มอก.959, 2533) ปัจจัยที่ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารที่ทำจากแป้ง มีคุณสมบัติตามต้องการนั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของ

แป้งข้าว แป้งข้าวที่มีคุณสมบัติต่างกัน ทำให้ได้คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันด้วยคุณสมบัติของแป้งข้าวที่เหมาะสมกับการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวมีดังนี้คือ

2.2.1 ขนาดอนุภาคของผงแป้ง แป้งที่มีขนาดอนุภาคแตกต่างกันทำให้คุณสมบัติของแป้งต่างกัน เช่น คุณสมบัติในการดูดซับน้ำ โดยแป้งที่มีขนาดอนุภาคเล็กหรือมีความละเอียดสูงจะมีความสามารถในการดูดซับน้ำที่อุณหภูมิห้องสูงกว่าแป้งที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ และแป้งที่มีขนาดอนุภาคเล็กอาจทำให้อุณหภูมิในการเกิดการเจลลิตในเซชันของแป้งบางชนิดลดลงด้วย (Kerr และคณะ, 2000) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าขนาดของอนุภาคแป้งยังส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้วยเช่นกัน จากรายงานการวิจัยของ Yeh และคณะ (1992) พบว่าเมื่อนำเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าที่มีขนาดอนุภาคต่างๆ ไปทำการทดสอบทางประสาทสัมผัส เส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งที่มีขนาดอนุภาค 138 - 165 ไมครอน จะมีคุณภาพที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคมากกว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 138 ไมครอน เนื่องจากมีความอ่อนนุ่ม เหนียวไม่ขาดง่าย แต่ถ้านำแป้งที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 138 ไมครอน ไปผลิตเป็นขนมขบเคี้ยว พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความกรอบมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากแป้งที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 138 ไมครอน และในกรณีของการผลิตเค้กเนยจากแป้งข้าวเจ้า พบว่าควรใช้แป้งที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 125 ไมครอน จึงจะได้เค้กที่มีเนื้อนุ่มเป็นที่นิยมของผู้บริโภค (Yamazaki และคณะ, 1971) ดังนั้นขนาดอนุภาคของแป้งที่จะนำมาใช้ จึงควรเลือกให้เหมาะสมกับลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิต

2.2.2 การพองตัวและการละลาย แป้งดิบจะไม่ละลายน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลลิตในเซชัน เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลสตาร์ชที่อยู่ใกล้ๆ กันเชื่อมต่อกันอยู่ แต่เมื่ออุณหภูมิของน้ำแป้งสูงขึ้นกว่าอุณหภูมิการเกิดเจล (สูงขึ้นกว่าประมาณ 60°C) พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย โมเลกุลของน้ำจะเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลอิสระ เม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัวทำให้ค่าการละลาย ค่าความหนืด และค่าความใสเพิ่มขึ้น คุณสมบัติของการบิกระนาบแสงโพลาไรซ์ (polarize) ในเม็ดสตาร์ชจะหมดไป กำลังการพองตัวของแป้งจะแสดงเป็นปริมาตรหรือน้ำหนักของเม็ดสตาร์ชที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด เมื่อเม็ดสตาร์ชพองตัวอย่างอิสระในน้ำ สำหรับความสามารถในการละลาย จะแสดงเป็นน้ำหนักของของแข็งทั้งหมดในสารละลายที่สามารถละลายได้ การพองตัวของแป้งข้าวที่มาจากธัญชาติมีรูปแบบการพองตัว 2 ขั้นตอน ซึ่งแสดงถึงแรงของพันธะภายในเม็ดแป้งที่แตกต่างกัน 2 ชนิดคือ คือ พันธะบริเวณผลึกและบริเวณสัณฐานของเม็ดแป้ง แป้งที่ได้จากธัญชาติมีจำนวนพันธะสูงสุด แต่มีการพองตัวและการละลายต่ำสุด เนื่องจากมีปริมาณอะมิโลสสูง ซึ่งอะมิโลสทำให้ร่างแหภายในเม็ดสตาร์ชแข็งแรงขึ้น ทำให้พองตัวได้ต่ำ (กลัณรงค์ และ เกื้อกูล, 2546; Collision, 1968) ค่ากำลังการพองตัวเป็นดัชนีที่บอกถึงคุณภาพความแข็งแรงของเจลสตาร์ช ซึ่งมีความสัมพันธ์กับเนื้อสัมผัสที่หยุ่นเหนียวของเส้น

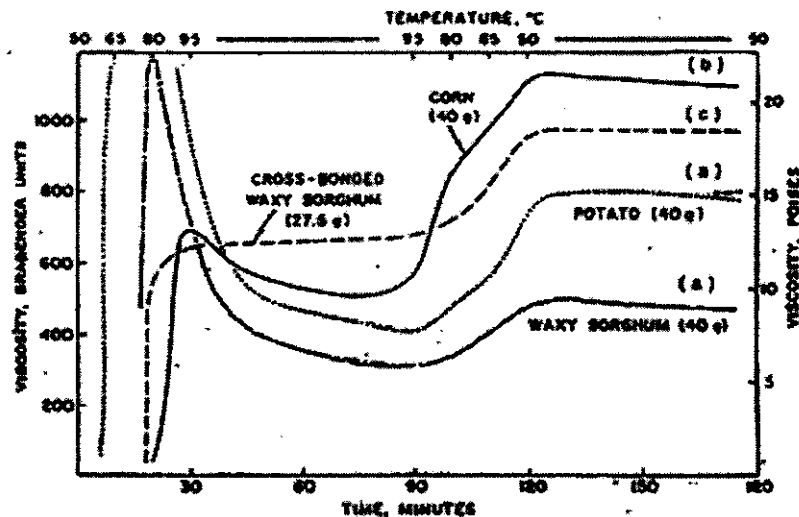
ถ้วยเตี้ย เจลที่มีกำลังการพองตัวสูง มีความสามารถอุ้มน้ำได้ดี ซึ่งเป็นคุณสมบัติของเส้นถ้วยเตี้ย (Crosbie, 1991)

2.2.3 ปริมาณอะมิโลส อะมิโลสเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณสมบัติของแป้งอย่างมาก โดยปริมาณอะมิโลสในเมล็ดสตาร์ชจะแปรผันโดยตรงกับปริมาณการละลายน้ำของอะมิโลสออกจากเมล็ดสตาร์ชเมื่อได้รับความร้อน ซึ่งอะมิโลสที่ละลายออกมานี้ส่งผลให้สารละลายน้ำแป้งมีความข้นหนืดมากขึ้น และเมื่อปล่อยสารละลายน้ำแป้งให้เย็น อะมิโลสจะจับตัวกันเป็น โครงสร้างสามมิติที่แข็งแรงล้อมรอบเมล็ดสตาร์ชที่พองตัวไว้ ดังนั้นถ้าอะมิโลสที่ละลายออกมามีปริมาณสูงเพียงพอ ความแข็งแรงของโครงสร้างของเจลที่ผลิตมีมากขึ้น ดังนั้นปริมาณอะมิโลสที่แตกต่างกันใช้จำแนกลักษณะของผลิตภัณฑ์ตามปริมาณอะมิโลสของแป้งที่ใช้ในการผลิต (Juliano และ Hicks, 1996) เช่น ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดต่ำ เช่น ขนมหวาน และน้ำสลัด นิยมผลิตจากแป้งข้าวเจ้าที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำกว่า 1% ได้แก่ แป้งข้าวเจ้าข้าวเหนียว (Bettge และคณะ, 2000) ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดปานกลาง เช่น อาหารเด็ก อาหารเช้า และขนมปังที่ใช้ยีสต์เพื่อทำให้ขึ้นฟู นิยมผลิตจากแป้งข้าวเจ้าที่มีปริมาณอะมิโลส 9 – 20% ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดมาก เช่น ซุปกระป๋อง และเค้ก นิยมผลิตจากแป้งข้าวเจ้าที่มีปริมาณอะมิโลส 20 – 25% ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการลักษณะของเจล เช่น เส้นถ้วยเตี้ย เส้นขนมจีน นิยมผลิตจากแป้งข้าวเจ้าที่มีปริมาณอะมิโลสมากกว่า 25%

2.2.4 ความหนืดของน้ำแป้ง แป้งมีความหนืดแตกต่างกันตามชนิดและสายพันธุ์ จากการแบ่งประเภทของแป้งตามกราฟแสดงความหนืด ตามวิธีของ Leach (1965) อ้างโดยกล้าณรงค์ และ เกื้อกูล (2546) สามารถแบ่งตามรูปแบบความหนืดของแป้งสุก วัดด้วยเครื่องบราเบนเดอร์ อะมิโลกราฟ (Brabender amylograph) ตามกำลังการพองตัวของแป้งได้ 4 แบบ ดังรูปที่ 3 แบบ a กราฟจากเมล็ดสตาร์ชที่มีกำลังการพองตัวสูง เช่น สตาร์ชมันฝรั่งและสตาร์ชข้าวฟ่าง เมื่อให้ความร้อนแก่สตาร์ช เม็ดสตาร์ชจะมีกำลังการพองตัวสูง ทำให้แรงที่ยึดภายในโมเลกุลอ่อนตัวลง เม็ดสตาร์ชกระจายตัวออกเมื่อได้รับแรงเฉือน แบบ b กราฟจากเมล็ดสตาร์ชที่มีกำลังการพองตัว ปานกลาง ได้แก่ สตาร์ชจากธัญชาติต่างๆ เม็ดสตาร์ชไม่พองตัวมากถึงขั้นกระจายตัวออก แบบ c กราฟจากเมล็ดสตาร์ชที่มีกำลังการพองตัวน้อย ได้แก่ สตาร์ชจากถั่วต่างๆ และสตาร์ชดัดแปรแบบครอสลิง (cross link) หรือพันธะข้าม สตาร์ชดัดแปรแบบครอสลิงทำให้การพองตัวและการละลายของเม็ดสตาร์ชลดลง ทำให้เม็ดสตาร์ชพองตัวมีเสถียรภาพมาก มีค่าความหนืดสูงซึ่งอาจคงที่หรือเพิ่มขึ้นระหว่างการต้มสุก แบบ d กราฟจากเมล็ดสตาร์ชที่มีการพองตัวน้อยมาก ได้แก่ สตาร์ชที่มีปริมาณอะมิโลสสูง (ไม่แสดงในภาพ)

ความหนืดของน้ำแป้งเพิ่มขึ้นเมื่อแป้งเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C ขึ้นไปและเมื่อสตาร์ชข้าวเจ้าเกิดรีโทรกราเดชัน เนื่องจากเม็ดสตาร์ชพองตัวและแตกตัวน้อย โมเลกุลอิสระไม่

กระจายตัวมากทำให้สามารถเคลื่อนที่มาจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนได้มากและสามารถกักน้ำไว้ได้ (อรรณ, 2529)



รูปที่ 3 รูปแบบความหนืดของสตาarchชนิดต่างๆ วัดด้วยเครื่องบราเบนเดอร์ อะมิโลกราฟ
ที่มา : Leach (1965) อ้างโดยกล้าณรงค์ และเกื้อกุล (2546)

2.2.5 ความคงตัวของเจล ค่าความคงตัวของแป้งสุกสามารถคาดคะเนคุณภาพของข้าวได้ โดยวัดระยะทางที่แป้งสุกไหลไปเมื่อวางบนพื้นราบ เป็นวิธีที่พัฒนาขึ้นเพื่อหาความแตกต่างของข้าวที่มีอะมิโลสสูงใกล้เคียงกันแต่ความหนืดแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากการจัดเรียงตัวใหม่ของอะมิโลสเมื่ออุณหภูมิลดลงทำให้เกิดเป็นเจลที่มีความคงตัวต่างกัน ความคงตัวของเจลขึ้นกับปริมาณอะมิโลส พบว่าข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสสูงจะให้ลักษณะเจลแข็ง เมื่อหุงเป็นข้าวสุกจะแข็งและกระด้างกว่าข้าวที่มีอะมิโลสต่ำซึ่งจะให้ลักษณะเจลอ่อน (งามชื่น, 2536)

2.3 ก๋วยเตี๋ยว

ก๋วยเตี๋ยวเป็นผลิตภัณฑ์อาหารประเภทเส้นที่นิยมบริโภคทั่วไป นำมาประกอบเป็นอาหารได้ง่ายและสะดวก ในขณะที่ไม่ใช่ว่าเฉพาะในเอเชียเท่านั้นที่รู้จักบริโภคก๋วยเตี๋ยว พลเมืองต่างๆ เกือบทั่วโลกได้รู้จักและหันมาบริโภคก๋วยเตี๋ยวกันมากขึ้น

ความหมายของก้วยเตี่ยว

มอก. 959 (2533) ให้ความหมายของก้วยเตี่ยวไว้ว่า เป็นผลิตภัณฑ์ซึ่งทำจากข้าวเจ้าที่นำมาไม่หรือแป้งข้าวเจ้า ซึ่งอาจมีแป้งชนิดอื่นผสมอยู่ด้วยก็ได้ ทำให้เป็นแผ่นบาง นึ่งให้สุก ตัดเป็นเส้นแล้วทำให้แห้ง

คุณลักษณะที่ต้องการของเส้นก้วยเตี่ยวตามมาตรฐาน มอก. 959 (2533)

- ลักษณะทั่วไป : ก้วยเตี่ยวในภาชนะเดียวกันต้องมีขนาดเส้นใกล้เคียงกัน
- ความหนา : ต้องมีความสม่ำเสมอโดยมีความหนาเฉลี่ยไม่เกิน 0.7 มิลลิเมตร และความหนาที่วัดได้จากตำแหน่งใดๆ จะต่างจากความหนาเฉลี่ยได้ไม่เกิน 0.2 มิลลิเมตร
- สี : มีสีขาวนวล สม่ำเสมอ
- กลิ่นรส : มีกลิ่นรสตามธรรมชาติไม่มีกลิ่นหืนหรือกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์อื่นๆ
- ลักษณะเนื้อ : นุ่มและเหนียวไม่เกาะติดกัน
- ความชื้น : ก้วยเตี่ยวแห้งต้องมีความชื้นไม่เกิน 12%
- โปรตีน : มีปริมาณโปรตีนไม่น้อยกว่า 6.5% โดยน้ำหนัก

กรรมวิธีการผลิตก้วยเตี่ยว

2.3.1 วัตถุดิบ

ก. ข้าว พันธุ์ข้าวที่เหมาะสมในการทำเส้นก้วยเตี่ยวตามที่เสนอ (2522) ได้รายงานผลการวิจัยคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าวพันธุ์ต่างๆ ที่จะทำให้ง้วยเตี่ยวมีคุณภาพดี ได้แก่ เหลืองประทิว-123 กข.1 และ ขาว-500 ตามลำดับ ส่วนข้าวพันธุ์กข.5 และกข.7 สามารถทำเส้นก้วยเตี่ยวได้แต่คุณภาพไม่ดี ส่วนข้าวหอมมะลิ-105 ไม่สามารถทำเส้นก้วยเตี่ยวได้ สำหรับข้าวที่ผ่านการเก็บมาระยะหนึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีทำให้มีการดูดน้ำได้มากขึ้น อุณหภูมิการเกิดเจลลิตในเขชันสูง โรงงานทำก้วยเตี่ยวนิยมใช้ข้าวแข็งหรือข้าวที่ปลูกในดินทราย ซึ่งมีอายุการเก็บเกี่ยวเพียง 2-3 เดือน ก็จะมีลักษณะเหมือนข้าวเก่า แต่สำหรับข้าวอ่อนเป็นข้าวที่ปลูกในดินเหนียวต้องเก็บค้างปีจึงจะเป็นข้าวเก่า (วิรดา และคณะ, 2518)

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตก้วยเตี่ยว คือ ข้าวสารหัก หรือข้าวท่อน 50% ข้าวสารหักชนิดที่เหมาะสมในการทำก้วยเตี่ยว คือ ข้าวเก่าที่มีอายุการเก็บไม่น้อยกว่า 4 เดือน ข้าวเก่ามีคุณสมบัติดีกว่าข้าวใหม่ คือ แป้งเมื่อนึ่งแล้วจะล่อนไม่ติดเครื่องมือ เส้นที่ได้จะไม่มนน้ำ เหนียวและไม่ขาดง่าย แต่ข้าวที่เก็บนานเกินไปก็ไม่เหมาะในการผลิตเส้นก้วยเตี่ยวเพราะได้เส้นก้วยเตี่ยวแข็งและเปราะ ทำเป็นแผ่นได้ไม่ดี ข้าวสารหักที่นิยมใช้ในการทำก้วยเตี่ยว ได้แก่ ข้าวชนิดเมล็ดแข็งมีอะมิโลสสูงกว่า 28% แต่การใช้ข้าวเก่าทั้งหมดอาจจะทำให้เส้นก้วยเตี่ยวแข็งกระด้างเกินไป จึงมีการเจือปนข้าว

ใหม่บ้างเล็กน้อย หรืออาจจะมีการเจือปนแป้งชนิดอื่น เช่น แป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วนที่เหมาะสม ซึ่งแป้งมันสำปะหลังจะทำหน้าที่เป็นตัวประสานช่วยให้ทำเป็นแผ่นได้ดีขึ้น (พิมพ์เพ็ญ, 2533)

ข. น้ำ น้ำที่ใช้ผลิตก๋วยเตี๋ยวมีผลต่อการคูนน้ำของแป้งข้าวเจ้า และมีผลต่อความนุ่มเหนียวของก๋วยเตี๋ยว การใช้แป้งจากข้าวที่มีอายุการเก็บนานจะใช้น้ำมากกว่าข้าวชนิดอ่อนและทำผลิตภัณฑ์ได้มากกว่า (วิศา และคณะ, 2518) ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเตรียมน้ำแป้งยังขึ้นกับปริมาณความชื้นของแป้งที่ใช้ผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว หากใส่น้ำมาก เมื่อแป้งคูนน้ำได้เต็มที่แล้วจะมีน้ำเหลืออยู่เส้นก๋วยเตี๋ยวจะนุ่ม แต่ถ้าใส่น้ำน้อยเกินไป เม็ดสตาร์ชไม่แตกตัวเพราะคูนน้ำเข้าไปได้น้อย เส้นก๋วยเตี๋ยวไม่เหนียว ดังนั้นเพื่อให้สตาร์ชคูนน้ำได้เต็มที่เมื่อผสมน้ำแป้งต้องตั้งทิ้งไว้ประมาณครึ่งชั่วโมงจะทำให้เส้นก๋วยเตี๋ยวเหนียว (ณรงค์ และ อัญญณีย์, 2528)

ค. วัตถุกันเสีย กรดเบนโซอิกหรือโซเดียมเบนโซเอตเป็นวัตถุกันเสียที่ใช้ได้ผล โดยกรดเบนโซอิกช่วยชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย แต่ทำให้สีอาหารเปลี่ยนไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งแก้ไขโดยใช้ร่วมกับโซเดียมหรือโปตัสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ ซึ่งช่วยคงสีอาหาร นอกจากนี้ซัลเฟอร์ยังมีผลต่อสปอร์เชื้อราและแบคทีเรียมากกว่ายีสต์ ดังนั้นเมื่อใช้ร่วมกับโซเดียมเบนโซเอตซึ่งมีผลต่อยีสต์ดีกว่า จึงทำหน้าที่กันเสียได้ดี ปริมาณกรดเบนโซอิกหรือเกลือเบนโซเอตที่อนุญาตให้ใช้โดยทั่วไปไม่เกิน 0.1% โดยทั่วไปซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะหายไปกับไอน้ำได้ถึง 90% สำหรับปริมาณที่อนุญาตให้มีได้ในผลิตภัณฑ์สุดท้าย คือ น้อยกว่า 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม วัตถุกันเสียที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ก๋วยเตี๋ยวถึงสำเร็จรูป คือ โซเดียมเมตาไฮโดรเจนซัลไฟต์ หรือโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟต์ในปริมาณที่เหมาะสม (วิภา, 2541; มอก. 832, 2531)

2.3.2 วิธีการผลิต

ก. การทำความสะอาด เป็นการทำความสะอาดข้าวเจ้าที่อ่อน ซึ่งอาจมีสิ่งเจือปนมาด้วย เช่น ทราย เศษผงต่างๆ เป็นต้น

ข. การล้างและแช่ การล้างต้องขัดสีข้าวให้ขาว ปราศจากเศษรำที่ติดอยู่ โดยล้างด้วยน้ำซึ่งอาจมีอุปกรณ์ช่วยกวนให้ดำหนึบลอยขึ้นมาแล้วเก็บทิ้ง ล้างจนข้าวสะอาดหรือน้ำล้างที่ล้างข้าวใส จากนั้นแช่น้ำไว้ให้ข้าวอ่อนตัวเพื่อให้ไม่ง่ายขึ้น (พิมพ์เพ็ญ, 2533) เมล็ดข้าวที่ล้างต้องสะอาดจริงๆ เมื่อนำไปเข้ากรรมวิธีจะได้เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ขาวสะอาด เส้นไม่เปื่อยยุ่ย และไม่ขาดง่าย

ค. การม่ ข้าวที่ล้างและผ่านการแช่น้ำ 1-2 ชั่วโมง จะพองตัวและนุ่ม ทำให้ไม่ง่ายขึ้น ถ้าข้าวแข็งมากอาจจะต้องแช่นานขึ้น โรงงานโดยทั่วไปไม่ด้วยเครื่องม่หินที่หมุนด้วยพลังมอเตอร์ไฟฟ้า (พิมพ์เพ็ญ, 2533) การม่ทำให้เม็ดสตาร์ชและองค์ประกอบอื่นๆ หลุด และแตกออกจากกัน

ซึ่งมีผลทำให้เซลล์ที่ห่อหุ้มเมล็ดสลายตัว ขณะบดข้าวต้องเติมน้ำเพื่อให้อุณหภูมิขณะโม่ไม่สูงเกินไป แป้งที่ได้จะมีคุณภาพดี แต่ปริมาณน้ำที่เติมต้องมีความเหมาะสม ส่วนผสมของน้ำกับแป้งมีความสัมพันธ์กับความเหนียวของก๋วยเตี๋ยว โดยทั่วไปใช้สัดส่วนของข้าวต่อน้ำประมาณ 2 : 1 (อรพรรณ, 2547) การโม่ข้าวที่ใช้ผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวจะต้องโม่ให้ละเอียด เพื่อให้เส้นก๋วยเตี๋ยวมีความเหนียวตรงกับความต้องการของผู้บริโภค

ง. การผสมน้ำแป้ง นำน้ำแป้งจากข้าวชนิดต่างๆ ที่โม่แล้วมาผสมกัน (ในกรณีที่ใช้ข้าวเจ้าต่างกันหรือการใช้แป้งอื่น) สัดส่วนที่ผสมกันนี้ไม่กำหนดตายตัว แล้วแต่ความเหมาะสมของข้าวแต่ละชนิดที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบ ข้าวยิ่งเก่ามากและมีอะมิโลสสูงต้องใช้น้ำเพื่อให้แป้งสุกมากกว่าข้าวใหม่และอะมิโลสต่ำกว่า ปริมาณน้ำแป้งยังขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ด้วย น้ำแป้งในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวสดควรมีปริมาณของแข็ง 38-40% โดยน้ำหนักแห้งหรือประมาณ 16 โบเม (Baumé) (วัดที่ 28 °C) สำหรับการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวอบแห้ง ความเข้มข้นของน้ำแป้งมักสูงกว่าก๋วยเตี๋ยวเส้นสด และมีค่าประมาณ 20 โบเม (วัดที่ 28 °C) น้ำแป้งจะต้องมีความหนืดและแรงตึงผิวที่เหมาะสม จึงจะให้น้ำแป้งติดกับลูกกลิ้งด้วยความหนาที่พอดี ขณะป้อนน้ำแป้งลงบนสายพานเพื่อเข้าอุโมงค์นึ่ง (อรพรรณ, 2547) การปรับความเข้มข้นของน้ำแป้งสามารถคำนวณจากน้ำหนักของน้ำแป้งดังนี้

$$\text{น้ำหนักของน้ำแป้ง (กก.)} = \frac{\text{น้ำหนักของข้าว (กก.)} \times [100 - \text{ความชื้นของข้าว (ร้อยละ)}]}{[100 - \text{ความชื้นของน้ำแป้งที่ต้องการทำก๋วยเตี๋ยว (ร้อยละ)}]} \quad \text{--- 1}$$

จ. การนึ่ง น้ำแป้งที่ได้จะพักไว้ระยะหนึ่งเพื่อให้แป้งคูดน้ำได้เต็มที่ ในปัจจุบันโรงงานผลิตก๋วยเตี๋ยวส่วนมากจะนิยมนึ่งโดยใช้เครื่องจักรซึ่งมีลักษณะเป็นอุโมงค์ไอน้ำ โดยเครื่องนึ่งจะมีเครื่องคูดน้ำแป้งขึ้นบนถังและภายในถังจะมีเครื่องกววไม่ให้แป้งตกตะกอน แล้วเปิดท่อปล่อยให้น้ำแป้งไหลลงให้ติดลูกกลิ้ง นำไปปาดลงบนสายพานลำเลียงที่ทำด้วยเหล็กสแตนเลสหรือแผ่นผ้าใบ แล้วจึงเคลื่อนเข้าอุโมงค์นึ่ง ภายในอุโมงค์นึ่งจะมีความร้อนจากไอน้ำทำให้แผ่นก๋วยเตี๋ยวสุกได้ เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ได้จากการนึ่งบนสายพานจะมีลักษณะอมน้ำ เปื่อยยุ่ย การใช้สายพานสแตนเลส จะมีความเหมาะสมกว่า ซึ่งโรงงานส่วนใหญ่ในปัจจุบันได้ใช้กันอยู่ (อรอนงค์, 2542) อีกวิธีคือการนึ่งแบบวิธีพื้นบ้าน โดยทำคล้ายกับการทำข้าวเกรียบปากหม้อ โดยการใช้ผ้าขาวบางขึงบนกระทะที่คั่นน้ำเดือด แล้วคั่นน้ำแป้งเทบนผ้าขาวบางละเลงให้มีความหนาพอเหมาะ นึ่งประมาณ 1 นาที ใช้ไม้แซะ ยกแผ่นก๋วยเตี๋ยวสุกพาดบนที่ตากที่ทำด้วยไม้ไผ่สาน นำไปตากแดดประมาณ 4-5 ชั่วโมง (อรอนงค์, 2542)

ฉ. การตัดเส้นกล้วยเตี๋ย เมื่อสายพานแผ่นกล้วยเตี๋ยถูกเคลื่อนออกจากอุโมงค์ไอน้ำ แผ่นกล้วยเตี๋ยจะเคลื่อนไปตามสายพานอีก โดยมีพัดลมคอยเป่าเป็นระยะๆ ให้แห้ง จนถึงจุดตัดตรงจุดนี้จะมีช่องให้น้ำมันพืชหยดสัมผัสกับแผ่นกล้วยเตี๋ย เพื่อให้แผ่นกล้วยเตี๋ยไม่ติดกัน เมื่อช้อนกันหลังจากที่ทำการตัด วิธีการตัดจะแตกต่างกันไปตามชนิดของกล้วยเตี๋ย

กล้วยเตี๋ยสด เป็นกล้วยเตี๋ยที่ได้จากการนำแผ่นกล้วยเตี๋ยมาตัดเป็นเส้นโดยไม่ผ่านการทำให้แห้ง มีความชื้นประมาณ 62-64% กล้วยเตี๋ยสดรอการจำหน่ายภายใน 1 วัน เพราะมีระยะเวลาการเก็บได้ไม่นาน (อรพรรณ, 2547)

กล้วยเตี๋ยกึ่งแห้ง จะทำการอบแห้งแผ่นกล้วยเตี๋ยที่ออกจากอุโมงค์ไอน้ำ ซึ่งเครื่องอบแห้งมีลักษณะยาวเหมือนอุโมงค์ โดยสายพานจะพาแผ่นกล้วยเตี๋ยเคลื่อนที่ไปเป็นชั้นๆ ภายในอุโมงค์เครื่องอบ เมื่อแผ่นกล้วยเตี๋ยมีลักษณะกึ่งแห้ง แล้วจึงนำแผ่นกล้วยเตี๋ยแขวนผึ่งบนราวไม้ โดยมีพัดลมเป่า กล้วยเตี๋ยประเภทนี้สามารถเก็บได้ประมาณ 2-3 วัน มีความชื้นประมาณ 37% (อรพรรณ, 2547)

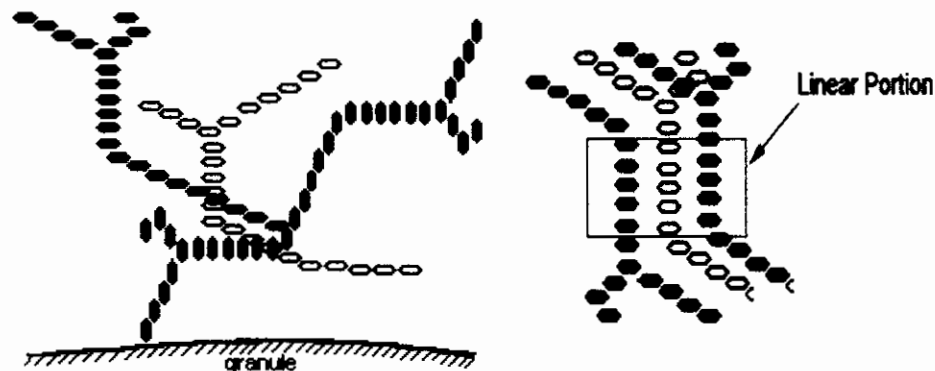
กล้วยเตี๋ยแห้ง เป็นกล้วยเตี๋ยที่มีการตัดเป็นเส้นและทำให้แห้งจนมีความชื้นไม่เกิน 13% ทำให้สามารถเก็บรักษาได้นานในสภาวะที่เหมาะสม (อรพรรณ, 2547)

แผ่นกล้วยจ๊อบ เป็นกล้วยเตี๋ยที่นึ่งให้สุกเพียงครึ่งเดียวของความหนาแล้วตัดให้มีขนาด 0.3-0.5 เซนติเมตร มักเป็นรูปสามเหลี่ยม โดยมีความชื้นประมาณ 12% เมื่อนำมาคั่วสุกจะม้วน (อรพรรณ, 2547)

การทำให้เส้นกล้วยเตี๋ยแห้งนั้นสามารถทำได้หลายวิธี จากการศึกษาของ Siegel (1974) พบว่าโรงงานผลิตกล้วยเตี๋ย จะตากแห้งโดยการนำไปผึ่งแดดประมาณ 4-5 ชั่วโมง มีความชื้นเหลืออยู่ 14% ส่วนการศึกษาของเสนอ (2522) พบว่าเส้นกล้วยเตี๋ยที่ตากแดดอุณหภูมิเฉลี่ย 45°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จะมีความชื้นเหลืออยู่ 11.2 - 12.5% ในการตากกล้วยเตี๋ยเส้นเล็กจากแป้งข้าวเจ้าโดยใช้ตู้อบแสงอาทิตย์ อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวัน 49°C จะเหลือความชื้น 11.75% นอกจากนี้ยังมีการตากด้วยตู้อบแห้ง ซึ่งการผลิตกล้วยเตี๋ยของ Siegel (1974) ได้ใช้อุณหภูมิ $45-50^{\circ}\text{C}$ ใช้เวลา 4-5 ชั่วโมง จะมีความชื้นเหลืออยู่ 8.5-10.8% โรงงานผลิตกล้วยเตี๋ยในปัจจุบันนิยมใช้การอบแห้งด้วยตู้อบ โดยใช้อุณหภูมิ 50°C หากใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไป ผิวของเส้นจะแห้งแตก เมื่อทำให้คั่วเส้นจะไม่เหนียว (นัทญา , 2530)

2.4 การเกิดรีโทรกราเดชัน

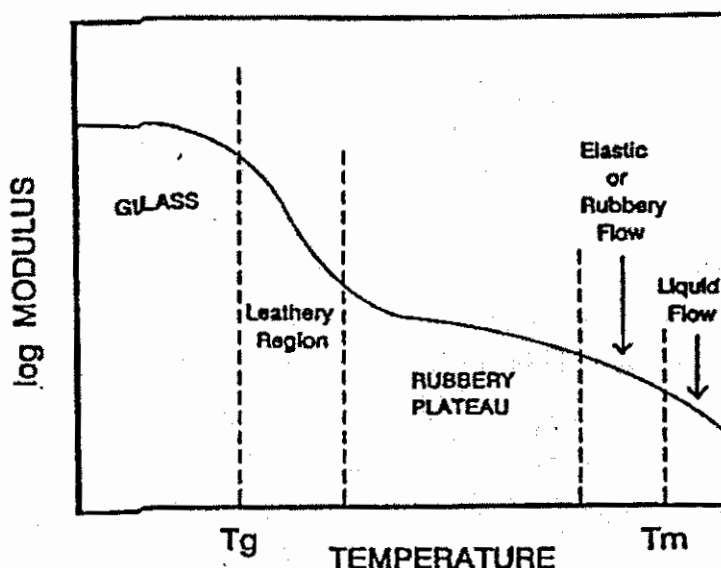
เมื่อสตาร์ชได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เริ่มเกิดเจลาติไนเซชันแล้ว ให้ความร้อนต่อไปจะทำให้เม็ดสตาร์ชพองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่และแตกออก เมื่อโมเลกุลอะมิโลสหลุดออกจากแกรนูล (granule) กระจัดกระจายออกมาทำให้ความหนืดลดลง เมื่อปล่อยให้เย็นตัว โมเลกุลอะมิโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจับเรียงตัวใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล น้ำจะถูกดึงออกและเกิดผลึก เกิดเป็นร่างแหสามมิติที่มีโครงสร้างใหม่ที่สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก มีความหนืดคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเจลเหนียว คล้ายฟิล์มหรือผลึก เรียกปรากฏการณ์นี้ว่าการเกิดรีโทรกราเดชัน (รูปที่ 4) เมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงไปอีก ลักษณะการเรียงตัวของโครงสร้างจะแน่นมากขึ้น โมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกมาจนออกเจล เรียกว่า ซินเนอเรซิส (syneresis) ซึ่งจะทำให้เจลมีลักษณะขาวขุ่นและมีความหนืดเพิ่มขึ้น (กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล, 2546)



รูปที่ 4 การเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ช (เส้นสีน้ำเงิน เหลือง และแดง แทนโมเลกุลอะมิโลส)
ที่มา : Faculty of Agricultural Science, UBC (2007)

นอกจากนี้ยังพบว่า การเกิดรีโทรกราเดชัน ทำให้พันธะไฮโดรเจนระหว่างอะมิโลสและอะมิโลเพคตินของสตาร์ชเปลี่ยนแปลง จะเกิดพันธะไฮโดรเจนในสารละลายสตาร์ช โดยเกิดระหว่างออกซิเจนอะตอมที่ 6 ของอะมิโลสและหมู่ไฮดรอกซิลตำแหน่งที่ 2 ของอะมิโลเพคตินหรืออาจเกิดขึ้นระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลตำแหน่งที่ 2 ของอะมิโลสกับ โมเลกุลอื่นหรืออาจเกิดกับออกซิเจนตำแหน่งที่ 6 ของอะมิโลเพคตินสายสั้น (Tako และ Hizukuri, 2002) การเกิดรีโทรกราเดชันทำให้สตาร์ชเกิดผลึก ซึ่งสามารถอธิบายขั้นตอนในการเกิดผลึกได้ คือ ในขั้นตอนแรกเกิดนิวเคลียส (nucleation) เป็นขั้นตอนการเกิดอนุภาคใหม่ของผลึก โดยโมเลกุลสตาร์ชเริ่มจับตัวกันเป็นนิวเคลียส (nuclei) อุณหภูมิการเกิดผลึกนิวเคลียสของการเกิดรีโทรกราเดชันของอะมิโลเพคติน

อยู่ในช่วงอุณหภูมิ -5°C ถึงอุณหภูมิประมาณ 60°C ส่วนอุณหภูมิการเกิดนิวเคลียสของผลึกอะมิโลส อยู่ในช่วง -5°C ถึง อุณหภูมิประมาณ 150°C (Silverio และคณะ, 2000) ขั้นตอนที่ 2 เป็นขั้นตอนการเจริญของผลึก มีการเติบโตเพิ่มจำนวนและเพิ่มขนาดของผลึก ช่วงอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการเติบโตของผลึกเป็นช่วงอุณหภูมิเดียวกันกับการเกิดนิวเคลียสของผลึก คือในช่วงที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (glasstransition temperature, T_g) T_g เป็นอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกลของสสารเป็นของแข็งที่มีความหนืดสูงมากคล้ายแก้ว ทำให้โมเลกุลไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ แต่ผลึกจะเติบโตที่อุณหภูมิสูงกว่า T_g ถึงอุณหภูมิการหลอมเหลว (T_m) เนื่องจากเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงกว่า T_g สสารจะเปลี่ยนสภาพเป็นของแข็งที่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ง่ายขึ้น แต่ยังไม่สามารถไหลได้เหมือนของเหลว มีลักษณะเหนียวคล้ายยาง และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของสสารสูงกว่า T_m สสารจะมีคุณสมบัติคล้ายกับของเหลวคือไหลได้ (แสดงดังรูปที่ 5) เนื่องจากโครงสร้างของสสารมีความแข็งแรงลดลงเพราะแรงยึดเกาะภายในของอาหารลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ ทำให้อาหารเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ง่าย ดังนั้นจึงเป็นอุณหภูมิที่ทำให้เกิดผลึกภายในสตรัคเจอร์ได้ ส่วนในขั้นตอนสุดท้ายเป็นการเจริญเต็มที่ของผลึก ทำให้ผลึกมีความสมบูรณ์และยังคงเพิ่มขนาดต่อไป (Slade และ Levine, 1991; Eerlingen และคณะ, 1993)



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ของค่ามอดุลัส (modulus) กับอุณหภูมิ T_g และ T_m

ที่มา : Slade และ Levine, 1991

2.4.1 ผลของการเกิดรีโทรกราเดชัน (ฉรงค์, 2528)

- ก. ทำให้เจลสลายตัวได้น้อยลง โดยเจลที่ตั้งทิ้งไว้จนเกิดรีโทรกราเดชันจะสลายตัวได้ยากเมื่อสัมผัสกับกรดหรือเอนไซม์
- ข. ทำให้เจลขุ่น เมื่อเจลเกิดรีโทรกราเดชันจะเกิดผลึกขึ้นมากมาย ผลึกที่เกิดขึ้นนี้มีขนาดต่างๆ กัน ขึ้นอยู่กับชนิดของสตาร์ซ สตาร์ซที่ทำให้เกิดผลึกใหญ่กว่า 250 นาโนเมตร คลื่นแสงจะผ่านไม่ได้และสะท้อนออกมา เจลที่ได้จึงมีลักษณะขุ่น แต่ถ้าผลึกนั้นมีขนาดเล็กกว่า 250 นาโนเมตร แสงจะผ่านได้ เจลที่ได้จึงมีลักษณะใส
- ค. ทำให้เจลไม่ทำปฏิกิริยากับไอโอดีน การเกิดสีน้ำเงินของเจลเกิดจากไอโอดีนเข้าไปอยู่ในเกลียวของอะมิโลส ในขณะที่เกิดรีโทรกราเดชัน โมเลกุลของอะมิโลสสลายตัวออกเป็นเส้นตรง ทำให้ไม่สามารถจับกับไอโอดีนได้อีกต่อไป
- ง. ทำให้เจลละลายน้ำได้น้อยลง เจลที่เกิดรีโทรกราเดชันจะละลายน้ำเย็นได้น้อยลง แต่ยังคงละลายได้ดีในโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโพตัสเซียมไฮดรอกไซด์ นอกจากนี้ยังพบว่า สตาร์ซแต่ละชนิดมีการเกิดรีโทรกราเดชันในอัตราเร็วต่างๆ กัน สตาร์ซจากธัญชาติเกิดรีโทรกราเดชันได้เร็วกว่าสตาร์ซจากพืชหัว เนื่องจากสตาร์ซจากธัญชาติโดยปกติมีอะมิโลสสูงและกระจายตัวในน้ำได้น้อย ส่วนสตาร์ซที่ได้จากข้าวโพดเหนียว ซึ่งมีอะมิโลเพคตินทั้งหมดจะเกิดรีโทรกราเดชันได้ช้ามาก เนื่องจากมีโมเลกุลที่เกาะก่อกำแพงการเกิดรีโทรกราเดชัน (Swinkels, 1985)

2.4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดรีโทรกราเดชัน

- ก. ขนาดของโมเลกุล อะมิโลสจากแหล่งต่างๆ เกิดรีโทรกราเดชันในอัตราความเร็วที่แตกต่างกันมาก การเกิดรีโทรกราเดชันจะเกิดเร็วถ้าโมเลกุลมีขนาดปานกลาง ส่วนโมเลกุลขนาดใหญ่มักจะเคลื่อนที่ช้า จึงรวมตัวได้ช้ากว่าโมเลกุลขนาดปานกลาง ส่วนโมเลกุลขนาดเล็กมีการเคลื่อนไหวอยู่เสมอจึงไม่รวมตัวกัน Chang และ Lui (1991) ศึกษาผลของปริมาณอะมิโลสและปริมาณอะมิโลเพคตินต่อการเกิดรีโทรกราเดชัน โดยศึกษาในสตาร์ซข้าวที่มีอะมิโลสสูง (25-33%) ต่ำ (9-20%) และข้าวเหนียว (1-2%) เก็บรักษาเจลสตาร์ซเป็นเวลา 5 วัน พบว่าสตาร์ซข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสสูงเกิดรีโทรกราเดชันได้มากเช่นเดียวกับการทดลองของ Gudmundsson (1994) พบว่าอะมิโลสสามารถทำให้อะมิโลเพคตินเกิดรีโทรกราเดชันได้มากขึ้น เนื่องจากอะมิโลสทำหน้าที่เป็นนิวเคลียสสามารถจับอะมิโลเพคตินเกิดเป็น co-crystallite สอดคล้องกับการทดลองของ Vandeputte และคณะ (2003) พบว่าในสตาร์ซข้าวสาลีที่มีปริมาณอะมิโลสเพิ่มสูงขึ้นเกิดรีโทรกราเดชันได้มากขึ้น เนื่องจากโมเลกุลอะมิโลสมีโครงสร้างเป็นเส้นตรงสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลได้ง่ายและเร็ว ส่วนโมเลกุลอะมิโลเพคตินมีลักษณะเป็นกิ่งก้านจึงเป็นอุปสรรคต่อ

การรวมตัว แต่ในสถานะที่มีความเข้มข้นสูงหรืออยู่ในอุณหภูมิเยือกแข็ง บางส่วนของกิ่งก้านโมเลกุลอะมิโลเพคตินสามารถเกิดรีโทรกราเดชันได้ โดยมีความยาวของกิ่งก้านของกลูโคส 20-30 หน่วยกลูโคส นอกจากนี้ยังพบว่าสตาร์ชที่มีโมเลกุลอะมิโลเพคตินสายยาวปริมาณมากสามารถเกิดรีโทรกราเดชันได้ดีและมีอุณหภูมิสลายผลึก รีโทรกราเดชันสูง โดยมีการศึกษาในสตาร์ชข้าวพบว่าโมเลกุลอะมิโลเพคตินสายยาวทำให้เกิดรีโทรกราเดชันได้มากและทำให้อุณหภูมิในการสลายผลึกเพิ่มสูงขึ้น (Vandeputte และคณะ, 2003) นอกจากนี้ยังพบว่าในสตาร์ชข้าวสาลีที่มีโมเลกุลอะมิโลเพคตินสายยาวมากต้องใช้พลังงานในการสลายผลึกสูง เนื่องจากโมเลกุลสายยาวสามารถพันกันเป็นผลึกที่มีความเสถียรและมีความเป็นผลึกมากกว่า แต่เมื่อสตาร์ชมีโมเลกุลอะมิโลเพคตินสายสั้นเพิ่มขึ้นอัตราการเกิดรีโทรกราเดชันลดลง (Sasaki และ Matsuki, 1998)

ข. อุณหภูมิ การเกิดรีโทรกราเดชันจะเกิดขึ้นเร็วที่อุณหภูมิต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิต่ำทำให้อะมิโลสขนาดเล็กเคลื่อนที่ได้ช้าลง อะมิโลสจึงจับตัวกันเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ได้ดีขึ้น และที่อุณหภูมิต่ำเหมาะสมต่อการเกิดผลึกของอะมิโลเพคติน Lopez และ Perez (1994) ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการเกิดรีโทรกราเดชันเมื่อเก็บเจลสตาร์ชข้าวโพดที่อุณหภูมิ 4°C โมเลกุลของเจลสตาร์ชจะเกิดรีโทรกราเดชันได้มากกว่าเก็บที่อุณหภูมิ 25°C ในเจลสตาร์ชที่มีปริมาณน้ำ 45-50% เก็บที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิ T_g ($T_g = -5^{\circ}\text{C}$) พบว่าการเกิดรีโทรกราเดชันจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากโมเลกุลของเจลสตาร์ชไม่เสถียรมีการเคลื่อนที่ตลอดเวลา ทำให้โมเลกุลของอะมิโลสเคลื่อนที่ใกล้กันและเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลและเกิดผลึกมากขึ้น โดยเฉพาะในวันแรกของการเก็บรักษา อัตราการเกิดนิวคลีเอชันและการเจริญของผลึกจะเพิ่มขึ้นเป็นกำลังสองขึ้นกับอุณหภูมิเก็บรักษา ส่วนการเก็บที่อุณหภูมิแช่เยือกแข็งซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิ T_g จะยับยั้งการตกผลึกและการเก็บเจลสตาร์ชที่อุณหภูมิสูง ($32 - 40^{\circ}\text{C}$) มีประสิทธิภาพลดการเกิดรีโทรกราเดชัน (Eliasson และ Gudmundsson, 1996) สอดคล้องกับการทดลองของ Bailk และคณะ (1997) พบว่าการเปลี่ยนแปลงการเกิดผลึกของเจลสตาร์ชข้าวเจ้าและเจลสตาร์ชข้าวเหนียวระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิต่างกันที่ $-20, -12, 0, 4, 20$ และ 30°C พบว่าทั้งเจลสตาร์ชข้าวเจ้าและเจลสตาร์ชข้าวเหนียวเกิดผลึกมากที่สุดที่อุณหภูมิ 4°C และเกิดผลึกน้อยที่สุดที่อุณหภูมิต่ำกว่า -20°C และสูงกว่า 30°C ดังนั้นที่อุณหภูมิ 4°C เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเกิดรีโทรกราเดชัน

ค. ความเข้มข้นของน้ำแป้ง เจลสตาร์ชที่มีความเข้มข้น 10-80% สามารถเกิดรีโทรกราเดชันได้และเกิดรีโทรกราเดชันได้มากที่สุดเมื่อเจลสตาร์ชมีความเข้มข้น 50-55% (Gudmundson, 1994) Chang และ Lui (1991) พบว่าน้ำแป้งที่มีความเข้มข้นสตาร์ชข้าว 50% เกิดรีโทรกราเดชันสูงที่สุด น้ำแป้งที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า 10% หรือสูงกว่า 80% เกิดรีโทรกราเดชันได้น้อยมาก เนื่องจากเจลสตาร์ชที่มีปริมาณน้ำต่ำอยู่ในสถานะคล้ายแก้ว ทำให้การรวมตัวของโมเลกุล

เกิดขึ้นได้น้อย เมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น การเกิดรีโทรกราเดชันจะเพิ่มขึ้นจนถึงระดับที่ทำให้เกิดรีโทรกราเดชันได้มากที่สุด คือ มีปริมาณน้ำอยู่ในช่วง 45-50% แต่เมื่อปริมาณน้ำมากเกินไปโมเลกุลอยู่ในระบบที่เจือจางจึงเกิดรีโทรกราเดชันได้น้อยลง นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเจลมีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นทำให้อุณหภูมิเริ่มสลายผลึก (To) สูงขึ้น เนื่องจากปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้น ทำให้โมเลกุลสตาร์สามารถเคลื่อนที่ได้ดีผลึกที่เกิดขึ้นมีความสมบูรณ์เพิ่มขึ้น (Shi และ Seib, 1995)

ง. กรดหรือด่าง อัตราการเกิดรีโทรกราเดชันจะสูงขึ้นในช่วง pH 5-7 และไม่พบการเกิดรีโทรกราเดชันที่ pH ต่ำกว่า 2 หรือสูงกว่า 10 อัตราการเกิดรีโทรกราเดชันสูงที่สุดที่ pH 6.5 (คำรบ, 2546)

จ. สารอินทรีย์ สารอินทรีย์บางชนิดมีผลต่อการเกิดรีโทรกราเดชันมาก ซึ่งอาจทำให้เกิดรีโทรกราเดชันเร็วหรือช้าลงก็ได้ สารอินทรีย์ที่ทำให้เม็ดแป้งพองตัวได้ง่ายจะป้องกันการเกิดรีโทรกราเดชันได้ดี ในทางตรงกันข้ามสารอินทรีย์ที่ป้องกันการพองตัวของเม็ดแป้ง จะช่วยให้เกิดรีโทรกราเดชันได้เร็วขึ้น เช่น น้ำตาลซูโครสจะเพิ่มอัตราการเกิดรีโทรกราเดชัน เนื่องจากน้ำตาลทำให้สตาร์มีความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง เพราะน้ำตาลไปขัดขวางการจับน้ำของเม็ดสตาร์ชโดยไปแย่งน้ำที่มีอยู่แทน (Chang และ Lui, 1991)

2.4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของเจล

อาหารหลายชนิดใช้แป้งในรูปของเจล ผู้ประกอบอาหารมักจะคำนึงถึงความหนืดและความอยู่ตัวเป็นสำคัญ แต่ในรูปของเหลวจะคำนึงถึงความเหนียวและความใส หลักการที่จะให้เจลมีคุณภาพที่ต้องการนั้น ผู้ประกอบอาหารจะต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายประการ ปัจจัยเหล่านี้ประกอบด้วย ความเข้มข้นของแป้ง อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ประกอบอาหาร ปริมาณเม็ดสตาร์ชที่แตกตัว น้ำมัน ไขมัน และสาร surfactants

ก. ความเข้มข้นของน้ำแป้ง น้ำแป้งสุกที่มีความเข้มข้นต่ำ มีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลอะมิโลสเกิดลักษณะตะกอนขุ่นขาว แต่ถ้าน้ำแป้งสุกมีความเข้มข้นสูง จำนวน โมเลกุลอะมิโลสที่มามีการจัดเรียงตัวกันใหม่มีมากและระหว่างการเคลื่อนที่เข้ามาจับกันสามารถเก็บกักน้ำไว้ได้ ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น และในที่สุดเกิดลักษณะเจลที่อ่อนนุ่ม (Collison, 1968) ความเข้มข้นของน้ำแป้งขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์ ในการผลิตก๋วยเตี๋ยวปริมาณน้ำจะเป็นตัวควบคุมความแข็งของก๋วยเตี๋ยว ถ้าใช้น้ำน้อยเกินไปจะได้เส้นก๋วยเตี๋ยวที่แข็ง แต่ถ้าใช้น้ำมากเกินไปจะได้เส้นก๋วยเตี๋ยวที่นิ่มและขาดง่าย โดยทั่วไปความเข้มข้นของน้ำแป้งในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวสดมีปริมาณของแข็ง 38-40% โดยน้ำหนักแห้ง (วิภา, 2541)

ข. ชนิดของแป้ง เม็ดสตาร์ชที่ได้จากแหล่งต่างๆ มีโครงสร้างและอัตราส่วนของอะมิโลสต่ออะมิโลเพกตินแตกต่างกันมาก ปัจจัยทั้งสองนี้มีผลต่อคุณสมบัติของเจลมาก

โครงสร้างของเม็ดสตาร์ช การวิเคราะห์โครงสร้างของเม็ดสตาร์ชโดยใช้เทคนิค X-ray scattering เม็ดสตาร์ชมีลักษณะโครงสร้างผลึก 3 แบบขึ้นอยู่กับลักษณะในการจัดเรียงตัวของเกลียวคู่ ถ้ามีการเรียงตัวหนาแน่นมากและมีปริมาณน้ำต่ำ จะจัดเป็นผลึกแบบ A เช่น สตาร์ชจากธัญชาติต่างๆ เม็ดสตาร์ชจะแตกตัวได้ยาก โดยปกติเม็ดสตาร์ชชนิดนี้จะให้เจลที่มีความหนืดต่ำ และได้เจลที่มีความเหนียวไม่มาก เมื่อต้องการให้เจลมีความหนืดมากขึ้น หรือให้เจลที่เหนียวมากขึ้น จะต้องพยายามทำให้เม็ดสตาร์ชสุกและแตกมากขึ้น ซึ่งจะต้องใช้อุณหภูมิสูงและเวลานาน ถ้ามีการเรียงตัวกันหลวมๆ และมีปริมาณน้ำสูงจะจัดเป็นผลึกแบบ B เช่น สตาร์ชจากพืชหัว การคูดน้ำจะเป็นไปอย่างรวดเร็ว เม็ดสตาร์ชสุกและแตกตัวง่ายให้เจลที่มีความหนืดสูง แต่เจลที่ได้ค่อนข้างนุ่มไม่เหนียวมากนัก ถ้ามีการเรียงตัวของผลึกทั้งแบบ A และ B รวมกันจัดเป็นผลึกแบบ C เช่น สตาร์ชจากพืชตระกูลถั่ว กำลังการพองตัวและการละลายมีค่าสูงกว่าสตาร์ชจากธัญชาติ เนื่องจากมีจำนวนพันธะน้อยกว่า จะเกิดเจลาคติไนซ์ที่อุณหภูมิต่ำกว่าสตาร์ชจากธัญชาติ (กล้านรงค์ และ เกื้อกูล, 2546; Oates, 1996)

อัตราส่วนของอะมิโลสต่ออะมิโลเพกติน อัตราส่วนของอะมิโลสต่ออะมิโลเพกตินมีผลต่อคุณภาพของเจลมาก ข้าวที่มีอะมิโลสสูงจะคูดน้ำและขยายปริมาตรระหว่างการหุงต้มได้มากกว่าข้าวที่มีอะมิโลสต่ำ ส่วนความนุ่มและความเหนียวของข้าวสุกจะขึ้นกับสัดส่วนของอะมิโลเพกติน ข้าวเหนียวมีปริมาณอะมิโลเพกตินสูง จะคูดน้ำและขยายตัวได้น้อยกว่าข้าวเจ้า เมื่อหุงสุกจะมีความเหนียวและนุ่มกว่าข้าวเจ้า (Juliano, 1968) ข้าวที่เหมาะสมสำหรับการทำก๋วยเตี๋ยวจะมีปริมาณอะมิโลส 27-33% เนื่องจากข้าวที่มีอะมิโลสสูง การขยายตัวของสตาร์ชเป็นไปอย่างมั่นคง แข็งแรง ไม่ยุบตัวง่าย สามารถทนการแตกสลายของเม็ดสตาร์ชที่อุณหภูมิสูงได้มากกว่า สามารถทำเป็นแผ่นได้ดี (เสนอ, 2522; Juliano, 1974)

ค. อุณหภูมิและเวลา น้ำแป้งเมื่อให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลาคติไนซ์ อุณหภูมิการเกิดเจลาคติไนซ์มีผลกับระยะเวลาแป้งสุก แป้งที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำจะสุกเร็วกว่าแป้งที่มีอุณหภูมิแป้งสุกสูง (งามชื่น, 2536)

ง. ปริมาณเม็ดสตาร์ชที่แตกตัว การทำให้เม็ดสตาร์ชแตกตัวได้จากการ โม่ การขัดสี เม็ดสตาร์ชที่แตกตัวมีผลต่อคุณลักษณะของแป้ง โดยจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ทำให้อัตราการคูดซึมน้ำเปลี่ยนแปลง สามารถจับกับน้ำได้ดีขึ้นและสามารถถูกไฮโดรไลซ์ด้วย α -amylase ได้ง่าย (งามชื่น, 2536)

จ. โปรตีน ปริมาณโปรตีนมีผลต่อคุณภาพข้าวสุก ข้าวสุกที่มีปริมาณโปรตีนสูงจะมีลักษณะแข็งกระด้าง สึกล้ากว่าข้าวสุกที่มีปริมาณโปรตีนต่ำ ในผลิตภัณฑ์อาหารเส้น โปรตีนจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำและความเหนียวของเส้นลดลง (งามชื่น, 2536)

ฉ. น้ำมันและไขมัน ไขมันในแป้งมีผลต่อคุณสมบัติของแป้ง เนื่องจากไขมันจะเกิดการรวมตัวกับอะมิโลสเกิดเป็นสารเชิงซ้อนของอะมิโลสกับไขมัน สารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นจะไม่ละลายน้ำแต่จะถูกทำลายเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงมากกว่า 120°C พันธะที่ยึดเหนี่ยวกันจะถูกทำลาย ทำให้ส่วนของอะมิโลสสามารถละลายออกมาได้ สารประกอบเชิงซ้อนของอะมิโลสกับไขมันจะมีผลทำให้ก่้างการพองตัวและค่าการละลายของแป้งลดลง (Davies และคณะ, 1980)

ช. pH โดยปกติ pH ของแป้งจะอยู่ระหว่าง 5.0-7.0 ถ้าทำให้เกิดเจลโดยให้ pH อยู่ระหว่างนี้จะไม่มีความหนืดมากนัก แต่ถ้ามีความเป็นกรดมากขึ้น ($\text{pH} < 3.5-4.0$) จะทำให้แป้งมีความหนืดลดลง เนื่องจากพันธะจะถูกทำลายมากขึ้น ทำให้เม็ดสตาร์ชแตกออกได้ง่าย การใช้อุณหภูมิสูงทำให้มีการทำลายพันธะมากขึ้น (Pomeranz, 1985)

ซ. สารsurfactants เป็นโมเลกุลที่มีขั้ว สามารถจับกับโมเลกุลของอะมิโลสเกิดสารประกอบเชิงซ้อนได้คล้ายกับโมเลกุลกรดไขมันธรรมชาติ surfactants จะช่วยลดการเกิดรีโทรกราเดชันได้ เนื่องจากเมื่อโมเลกุลของอะมิโลสละลายออกมามากขึ้นนอกเม็ดสตาร์ชจะจับกับ surfactants ทำให้ไม่สามารถจับกับโมเลกุลของอะมิโลสเพคตินได้ในขณะที่สตาร์ชเกิดรีโทรกราเดชัน จึงลดอัตราการจับเรียงตัวใหม่ของอะมิโลสกับอะมิโลเพคติน surfactants ที่ใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรม ได้แก่ α -monoglycerides, sodium stearyl-2-lactylate (SSL), calcium stearyl-2-lactylate (CSL), diacetyl tartaric acid ester of mono- and diglycerides (DATEM) (Knight, 1996)

2.4.4 การตรวจสอบการเกิดรีโทรกราเดชันของเจล (Karim และคณะ, 2000)

ก. การวัดด้วยวิธีทางวิทยากระแส (Rheometry) การวัดค่าวิทยากระแสแบ่งออกได้เป็นการวัดแบบทำลายโครงสร้างและการวัดแบบไม่ทำลายโครงสร้างหรือทำลายโครงสร้างเพียงเล็กน้อย การวัดแบบทำลายโครงสร้าง เช่น การวัดเนื้อสัมผัสโดยใช้ Texture Analyzer เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในการทดสอบการเกิดรีโทรกราเดชันของเจลสตาร์ช (Jankowski, 1992; Seow และ Thevamalar, 1988) โดยเป็นวิธีวัดทางกายภาพที่ใกล้เคียงกับความรู้สึกของมนุษย์ สามารถลอกเลียนแบบการเคี้ยวของมนุษย์โดยใช้แรงกดขึ้นอาหาร 2 ครั้ง จะได้กราฟระหว่างแรงกับเวลา พารามิเตอร์ที่ได้คือ hardness, fracturability, adhesiveness, springiness, cohesiveness, gumminess และ chewiness เป็นต้น และการวัดความหนืดของสตาร์ช เป็นการศึกษาการเกิดรีโทร-

กราเดชันของสสารจากพฤติกรรมการณ์เปลี่ยนแปลงความหนืด เช่น ใช้บราเบนเดอร์ อะมิโลวิสโคกราฟ (Brabender Amyloviscograph) และ Rapid Visco Analyzer (RVA) เป็นการติดตามความหนืดของสสารเมื่อมีการเพิ่มและลดอุณหภูมิ การวัดด้วย RVA แตกต่างจากการวัดด้วยบราเบนเดอร์ อะมิโลวิสโคกราฟ คือ RVA สามารถเปลี่ยนอุณหภูมิให้ความร้อนและเย็นได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว และสามารถหาลักษณะการเปลี่ยนแปลงความหนืดได้ภายในระยะเวลาสั้น การวัดความหนืดด้วยเครื่องบราเบนเดอร์ อะมิโลวิสโคกราฟ และ RVA ให้ผลที่ไม่แตกต่างกัน พารามิเตอร์ที่ได้จากการวัดความหนืด คือ peak viscosity เป็นค่าความหนืดสูงสุด peak time เป็นเวลาที่น้ำแป้งมีความหนืดสูงสุด paste stability หรือ breakdown เป็นค่าแสดงถึงความคงทนของเม็ดสสารก่อนถูกทำลาย ได้จากการเปรียบเทียบระหว่างค่าความหนืดสูงสุดกับค่าความหนืดต่ำสุด set back หรือ cold paste viscosity เป็นค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่างค่าความหนืดสูงสุดกับความหนืดสุดท้ายเมื่ออุณหภูมิลดลง บอกลักษณะแนวโน้มการเกิดรีโทรกราเดชันของสสาร

การวัดค่าวิทยากระแสนแบบทำลายโครงสร้างเพียงเล็กน้อย ใช้ในการศึกษาคุณสมบัติวิสโคอีลาสติก (viscoelastic) ของการเกิดเจลลิตในเซชันและการเกิดรีโทรกราเดชันของสสาร เช่น วิธี Dynamic oscillatory rheometry ใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างระหว่างการเกิดเจลของสสาร สามารถวัดตัวอย่างได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่ทำลายโครงสร้าง การวัดตัวอย่างด้วยวิธีนี้ สามารถวัดการเปลี่ยนแปลงของส่วนที่เป็นของแข็งและส่วนที่เป็นของเหลว ขณะที่มีการให้ความเค้นกับความเครียดได้อย่างต่อเนื่องตลอดช่วงเวลาที่ต้องการวัด พารามิเตอร์ที่ได้จากการวัด คือ storage modulus (G') และ loss modulus (G'') ค่า G' เป็นการวัดพลังงานที่ถูกเก็บในวัตถุ เป็นค่าที่แสดงถึงความยืดหยุ่นของตัวอย่างซึ่งแสดงถึงองค์ประกอบส่วนที่เป็นของแข็งในตัวอย่าง และค่า G'' เป็นการวัดพลังงานที่สลายหรือสูญเสียต่อ 1 รอบ sinusoidal deformation ดังนั้นค่า G'' แสดงถึงส่วนที่เป็นของเหลวของตัวอย่างหรือ viscous ส่วนพารามิเตอร์อื่นๆ ที่บ่งชี้พฤติกรรมทางกายภาพของระบบ ได้แก่ loss tangent ($\tan \delta = G''/G'$) เป็นอัตราส่วนของพลังงานที่สูญเสียต่อพลังงานที่ถูกเก็บสำหรับหนึ่งรอบของ deformation ค่า $\tan \delta$ บ่งชี้ความสัมพันธ์ขององค์ประกอบที่เป็น viscous และ elastic ในวัตถุที่มีคุณสมบัติวิสโคอีลาสติก (Karim และคณะ, 2000)

ข. X-ray diffraction วิธีนี้เป็นเทคนิคที่อาศัยหลักการการยิงของรังสีเอ็กซ์ที่ทราบความยาวคลื่นไปกระทบชิ้นงานและเกิดการเลี้ยวเบนของรังสีที่มุมต่างกัน โดยมีตัว detector เป็นตัวรับข้อมูล เนื่องจากสารประกอบและธาตุมีส่วนผสมหรือมีโครงสร้างต่างกันจะทำให้เกิดการเลี้ยวเบนที่มุมที่องศาต่างกัน ข้อมูลที่ได้รับจึงสามารถบ่งบอกชนิดของสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างและสามารถใช้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างของผลึกของสารตัวอย่างนั้นๆ ได้นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้ยังสามารถนำมาหาปริมาณคร่าวๆ ของปริมาณความเป็นผลึก ขนาดของผลึก

และความเค้นของสารประกอบในสารตัวอย่างได้อีกด้วย การหักเหของรังสีเอ็กซ์เมื่อรังสีเอ็กซ์กระทบบนผลึกทำให้อะตอมแตกและกระจายออกเป็นผลเนื่องมาจากการเร่งขึ้นและการหน่วงลงของอิเล็กตรอนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ โดยรังสีเอ็กซ์ที่ไปกระตุ้นจะมีความยาวคลื่นเดียวกับรังสีเอ็กซ์ที่ไปกระทบ เมื่อรวมกับความปรกติของรูปแบบของอะตอมในผลึกทำให้เกิดการหักเหในสามมิติ การหักเหหรือการรบกวนที่สร้างขึ้นเกิดขึ้นจากความแตกต่างในระยะทางเคลื่อนที่ โดยสองคลื่นหักเหที่เหมือนกันเป็นเลขจำนวนเต็มของความยาวคลื่น เพื่อให้ความยาวคลื่นทั้งสองอยู่ในเฟสเดียวกันกับเส้นแนวระดับแกนระนาบของอะตอม ซึ่งระยะระหว่างระนาบผลึกเป็น d และระยะทางที่แตกต่างกันทั้งหมดระหว่างรังสีทั้งสองเป็น $2d \sin \theta$ ดังนั้นจะได้สมการ (แม็นน, 2534):

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

----2

n คือ เลขจำนวนเต็มใด เช่น 1, 2, 3,...

λ คือ ค่าความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์

d คือ ระยะห่างระหว่างระนาบผลึก

θ คือ มุมตกกระทบของรังสีเอ็กซ์กับระนาบผลึก

การวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างผลึกของเม็ดสสารตามธรรมชาติมี 3 แบบขึ้นอยู่กับความหนาแน่นในการจัดเรียงตัวของพันธะเกลียวคู่ ถ้าเกิดการเรียงตัวหนาแน่นจะเกิดผลึกแบบ A ให้พีคที่ 17 และ 17.9° ที่ 2θ เช่น แป้งจากธัญชาติต่างๆ ถ้าจัดเรียงกันหลวมๆ จะเกิดผลึกแบบ B ให้พีคที่ 5.6 และ 17° ที่ 2θ แต่ไม่มีพีคที่ 17.9° ที่ 2θ เช่น แป้งจากพืชหัว ถ้าเกิดการเรียงตัวทั้งแบบ A และ B รวมกันจัดเป็นผลึกแบบ C จะมีพีคที่ 5.6 และ 17.9° ที่ 2θ เช่น แป้งจากพืชตระกูลถั่ว (กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2546) แป้งที่มีโครงสร้างผลึกต่างกันจะให้รูปแบบของการกระจายตัวของแสงและการหักเหรังสีเอ็กซ์ที่ต่างกัน และการนำแป้งธรรมชาติมาแปรรูปทำให้ผลึกมีลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไป เจลสสารจากธัญชาติที่มีไขมัน ไขมันจะรวมตัวกับส่วนอะมิโลสเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้ผลึกที่มีโครงสร้างแบบ V ให้พีคที่ 20° ที่ 2θ แต่เมื่อเจลสสารเปลี่ยนจากส่วนอสัณฐานไปเป็นผลึกมากขึ้น เป็นการเกิดรีโทรกราเดชันและให้ผลึกที่มีโครงสร้างแบบ B ความไวในการตรวจสอบผลึกด้วยเครื่อง X-ray diffraction มีค่าต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิค Nuclear magnetic resonance (NMR) และ Fourier transform infrared spectrophotometer (FTIR) (Karim และคณะ, 2000; Ribotta และคณะ, 2004)

ก. Thermal analysis เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์ตัวอย่างโดยการวัดการเปลี่ยนแปลงพลังงานเชิงความร้อนที่เกิดขึ้นเมื่อมีการลดหรือการเพิ่มอุณหภูมิตัวอย่าง เครื่องมือที่ใช้ทดสอบ เช่น

เครื่อง Differential Thermal Analysis (DTA) และ Differential Scanning Calorimeter (DSC) เทคนิคในเครื่อง DTA และ DSC คล้ายคลึงกันแต่แตกต่างกันที่แหล่งให้ความร้อนในตัวอย่างกับตัวอย่างอ้างอิง การวัดด้วย DTA แหล่งให้ความร้อนแก่ตัวอย่างกับตัวอย่างอ้างอิงมีอันเดียว แต่การวัดด้วย DSC แหล่งให้ความร้อนแก่ตัวอย่างกับตัวอย่างอ้างอิงแยกกันอย่างอิสระ โดยเทคนิคการวัดด้วยเครื่อง DSC พัฒนามาจาก DTA และมีการใช้อย่างกว้างขวาง

เทคนิคการวัดด้วย DSC เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงพลังงาน โดยอาศัยหลักการที่ว่า ทั้งตัวอย่างและตัวอย่างอ้างอิงจะต้องมีอุณหภูมิเดียวกันในกระบวนการให้ความร้อนหรือทำให้เย็นลงในอัตราเร็วที่กำหนด ปริมาณความร้อนจะไหลเข้าสู่ระบบเพื่อที่จะพยายามรักษาความแตกต่างของอุณหภูมิของตัวอย่างและตัวอย่างอ้างอิงให้เป็นศูนย์ ปริมาณความร้อนจะบันทึกเป็นฟังก์ชันกับเวลาหรืออุณหภูมิ ขดลวดความร้อนเป็นแหล่งพลังงานความร้อน ซึ่งทำหน้าที่เพิ่มอุณหภูมิตัวอย่างและตัวอย่างอ้างอิง เพื่อรักษาอุณหภูมิระหว่างตัวอย่างและตัวอย่างอ้างอิงให้เป็นศูนย์ สัญญาณที่เป็นสัดส่วนกับความแตกต่างของกำลังซึ่งป้อนให้กับตัวให้ความร้อนทั้งสอง จะบันทึกเป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิ ปริมาณความร้อนที่เกิดการเปลี่ยนแปลง สามารถหาโดยสมมติว่าค่า ΔH และพื้นที่ใต้กราฟที่แสดงการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเป็นสัดส่วนกัน (กล่ามรงค์ และ เกื้อกูล, 2546) การนำเทคนิคการวัดด้วยเครื่อง DSC มาประยุกต์ใช้ในการศึกษาการเกิดรีโทรกราเดชัน เป็นการวัดพลังงานที่ตัวอย่างดูดเข้าไปเพื่อสลายโครงสร้างผลึกในเม็ดสตาร์ช ค่าที่อ่านได้ประกอบด้วย อุณหภูมิเริ่มสลายผลึก (T_o) อุณหภูมิที่จุดสูงสุดของการสลายผลึก (T_p) อุณหภูมิสุดท้ายของการสลายผลึก (T_c) และค่า ΔH ของการเกิดรีโทรกราเดชัน ซึ่งจะบ่งบอกถึงพลังงานที่ใช้ในการหลอมเหลวผลึกสตาร์ชที่เกิดรีโทรกราเดชัน ตัวอย่างที่เกิดรีโทรกราเดชันสูงจะมีค่า ΔH สูงด้วยเช่นกัน (Chang และ Lui, 1991) และนอกจากนี้ยังพบว่าฟิสิกส์ที่ได้จากการดูดกลืนความร้อนของการเกิดรีโทรกราเดชันต่างจากฟิสิกส์ของการเกิดเจลาคีโนซิสด้วย โดยฟิสิกส์ของการสลายผลึกที่เกิดจากรีโทรกราเดชันมีลักษณะฟิสิกส์ที่กว้างและเกิดที่อุณหภูมิต่ำกว่าฟิสิกส์ที่เกิดจากเจลาคีโนซิสของสตาร์ช เนื่องจากโครงสร้างของผลึกที่เกิดรีโทรกราเดชันแตกต่างจากโครงสร้างผลึกที่มีอยู่ในสตาร์ชดั้งเดิม โครงสร้างผลึกที่เกิดขึ้นใหม่จากการเกิดรีโทรกราเดชันมีลักษณะขนาด ความสมบูรณ์ และความแข็งแรงที่แตกต่างกัน จึงทำให้ฟิสิกส์มีลักษณะกว้างมากขึ้น และผลึกที่เกิดขึ้นใหม่จากการเกิดรีโทรกราเดชันมีโครงสร้างผลึกเกิดจากการเรียงตัวของโมเลกุลที่มีความเป็นระเบียบน้อย ทำให้ความเสถียรของผลึกลดลงจึงทำให้สลายตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่าผลึกที่เกิดจากการเจลาคีโนซิส (Karim และคณะ, 2000; Lopez และ Perez, 1994 ; Sasaki และคณะ, 2000)

ง. Turbidimetric method การวัดลักษณะทางกายภาพของการเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ชด้วยเทคนิคการวัดความขุ่น ซึ่งเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของตัวอย่าง

(Miles และคณะ, 1985) โดยสามารถตรวจสอบค่าแสงส่องผ่านหรือค่าดูดกลืนแสงโดยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) ในการวัดการเกิดรีโทรกราเดชันต้องใช้ตัวอย่างที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า 2% ถ้าตัวอย่างแสดงค่าความขุ่นมากแสดงว่าตัวอย่างนั้นเกิดรีโทรกราเดชันสูง (Ring และคณะ, 1987)

จ. การวัดสตาร์ชที่ไม่สามารถย่อยด้วยเอนไซม์ (resistance of starch to hydrolysis) วิธีนี้ศึกษาการเกิดรีโทรกราเดชันจากการทนต่อการย่อยของสตาร์ชด้วยกรดหรือเอนไซม์ amylolytic enzyme (Morris, 1990; Sievert และคณะ, 1991) การวัดการขัดขวางการย่อยสตาร์ชด้วยเอนไซม์เป็นวิธีที่เร็วมาก และเมื่อพบว่าสตาร์ชที่ไม่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์มีปริมาณมากแสดงว่าเกิดรีโทรกราเดชันได้มาก

ฉ. การวัดน้ำที่แยกออกจากเจล (syneresis) วิธีนี้เป็นเทคนิคการวัดน้ำที่แยกออกมาเมื่อเจลสตาร์ชเกิดรีโทรกราเดชันโดยโมเลกุลภายในเจลสตาร์ชจับกันอย่างหนาแน่น ทำให้น้ำแยกออกมาจากโครงสร้างตาข่าย ปริมาณของน้ำที่ถูกแยกมาออกเป็นความสัมพันธ์ทางตรงกับความหนาแน่นของการเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ช ค่าปริมาณน้ำที่แยกออกจากเจลคำนวณจากอัตราส่วนของน้ำอิสระที่ถูกแยกออกมากับน้ำหนักของตัวอย่าง ถ้ามีปริมาณน้ำที่ถูกแยกออกมากเกิดรีโทรกราเดชันได้มาก (Karim และคณะ, 2000)

ช. Colorimetric วิธีนี้เป็นการวัดการเกิดสีระหว่างอะมิโลสกับสารละลายไอโอดีน เมื่อสารละลายไอโอดีนจับตัวกับอะมิโลสจะเกิดสีน้ำเงิน สตาร์ชที่เกิดรีโทรกราเดชันมีปริมาณอะมิโลสอิสระสามารถจับกับไอโอดีนเกิดสีน้ำเงินได้น้อยลง โดยวัดที่ความยาวคลื่น 640 นาโนเมตร ซึ่งวิธีนี้สามารถตรวจวัดการเกิดรีโทรกราเดชันของอะมิโลสเท่านั้น และการวัดด้วยวิธีนี้จะมีสารรบกวนการเกิดสีมาก โดยเฉพาะไขมันและอะมิโลเพคติน (Karim และคณะ, 2000)

2.5 จลนพลศาสตร์ของการเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ช (Kinetic of Starch Retrogradation)

จลนพลศาสตร์ (kinetic) เป็นการศึกษากลไกของกระบวนการ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ 2 ลักษณะ คือ สามารถใช้อธิบายการเกิดปฏิกิริยาเชิงปริมาณและใช้ในการศึกษากลไกของปฏิกิริยา

ในระหว่างการเกิดรีโทรกราเดชัน ผลึกจะเกิดนิวเคลียสที่ระยะเวลาต่างกัน ระยะเวลาที่ต่างกันทำให้เกิดจำนวนผลึก อัตราการเจริญของผลึก และความหนาแน่นของผลึกที่แตกต่างกัน จำนวนของผลึกที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับระยะเวลาการเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ช ซึ่งเกี่ยวข้องกับ การศึกษารูปแบบทางคณิตศาสตร์ โดยสมการ Avrami (สมการที่ 3) สามารถทำนายอัตราการเกิด

รีโทรกราเดชันของสตาร์ชที่ขึ้นกับเวลาการเก็บได้จากความสัมพันธ์ระหว่าง exponentially linear (n) กับเวลา (Fathat และคณะ, 2000; Farhat และ Blanshard, 2001)

จากสมการ Avrami (Baik และคณะ, 1997)

$$\theta = \frac{Y_L - Y_t}{Y_L - Y_0} = \exp(-kt^n) \quad \text{----3}$$

เมื่อ θ เป็นจำนวนของผลึกที่ได้จากการทดสอบ (เช่น XRD crystallinity index, NMR relaxation rates และ elastic modulus)

Y_0 และ Y_L เป็นค่าของผลึกที่ระยะเวลา 0 และที่ระยะเวลาที่ผลึกเกิดขึ้นมากที่สุดตามลำดับ

Y_t เป็นค่าของผลึกที่ระยะเวลาใดๆ

k เป็นค่าอัตราคงที่ (time^{-1})

n เป็นค่า Avrami exponent

จากสมการที่ 3 สามารถแปลงเป็นสมการที่ 4 ซึ่งสามารถคำนวณหาอัตราการเกิดรีโทรกราเดชันได้ โดยการหาอัตราการเกิดรีโทรกราเดชันขึ้นกับระยะเวลาการเก็บ สามารถคำนวณจากสมการ

ที่ 4 โดยค่า Avrami exponent (n) ได้จากความชันของกราฟหาค่า $\log \left[-\ln \left(\frac{Y_L - Y_t}{Y_L - Y_0} \right) \right]$ กับ

ค่า $\log t$ และสามารถหาค่า k ซึ่งเป็นค่าแสดงถึงอัตราการเกิดผลึกหรือการเกิดรีโทรกราเดชันของเจลสตาร์ช ถ้าค่า k มากอัตราการเกิดผลึกหรือการเกิดรีโทรกราเดชันมีค่ามาก โดยค่า k คำนวณได้จากค่า $\log k$ ($\log k$ คือ จุดตัดของสมการ 4)

$$\log \left[-\ln \left(\frac{Y_L - Y_t}{Y_L - Y_0} \right) \right] = n \log t + \log k \quad \text{----4}$$

$$Y = mX + C$$

2.6 Surfactants

การใช้ surfactants ในอาหารมีมาตั้งแต่ปีค.ศ. 1920 ปริมาณการใช้ประมาณ 100,000 ตัน ส่วนใหญ่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารที่ผลิตจากธัญชาติ โดยใช้ในการปรับสภาพของโค ทำให้ขนมปังนุ่ม (Moorthy, 1985)

surfactants เป็นสายโซ่ของกรดไขมันที่ไม่ชอบน้ำ esterified กับกลุ่มที่มีขั้วที่ชอบน้ำ surfactants เป็นกลุ่มของ polyvalent ของแอลกอฮอล์ที่แตกต่างกัน เช่น propylene glycol, glycerol, sorbitan หรือ sucrose นอกจากนี้กลุ่มของ surfactants ที่มีขั้วสามารถทำปฏิกิริยากับกรด เช่น lactic, acetic, citric, succinic และ diacetyl tartaric acid (DATA) เป็นต้น และมีกลุ่มของ surfactants ที่ชอบน้ำแต่ไม่มีประจุ เช่น ethoxylated sorbitan esters หรือ ethoxylated monoglycerides (EMG) และกลุ่มของ surfactants ที่มีประจุลบ เช่น sodium stearyl-2-lactylate (SSL) หรือ calcium stearyl-2-lactylate (CSL) surfactants มีโครงสร้างทางเคมีทั้งในส่วนที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ ดังนั้นเมื่อเติม surfactants ในน้ำมันหรือน้ำจะมีการดูดซับระหว่างชั้นของน้ำมันและน้ำ ช่วยลดแรงดึงดูดของสาร 2 ชนิดที่ไม่ผสมกัน (น้ำและไขมัน) โดยการละลายหรือเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับสารทั้ง 2 ชนิดและสนับสนุนการเป็นอิมัลชัน (Krog, 1981)

ค่า hydrophilic/lipophilic balance (HLB) ของ surfactants แสดงถึงความสมดุลระหว่างส่วนที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ surfactants แต่ละชนิดมีค่า HLB เฉพาะตัวขึ้นกับโครงสร้างทางเคมี surfactants ที่มีค่า HLB ต่ำ (3-6) เป็นกลุ่มที่มีขั้วเล็กน้อย ละลายได้ดีในน้ำมัน คงตัวได้ดีในอิมัลชันแบบน้ำในน้ำมัน เช่น monoglyceride (MG) หรือ propylene glycol ester มีผลต่อแรงดึงดูดน้อยกว่ากลุ่มที่มีขั้วมาก surfactant ที่มีค่า HLB สูง (8-18) ละลายในน้ำ คงตัวในอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน เช่น SSL, DATA หรือ polysorbate ค่า HLB ไม่สามารถบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพของอิมัลซิไฟเออร์ได้ เพียงแต่บอกได้ว่าลักษณะของอิมัลชันควรเป็นแบบใด (Krog, 1981; Manley, 1991; Stauffer, 1996; McClements, 1999)

2.6.1 ชนิด surfactants

การแบ่งชนิดของ surfactants สามารถแบ่งได้หลายลักษณะ (Del, 1975; Stutz และคณะ, 1973) ดังนี้คือ

- แบ่งตามต้นกำเนิด เช่น จากธรรมชาติหรือการสังเคราะห์ (ดังตารางที่ 2)
- แบ่งตามคุณสมบัติการละลาย
- แบ่งตามหน้าที่
- แบ่งตามค่า HLB
- แบ่งตามประจุ เช่น มีประจุ และไม่มีประจุ (ดังตารางที่ 2)

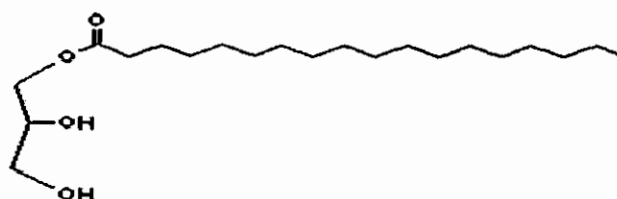
ตารางที่ 2 ชนิดของ surfactants

Classification	Surfactants
Naturally	
Ionic	Bile salt Phospholipids- lecithin Inositol phosphate
Nonionic	Saponin Monoglycerides
Synthetic	
Ionic	Acyl lactylates Soaps Dioctyl sodium sulfosuccinate
Nonionic	Propylene glycol monoesters Glycerol monoesters Sucrose esters Polyglycerol esters Sorbitan esters Polyoxyethylene sorbitan esters complex esters
Regulated	Polysorbate 65 Sodium lauryl sulfate Sorbitan monostearate Polysorbate 60 Monoglyceride citrate

Classification	Surfactants
	Calcium stearyl-2-lactylate
	Dioctyl sodium sulfosuccinate
	Sodium stearyl fumarate
	Succinylated monoglycerides
	Sodium stearyl-2-lactylate
	Ethoxylated mono- and diglycerides

ที่มา : Del Vecchio (1975)

ก. Glycerol monostearate (GMS) มีสูตรโมเลกุลคือ $C_{21}H_{42}O_4$; $C_{39}H_{76}O_5$ และมีสูตรโครงสร้างคือ $CH_3(CH_2)_{16}COOCH_2CHOHCH_2OH$ (รูปที่ 6) ผลิตทางการค้าโดยปฏิกิริยา glycerolysis ของไขมันสัตว์ เช่น น้ำมันหมู เป็นต้น (Knightly, 1968) มีลักษณะปรากฏเป็น waxy solid มีสีขาวหรือสีครีม อุณหภูมิของจุดหลอมเหลว $69^\circ C$ ละลายในแอลกอฮอล์และเฮกเซน เป็น surfactant ชนิดชอบน้ำ มีค่า HLB 4-6 ใช้มากในการปรับปรุงคุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์แป้งรวมถึงรักษาความนุ่มของขนมปังระหว่างการเก็บรักษา (Gray และ Bemiller, 2003)



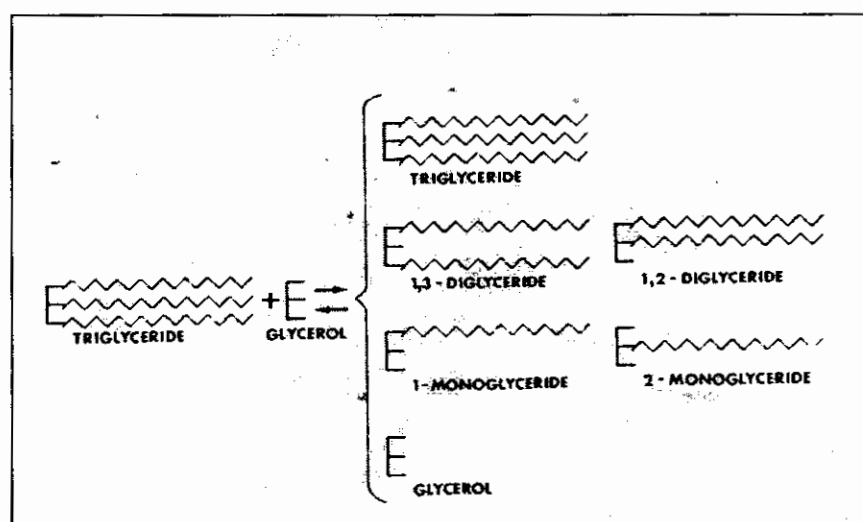
รูปที่ 6 สูตรโครงสร้างของ GMS

ที่มา : Field (2003)

Kaur และคณะ (2005) ได้ศึกษาอิทธิพลของ GMS ต่อการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวจากสตรัซข้าวโพดและสตรัซมันฝรั่ง พบว่าการเติม GMS 1% ค่อน้ำหนักแป้ง ลดกำลังการพองตัว ค่าการละลายและการแยกน้ำ และมีผลทำให้อุณหภูมิการเกิดเจลาคีโนซ์และค่า ΔH เพิ่มขึ้น และการเติม GMS ในเส้นก๋วยเตี๋ยวทำให้เส้นก๋วยเตี๋ยวใช้เวลาทำให้สุกเพิ่มขึ้น ค่า cooked loss และ น้ำหนักของเส้นก๋วยเตี๋ยวสุกลดลง เนื่องจากการเติม GMS ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง GMS กับอะมิโลส จะยับยั้งน้ำไม่ให้เข้าไปภายในเม็ดสตรัซ ทำให้การพองตัวของเม็ดสตรัซลดลง

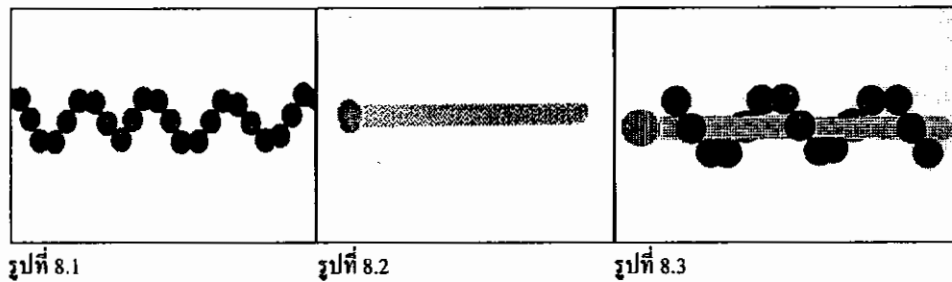
ข. Monoglyceride (MG) ผลิตจากไขมันจากพืชหรือสัตว์ เป็นการผสมของ mono-diacylglycerides ผ่านกระบวนการ transesterification ระหว่าง glycerol อิสระกับ triacylglycerides ลักษณะทางกายภาพเป็นก๊าส ของเหลว หรือ plastic เป็นแผ่นหรือเม็ดกลมขึ้นกับชนิดของไขมัน หรือน้ำมันที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

หน้าที่ของ MG แตกต่างจากไขมันและน้ำมัน เพราะหมู่ hydroxyl อิสระในส่วนของ glycerol ในโมเลกุลของ MG จะชอบน้ำ ทำให้อิมัลชันมีความคงตัว ปรับปรุงเนื้อสัมผัสและ ปริมาตรของเค้กและความนุ่มของขนมปัง มีการประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในผลิตภัณฑ์นม ขนมหวานแช่แข็ง กระบวนการผลิตมันฝรั่ง ธัญชาติ อาหารขบเคี้ยว และพาสตา เป็นต้น



รูปที่ 7 ปฏิกิริยาการเกิด MG (เส้นซิกแซกเป็นสัญลักษณ์สายโซ่โมเลกุลของกรดไขมัน)
ที่มา : Krog (1979)

ในอุตสาหกรรมขนมอบ MG ทำให้ crumb ในขนมปังมีความนุ่ม โดยเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง MG และอะมิโลสในสตาร์ชของขนมปัง โดยในระหว่างการอบที่อุณหภูมิประมาณ 50 °C MG จะเข้าไปใน semi-solution (mesophase) จับกับส่วนของน้ำ ขณะที่อุณหภูมิเพิ่มจนแป้งเริ่มเกิดเจลละตินซ์ เม็ดสตาร์ชดูดน้ำมากขึ้นพร้อมกับพองตัวขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ชสลายไป เกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ พร้อมกับสายโมเลกุลอะมิโลสแพร่ ออกมานอกเม็ดสตาร์ช MG จะจับกับอะมิโลส ภายนอก ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง MG และอะมิโลส สารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นเป็นสารประกอบเชิงซ้อนไม่ละลายน้ำ (รูปที่ 8) (Krog, 1979)



รูปที่ 8 การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของ MG กับอะมิโลส (รูปที่ 8.1 โมเลกุลอะมิโลส รูปที่ 8.2 โมเลกุลสายโซ่ตรงของ MG และรูปที่ 8.3 การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของอะมิโลสกับ MG)

ที่มา : Krog (1979)

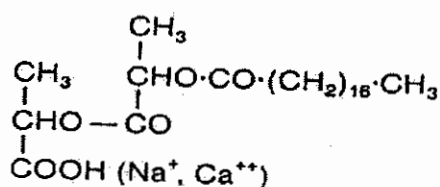
MG ที่อิมตัวจะมีประสิทธิภาพในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนมากกว่า MG ที่ไม่อิมตัว เมื่อเติม MG ที่อิมตัวลงในขนมปังจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับอะมิโลสเป็นผลึกแบบ β -crystalline hydrate ส่วน MG ที่ไม่อิมตัวจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพไม่ดี มีปริมาณลดลง อายุการเก็บลดลง (Legendijk และ Pennings, 1970) นอกจากนี้การเติม MG ในผลิตภัณฑ์พวก สเปกเกตตี ก๊วยเตี้ยวหรือขนมปัง จะมีส่วนต่อความเหนียวเหนอะติดกันหรือจับกันเป็นก้อนลดลง เมื่อเติม MG ที่ระดับ 0.5% ลงในเส้นสปาเกตตี พบว่าความเหนียวเหนอะหรือติดกันเป็นก้อนลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นสปาเกตตีที่ไม่เติม surfactants (Matsuo และคณะ, 1986) สอดคล้องกับการทดลองของ Rho และคณะ (1989) ที่เติม MG, SSL และ lecithin ที่ระดับ 0.1%, 0.3% และ 0.5% ลงในเส้นขนมปังที่ผลิตจาก hard red winter flour พบว่าการเติม SSL และ MG มีค่า surface firmness เพิ่มขึ้น และมีค่า cutting stress ลดลง ขณะที่การเติม lecithin ทำให้ค่า surface firmness เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เนื่องจาก MG และ SSL ที่เติมลงไปมีผลกับสตาร์ชหรือกับโปรตีน โดย MG เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับอะมิโลส ทำให้ค่าการละลายและการพองตัวลดลง

Krog และ Jensen (1970) ศึกษาอิทธิพลของ MG ต่อความสามารถในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน และ anti-staling พบว่า MG ที่มีรูปแบบผลึกแบบ α มีความสามารถในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนมากที่สุด

Legendijk และ Pennings (1970) ศึกษาความสามารถของ MG กับน้ำหนักรีดโมเลกุลที่เพิ่มขึ้นในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับอะมิโลสและอะมิโลเพคติน พบว่าจำนวนของ MG เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับอะมิโลเพคตินได้น้อยกว่าอะมิโลส และการเพิ่มน้ำหนักรีดโมเลกุลของ MG ทำให้เพิ่มความสามารถในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง MG กับ อะมิโลเพคติน

Toufeili และคณะ (1995) ได้เติม MG, SSL และ DATEM ที่ระดับ 0.25% และ 0.5% เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพในด้านประสิทธิภาพการจับน้ำในขนมปัง arabic พบว่า MG มีค่าประสิทธิภาพการจับน้ำและร้อยละของอะมิโนสที่ละลายอยู่ในน้ำแป้งของตัวอย่างน้อยสุด DATEM มีค่าประสิทธิภาพการจับน้ำและร้อยละของอะมิโนสที่ละลายอยู่ในน้ำแป้งของตัวอย่างมากที่สุด และ SSL มีค่าประสิทธิภาพการจับน้ำและร้อยละของอะมิโนสที่ละลายอยู่ในน้ำแป้งของตัวอย่างอยู่ปานกลาง ตัวอย่างที่เติม surfactants มีปริมาณอะมิโนสที่ละลายในน้ำแป้งน้อยลง เพราะอะมิโนสจะจับกับ surfactants เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน เป็นโครงสร้างที่แข็งแรง ซึ่งจะส่งผลให้ค่าการพองตัวและค่าการละลายลดลง และการเกิดเจลาคีโนซัลลดลงด้วย เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่เติม surfactant (Ghihi และคณะ, 1982; Riisom และคณะ, 1984)

ก. Sodium stearyl -2- lactylate (SSL) ผลิตจากกรด lactic ร่วมกับกรด stearic และเป็นผลจากการทำปฏิกิริยาของไฮดรอกไซด์กับเกลือ มีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 9 SSL มีคุณสมบัติเป็นกรด มีค่า pH 4-5 มีประจุลบ ละลายได้ในน้ำร้อนหรือละลายในไขมันหรือน้ำมันที่ร้อน (Krog, 1990)



รูปที่ 9 สูตรทางเคมีของ SSL

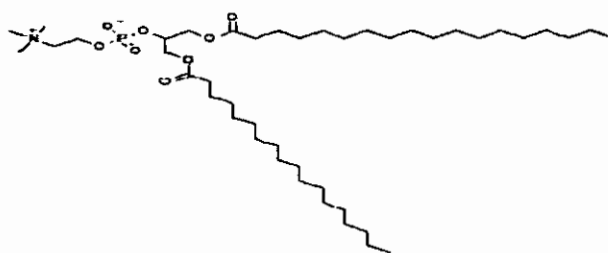
ที่มา : Krog (1990)

SSL สามารถใช้ร่วมกับอิมัลซิไฟเออร์อื่นๆ เช่น MG ทำให้เจลของตัว SSL เป็น surfactant ที่ชอบน้ำ ใช้ในอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ และนอกจากนี้ SSL ใช้ร่วมกับ CSL มีผลในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับสตาร์ช และใช้มากในอุตสาหกรรมขนมอบและอุตสาหกรรมสตาร์ช การมีประจุลบช่วยป้องกันการเสียดสภาพของโปรตีน (Gray และ Bemiller, 2003)

Azizi และ Rao (2005) ศึกษาผลของ SSL, DATEM, GMS และ distilled glycerol monostearate (DGMS) ต่อคุณภาพของขนมปังที่ผลิตจากแป้งสาลี โดยการเติม SSL, DATEM, GMS และ DGMS ที่ระดับ 0.5% เก็บเป็นเวลา 3, 6, 9 และ 15 วัน พบว่าการเติม SSL ปรับปรุงคุณภาพของขนมปังได้มากที่สุด ตามด้วย DGMS, DATEM และ GMS ตามลำดับ เนื่องจาก SSL และ DATEM มีประจุเป็นลบ แต่ DGMS และ GMS ไม่มีประจุ และ SSL, DATEM, DGMS และ GMS มีค่า HLB 10-12, 8-10, 3-4 และ 3-4 ตามลำดับ ประจุลบและค่า HLB ส่งผลให้ความสามารถ

ของ surfactants แตกต่างกัน และนอกจากนี้ยังพบว่า SSL จะไม่เกิดสารประกอบเชิงซ้อนเฉพาะกับ อะมิโลสเท่านั้น แต่สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับอะมิโลเพคตินด้วย (Destefanis และคณะ, 1977)

ง. Lecithin เป็นสารที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ มีสูตรทางเคมีแสดงดังรูปที่ 10 lecithin พบในไข่แดงมีปริมาณ 8-10% ในถั่วเหลืองมีปริมาณ 2.5% และพบในผัก lecithin ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติได้รับการยกเว้นการควบคุมทางกฎหมาย (ค่า Acceptable daily intake in mg/kg body weight per day (ADI) = Not limited)



รูปที่ 10 สูตรทางเคมีของ lecithin

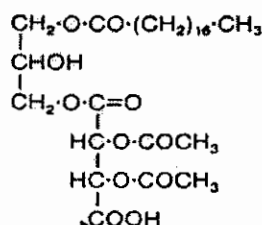
ที่มา : Field (2003)

การผลิต lecithin ในทางการค้าได้จากการสกัดจากถั่วเหลืองมากที่สุดเนื่องจากมีราคาถูก (Manley, 1991) lecithin มีค่า HLB 3-4 ใช้ในอุตสาหกรรมขนมอบ ลดการเกิด staling lecithin ที่สกัดได้จากถั่วเหลืองมีประสิทธิภาพในการป้องกันการเกิดผลึกในเจลสตาร์ชและป้องกันการเกิด staling ในขนมปัง แต่ lecithin ที่สกัดจากโอ๊ตป้องกันการเกิด staling ได้มากกว่า lecithin ที่สกัดได้จากถั่วเหลืองแต่ไม่มีผลในการเกิดผลึกต่อเจลสตาร์ช (Forssell และคณะ, 1998)

Niihara และ Yonezawa (1981) เติมน lecithin กับ monoolein ที่ระดับ 0.3% ต่อน้ำหนัก แป้ง ลงในแป้งสาลีเพื่อศึกษาการเกิดเจลสตาร์ช พบว่า monoolein มีค่าการละลายและการพองตัวต่ำขณะที่ lecithin มีค่าการละลายและการพองตัวสูงเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งสาลีที่ไม่เติม surfactants เนื่องจาก monoolein จะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับอะมิโลสภายในเม็ดสตาร์ช ทำให้เกิดเป็น โครงสร้างที่แข็งแรง อะมิโลสจะยังคงอยู่ภายในเม็ดสตาร์ช ไม่ละลายหลุดออกมาภายนอก ทำให้ยับยั้งค่าการพองตัวและการละลาย ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Rho และคณะ (1989) ที่เติม SSL, MG และ lecithin ที่ระดับ 0.1%, 0.3% และ 0.5% ลงในผลิตภัณฑ์เส้นบะหมี่ เพื่อเพิ่ม surface firmness และลด cutting stress การเติม SSL และ MG จะเพิ่มค่า surface firmness และลด cutting

stress แต่ lecithin เพิ่ม surface firmness ได้เพียงเล็กน้อย และทำให้ cutting stress เพิ่มขึ้น ผลของการเติม lecithin ในเส้นบะหมี่แตกต่างจากการเติม MG หรือ SSL เนื่องจาก lecithin ไม่เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับอะมิโลส

จ. Diacetyl tartaric acid ester of monoglyceride (DATEM) มีประจุลบและชอบน้ำผลิตโดยการทำปฏิกิริยาของ diacetylated tartaric acid anhydride กับ MG โดย diacetylated tartaric acid anhydride เตรียมได้จากการกลั่น tartaric acid จากอุตสาหกรรมไวน์ โดย tartaric acid ทำปฏิกิริยากับ acid anhydride องค์ประกอบทางเคมีของ DATEM อธิบายได้ดังรูปที่ 11 องค์ประกอบหลักของ DATEM ขึ้นอยู่กับชนิดของ MG ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต DATEM มีลักษณะเป็นแผ่นหรือผงหรือเป็นลักษณะกึ่งของเหลว DATEM อิมัลชันมี C16/C18 มีความเสถียรอยู่ในรูปผลึก α มีจุดหลอมเหลว 45°C ละลายน้ำได้ มีค่า pH ต่ำ (pH 2-3) เนื่องจากมีหมู่ของ carboxyl อิสระและละลายน้ำได้มากขึ้นถ้า pH สูงถึง 4-5 DATEM บางส่วนละลายในไขมันและน้ำมัน DATEM นำมาใช้มากในอุตสาหกรรมขนมอบที่ใช้ยีสต์ เพื่อปรับสภาวะโค (Krog, 1990)



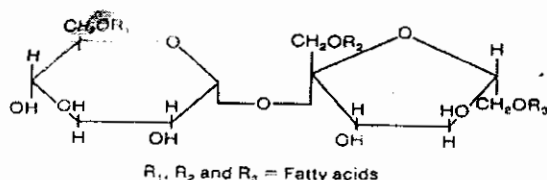
รูปที่ 11 สูตรทางเคมีของ DATEM

ที่มา : Krog (1990)

Rogers และ Hosney (1983) พบว่า DATEM 0.05% สามารถให้ผลในการเป็น antistaling agents เช่นเดียวกับ SSL หรือ ethoxylated monoacylglycerols เมื่อเก็บขนมปังนานกว่า 5 วัน แต่ประสิทธิภาพของ DATEM ในการลดการเกิดริ้วรอยและการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับอะมิโลสเมื่อเปรียบเทียบกับ MG และ polyoxyethylene monostearate (POEMS) มีประสิทธิภาพน้อยกว่า (Krog และคณะ, 1989) แสดงว่าคุณสมบัติของ DATEM ในการป้องกันการแข็งตัวของขนมปัง อาจเกิดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความหนาของ cell wall และ elasticity นอกจากนี้เมื่อใช้ DATEM ร่วมกับ MG จะช่วยลดการแข็งตัวในขนมปังเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น (Gray และ Bemiller, 2003)

ฉ. Sucrose Esters ของกรดไขมัน เป็นที่รู้จักมากกว่า 30 ปี ได้จากการ esterification ของกรดไขมันกับซูโครสและน้ำตาลอื่นๆ sucrose esters มีองค์ประกอบของ mono-ester และ octa-

ester อยู่เป็นจำนวนมากขึ้นอยู่กับระดับของการ esterification มีสูตรทางเคมีดังแสดงในรูปที่ 12 (Krog, 1990)



รูปที่ 12 สูตรทางเคมีของ sucrose ester ของกรดไขมัน
ที่มา : Krog (1990)

Sucrose ester ใช้ปรับปรุงปริมาณของขนมปังและเนื้อสัมผัสรวมถึงการยืดอายุการเก็บรักษา และยังปรับปรุงการขยายตัวของลูกก็ด้วย sucrose ester ที่มีค่า HLB สูงมีประสิทธิภาพในการปรับปรุงความนุ่ม ปริมาตร และการขยายตัวของลูกก็มากกว่าที่มีค่า HLB ต่ำ sucrose ester เพิ่มความนุ่มของผลิตภัณฑ์ขนมอบของโคที่ผ่านการแช่แข็งมากกว่าในผลิตภัณฑ์ขนมอบของโคที่ไม่ผ่านการแช่แข็ง และนอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณของขนมปังบางชนิดที่ไม่มีส่วนผสมของแป้งสาลีจะไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเติม sucrose ester (Finney และ Shogren, 1974; Ebeler และ Walker, 1983; Breyer และ Walker, 1984; American Institute of Baking Report, 1990)

ข. Polyoxyethylene monostearate (POEMS) เป็นการทำปฏิกิริยาของ ethylene oxide และ stearic acid พบว่า POEMS ป้องกันการเกิด staling ได้ โดยใช้ POEMS ที่ระดับ 0.5-1% สามารถลดอัตราการแข็งตัวของขนมปังระหว่างการเก็บวันที่ 1 ถึงวันที่ 3 กลไกการป้องกันการเกิด staling ของ POEMS คือ POEMS ทำให้อะมิโลสไม่ละลายและ POEMS สามารถทำปฏิกิริยาระหว่างเม็ดสตาร์ชกับพันธะไฮโดรเจน (Maga, 1975; Edelman และคณะ, 1950; Skovholt และ Dowdle, 1950)

2.6.2 หน้าที่ของ surfactants

ก. การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับสตาร์ช การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอะมิโลสและไขมันมีมากกว่าอะมิโลเพคตินและไขมัน เนื่องจากโมเลกุลอะมิโลสมีลักษณะเป็นสายโซ่ยาวมีจำนวนน้ำตาลกลูโคส 20-40 หน่วย ในขณะที่อะมิโลเพคตินมีลักษณะเป็นกิ่งสั้นๆ มีกิ่งก้านของน้ำตาลกลูโคส 15-20 หน่วย ไขมันที่มีขั้ว เช่น MG กรดไขมัน และสารประกอบอื่นๆ ที่คล้ายคลึงกัน เกิดการรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับอะมิโลสได้ดี การเกิดสารประกอบ

เชิงซ้อนระหว่างอะมิโลสและไขมันเกิดจากสายไฮโดรคาร์บอนของไขมันและพันธะเกลียวคู่ของอะมิโลส (Eliasson และ Gudmunsson, 1996) นอกจากนี้การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนขึ้นอยู่กับความยาวของสายไฮโดรคาร์บอนของไขมันหรือ surfactants ไขมันที่มีสายคาร์บอนน้อยกว่า 9 มีความสามารถในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนต่ำ ไขมันที่มีความยาวของคาร์บอนอยู่ระหว่าง 12-18 สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนได้ดี (Eliasson และ Gudmunsson, 1996) การตรวจสอบสารประกอบเชิงซ้อนของอะมิโลสกับไขมันทำได้โดยใช้ X-ray diffraction, DSC และ Electron microscopy

ข. ลดการพองตัวของสตาร์ช การเติม surfactants ลดการพองตัวในเม็คสตาร์ชและควบคุมการพองตัวของเม็คสตาร์ชระหว่างการอบ โดยเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับอะมิโลสที่ภายนอกเม็คสตาร์ช ทำให้พอลิเมอร์ของสตาร์ชมีการเคลื่อนที่น้อย ดังนั้นการตกผลึกเกิดขึ้นได้น้อย ช่วยลดอัตราการเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ช surfactants ที่มีหัวเกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่แข็งแกร่งกับอะมิโลส เช่น กรดไขมันสายโซ่ยาว MG และ POEMS (Gray และ Bemiller, 2003)

ค. มีความสัมพันธ์กับโปรตีน โมเลกุลของ surfactants กับกลูเตน (gluten) ถูกปลดปล่อยระหว่างการอบและเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับพอลิเมอร์ของสตาร์ชที่หลุดออกภายในช่องว่างของเม็คสตาร์ช (Gray และ Bemiller, 2003)

2.6.3 กลไกของ surfactants ในการป้องกันการเกิดรีโทรกราเดชัน

กลไกการทำงานของ surfactants ในการป้องกันการเกิดรีโทรกราเดชันของเจล คือ ในขณะที่เกิดเจลโครงสร้างโมเลกุลของอะมิโลสเดิมเป็นสายตรงเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นแบบเกลียว ส่งผลให้บางส่วนของโมเลกุลอะมิโลสที่มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำฝังอยู่ภายในโครงสร้างที่เป็นเกลียว surfactants ที่เติมลงไปจะทำงานร่วมกับโมเลกุลอะมิโลส โดยโครงสร้างบางส่วนของ surfactants ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ชอบน้ำถูกผลักดันให้เข้าไปภายในโครงสร้างที่เป็นเกลียวของอะมิโลส อีกส่วนหนึ่งของสาร surfactants ซึ่งเป็นส่วนที่ชอบน้ำ จะยื่นออกมาด้านนอกทำให้สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลน้ำ เกิดการดูดซับน้ำไว้ในอะมิโลส จึงเป็นการป้องกันการเกิดรีโทรกราเดชัน จากกลไกดังกล่าวพบว่า surfactants ที่ใช้ป้องกันการเกิดรีโทรกราเดชันนั้นจำเป็นต้องมีโครงสร้างเหมาะสมเพื่อที่จะสามารถเข้าไปในโครงสร้างที่เป็นเกลียวได้ (Destefanis และคณะ, 1977; Mord และ D' Appolonia, 1980; Krog, 1981)

Conde-petit และ Escher (1991) ได้ใช้ DSC ในการตรวจพบการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของ surfactants กับ โมเลกุลอะมิโลสในเจลสตาร์ช พบว่าเจลสตาร์ชที่เกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโมเลกุลอะมิโลสกับ surfactant ป้องกันการแข็งตัวของขนมปัง โดยลดอัตราการเกิด

ผลึกของสตาร์ช ซึ่งการเกิด staling ในขนมปังขั้นต้นตอนแรกเกิดจากการตกผลึกของสตาร์ชและเกิดได้อย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ -2°C (Knightly, 1968) นอกจากนี้มีการใช้เทคนิค X-ray diffraction, DSC และ Electron microscopy อธิบายการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไขมันกับอะมิโลส และสามารถสรุปได้ว่าส่วนหางที่เป็นไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) ของกรดไขมันที่เกิดสารประกอบเชิงซ้อน จะอยู่ด้านในของ hydrate V helix และส่วนหัวที่มีขั้วอยู่ด้านนอกของ lumen (Godet และ คณะ, 1993) นอกจากนี้ยังพบว่าการเติม surfactants จะลดการพองตัวของสตาร์ช เนื่องจากเมื่อเติม surfactants ลงในสตาร์ชเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับอะมิโลสทำให้เกิดเป็นพันธะที่แข็งแรงขึ้นช่วยป้องกันการละลายและการหลุดออกของอะมิโลส จึงทำให้เม็ดสตาร์ชลดการพองตัว ทำให้พอลิเมอร์ของสตาร์ชลดการเคลื่อนที่หลังเกิดสารประกอบเชิงซ้อน ดังนั้นจึงเกิดผลึกได้น้อยลง (Gray และ Bemiller, 2003)

บทที่ 3
วัตถุดิบ อุปกรณ์ และวิธีการ

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

1. น้ำมันพืชตราอรุณ
2. แป้งข้าวเจ้าตราช้างสามเศียรชนิดโม่น้ำ
3. วัตถุดิบเสีย (โซเดียมเบนโซเอต) (Ajax chemicals)
4. เอทิลแอลกอฮอล์ 95% (Fluka)
5. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Merk)
6. กรดอะซิติก 100% (Merk)
8. อะมิโลสบริสุทธิ์จากมันฝรั่ง (Sigma)
9. ไอโอดีน (Merk)
10. โพแทสเซียมไอโอไดด์ (Ajax finechem)
11. กรดซัลฟูริกเข้มข้น 95-97% (Merk)
12. คอปเปอร์ซัลเฟต (Fluka)
13. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Merk)
14. กรดบอริก (Fluka)
15. โซเดียมซัลเฟต (APS finechem)
16. กรดไฮโดรคลอริก (Merk)
17. เมทิลเรดและโบรโมครีซอลกรีน (Merk)
18. ปีโตรเลียมอีเทอร์ (Malinckrodt Baker)
19. MG จากบริษัท cognis
20. GMS จากบริษัท cognis
21. SSL จากบริษัท cognis

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ถาดสแตนเลสขนาด 20 x 30 เซนติเมตร
2. หม้อนึ่งไฟฟ้า
3. ผ้าขาวบาง
4. มีดปลายแหลม
5. เครื่องชั่งรุ่น Sartorius BP 3100 s พิกัด 3100 กรัม และรุ่น Sartorius BP 221 s พิกัด 220 มิลลิกรัม
6. ชุดเครื่องแก้ว (ใช้ในการวิเคราะห์ทางเคมี)
7. เครื่อง Differential Scanning Calorimeter รุ่น Pyris I Perkin Elmer ประเทศอังกฤษ
8. เครื่องหาความชื้น Hot air oven รุ่น WTB BINDER ประเทศเยอรมัน
9. เครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA-XT2i, Stable micro system™ ประเทศอังกฤษ
10. เครื่องหาปริมาณไขมัน (Soxtec extraction unit) ยี่ห้อ Tecator รุ่น 1043 ประเทศสวีเดน
11. เครื่องย่อยโปรตีน (Digestion unit) ยี่ห้อ Gerhardt Kjeldatherm รุ่น Type TR ประเทศเยอรมัน
12. เครื่องกลั่นวิเคราะห์โปรตีน (Distillation unit) ยี่ห้อ Gerhardt รุ่น VAP33 ประเทศเยอรมัน
13. เครื่อง X-ray Diffraction ยี่ห้อ Jeol รุ่น JDX-3530 ประเทศญี่ปุ่น
14. เครื่อง Rapid Visco Analyzer ยี่ห้อ Newport Scientific รุ่น RVA-4 ประเทศออสเตรเลีย
15. เครื่องวัดค่าดูดกลืนแสง (UV-visible spectrophotometer) ยี่ห้อ Spectronic Unicam รุ่น GENESYS 10 UV ประเทศสหรัฐอเมริกา
16. เครื่อง Rheometer ยี่ห้อ Paar Physica รุ่น MR 300 ประเทศเยอรมัน

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการเก็บรักษาต่อการเกิดรีโทรกราเดชันของเส้นก๋วยเตี๋ยว

ก. ศึกษาองค์ประกอบพื้นฐานของแป้งข้าวเจ้าทางด้านเคมี เคมีกายภาพ และกายภาพ

- วิเคราะห์องค์ประกอบพื้นฐานทางเคมีของแป้งข้าวเจ้าในด้านความชื้น ถ้าโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต ตามวิธี A.O.A.C (1995) และปริมาณอะมิโนส คัดแปลงจากวิธีของ Juliano (1971)

- วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวในด้านความคงตัวของเจลแป้งข้าว คัดแปลงจากวิธีของ Juliano และ Villareal (1993)
- วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของแป้งข้าวในด้านกำลังการพองตัวและการละลาย คัดแปลงจากวิธีของ Yoenyongbuddhagal และ Noomhorn (2002)

ข. การเตรียมเส้นก๋วยเตี๋ยว โดยคัดแปลงจากวิธีของเสนอ (2522)

- การเตรียมน้ำแป้ง เตรียมแป้งโดยมีเนื้อแป้ง 42% (w/v) โดยคำนวณความชื้นของแป้งข้าวเจ้าและเติมน้ำให้ได้ความเข้มข้น 42% ตามต้องการ
- การนึ่ง เติมน้ำโซเดียมเบนโซเอต 2% ของน้ำหนักแป้งลงในน้ำแป้ง คนให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน พักน้ำแป้งไว้ 30 นาที เพื่อให้แป้งคูลน้ำได้เต็มที่ ใช้ช้อนคนไม่ให้แยกตัว แล้วตวงน้ำแป้ง 50 กรัม เทลงในถาดขนาด 20 x 30 เซนติเมตร ซึ่งทาผิวถาดด้วยน้ำมัน 0.2 มิลลิลิตร เอียงถาดและเขย่าเบาๆ ให้น้ำแป้งกระจายตัวเต็มถาดเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ นึ่งด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิน้ำเดือดนาน 5 นาที แล้วทิ้งไว้ให้เย็นในถาด
- ลอกแผ่นก๋วยเตี๋ยวนอกจากถาดโดยตัดเส้นก๋วยเตี๋ยวให้มีขนาด 2.5 x 5 เซนติเมตร หนา 0.5-0.7 เซนติเมตร ทาน้ำมัน 0.2 มิลลิลิตร ที่ผิวหน้าของเส้นก๋วยเตี๋ยวเพื่อไม่ให้เส้นก๋วยเตี๋ยวติดกัน เก็บเส้นก๋วยเตี๋ยวใส่ถุงซิปล็อคแล้วใส่กล่องพลาสติก เก็บที่อุณหภูมิ 9, 30 และ 40 °C เป็นระยะเวลา 0, 24, 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมง (factorial in CRD ขนาด 3 x 3) แล้วทำการวัดคุณภาพเส้นก๋วยเตี๋ยว

ค. การตรวจสอบคุณภาพเส้นก๋วยเตี๋ยว

วัดคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวดังนี้

- ค่าความชื้นของก๋วยเตี๋ยวโดยวิธีของ A.O.A.C (1995)
- ทดสอบคุณลักษณะทางเนื้อสัมผัส ด้วยเครื่อง Texture Analyzer คัดแปลงจากวิธีของ Inglett และคณะ (2005) ใช้หัววัดรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร (P/10) กดเส้นก๋วยเตี๋ยวที่มีความกว้าง 2.5 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตร หนา 0.5 - 0.7 มิลลิเมตร และวางซ้อนกันจำนวน 10 เส้น กำหนดให้หัววัดกดลงบนเส้นก๋วยเตี๋ยวเป็นระยะทาง 80% ของความสูงตัวอย่าง บันทึกค่าแรงกดสูงสุดและระยะทาง ณ จุดที่เส้นก๋วยเตี๋ยวขาด
- ทดสอบการเปลี่ยนแปลงเชิงความร้อนด้วยเครื่อง DSC ตามวิธีของ Perdon และคณะ (1999) ชั่งตัวอย่าง 13-15 มิลลิกรัม ลงใน aluminium pan เพิ่มอุณหภูมิ 30 – 100 °C ลดอุณหภูมิจาก 100 – 30 °C และเพิ่มอุณหภูมิอีกครั้งจาก 30 – 100 °C ด้วยอัตราการเพิ่ม – ลดอุณหภูมิ

เป็น 10 °C/นาทีก ใช้ pan เปลาเป็น reference subtract peak ระหว่างการให้ความร้อนครั้งแรกและให้ความร้อนครั้งที่สอง บันทึกค่า ΔH , T_o , T_p และ T_c

- ตรวจสอบโครงสร้างภายใน ด้วยเครื่อง X-ray Diffraction ตามวิธีของ Shi และ Seib (1992) เริ่มสแกนมุมหักเหช่วง 3.00° ถึง 40.00° ด้วยอัตราเร็ว 0.01°/วินาที บันทึกรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ และคำนวณร้อยละความเป็นผลึกชนิด B-type และ V-type ดังสมการ

$$\text{ความเป็นผลึกทั้งหมด (ร้อยละ)} = \frac{\text{พื้นที่ใต้พีคของความเป็นผลึกทั้งหมด}}{\text{พื้นที่ทั้งหมดของสเปกตรัม}} \times 100 \quad \text{----5}$$

$$\text{ความเป็นผลึกชนิด B-type (ร้อยละ)} = \frac{\text{พื้นที่ใต้พีคของผลึกชนิด B-type}}{\text{พื้นที่ทั้งหมดของสเปกตรัม}} \times 100 \quad \text{----6}$$

$$\text{ความเป็นผลึกชนิด V-type (ร้อยละ)} = \frac{\text{พื้นที่ใต้พีคของผลึกชนิด V-type} \times 100}{\text{พื้นที่ทั้งหมดของสเปกตรัม}} \quad \text{----7}$$

3.3.2 ศึกษาผลของชนิดและปริมาณสาร surfactants ต่อการเกิดรีโทรกราเดชันของเจลแป้งข้าวและคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยว

ผสมสาร surfactants ชนิดต่างๆ ที่ระดับแตกต่างกันกับแป้งข้าว นำมาเก็บที่อุณหภูมิที่ 9, 30 และ 40 °C โดยแต่ละอุณหภูมิจะเก็บเจลแป้งและเส้นก๋วยเตี๋ยวไว้เป็นระยะเวลา 0, 24, 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมง จากนั้นทำการวัดคุณภาพเจลแป้งข้าวและเส้นก๋วยเตี๋ยว

ก. การเตรียม surfactants

เติม surfactants คือ MG ที่ระดับ 0.1%, 0.3% และ 0.5% SSL ที่ระดับ 0.3%, 0.5% และ 0.7% และ GMS ที่ระดับ 0.08%, 0.2% และ 0.4% ของน้ำหนักแป้ง เตรียม surfactants โดยหกลอมเหลว surfactants ให้เป็นสารละลายโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิของจุดหลอมเหลวของ surfactant แต่ละชนิด (MG ที่ 59 °C, SSL ที่ 45 °C และ GMS ที่ 65 °C) ใช้อัตราส่วนของ surfactants ต่อ น้ำ 1:4 กวนด้วย magnetic bar ด้วยความเร็ว 1,200 รอบ/นาที เป็นเวลา 7 นาที จนได้เป็นอิมัลชันเติมลงในน้ำแป้งที่ใช้ผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว ผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวตามข้อ 3.3.1. ข

ข. วิเคราะห์คุณภาพเจลแป้งด้วยเครื่อง RVA

เตรียม surfactants ตามข้อ 3.3.2 ก. เติม surfactant ในน้ำแป้งโดยเติม MG ที่ระดับ 0.1%, 0.3% และ 0.5% SSL ที่ระดับ 0.3%, 0.5% และ 0.7% และ GMS ที่ระดับ 0.08%, 0.2% และ 0.4% ของน้ำหนักแป้ง ผสมกับน้ำแป้งตามที่กำหนด โดยใช้แป้ง 2.5 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ในน้ำ 25

มิลลิลิตร โดยเริ่มให้ความร้อนที่ 50°C เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิจาก $50 - 95^{\circ}\text{C}$ และให้อุณหภูมิคงที่ที่ 95°C นาน 18 วินาที จากนั้นลดอุณหภูมิเป็น 50°C โดยมีอัตราการเพิ่ม-ลดอุณหภูมิเป็น $13.6^{\circ}\text{C}/\text{นาที}$ เปรียบเทียบความหนืดของแป้งข้าวที่ไม่เติม surfactants กับแป้งข้าวที่เติม surfactants ด้วยเครื่อง RVA ตามวิธีของ Azizi และ Rao (2005) โดยบันทึกอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด ค่าความหนืดสูงสุด ค่า breakdown ค่าความหนืดสุดท้าย และค่า setback

ค. วิเคราะห์คุณภาพเจลแป้งข้าวด้วยเครื่อง Rheometer

ทดสอบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางวิทยากระแสดด้วยเครื่อง Rheometer เตรียมเจลแป้งด้วยเครื่อง RVA โดยนำน้ำแป้งที่ความเข้มข้น 30% ทั้งแบบที่เติมและไม่เติม surfactant ในระดับที่เหมาะสม มาเพิ่มอุณหภูมิจาก $50 - 95^{\circ}\text{C}$ คงไว้ที่ 95°C เป็นเวลา 2 นาที ลดอุณหภูมิมาที่ 80°C คงไว้ที่ 80°C เป็นเวลา 2 นาที โดยมีอัตราการเพิ่ม-ลดอุณหภูมิเป็น $12.5^{\circ}\text{C}/\text{นาที}$ นำเจลแป้งที่ยังร้อนมาวัดค่า G' ทันทีด้วยเครื่อง Rheometer โดยใช้หัววัด pp25, 1 Hz, gap 2 mm., 0.01% strain ซึ่งอยู่ในช่วง linear region วัดที่อุณหภูมิ 9°C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง นำค่า G' ที่เวลาต่างๆ มาคำนวณอัตราการเกิดรีโทร-กราเดชันของเจลแป้งด้วย Avrami equation

ง. ศึกษาผลของชนิดและปริมาณสาร surfactants ต่อการเกิดรีโทรกราเดชันของเส้นก๋วยเตี๋ยว

เตรียม surfactants ตามข้อ 3.3.2. ก และนำไปเติมลงในน้ำแป้ง ผลิตเป็นเส้นก๋วยเตี๋ยวตามข้อ 3.3.1 ข นำเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เติม surfactant และไม่เติม surfactant มาเก็บที่อุณหภูมิ 9, 30 และ 40°C เป็นระยะเวลา 0, 24, 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมง วัดคุณภาพดังนี้

ตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยว

- ทดสอบคุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyzer ดัดแปลง จากวิธีของ Inglett และคณะ (2005) เช่นเดียวกับข้อ 3.3.1. ค
- ทดสอบการเปลี่ยนแปลงเชิงความร้อนด้วยเครื่อง DSC ตามวิธีของ Perdon และคณะ (1999) เช่นเดียวกับข้อ 3.3.1. ค
- ตรวจสอบโครงสร้างภายใน ด้วยเครื่อง X-ray Diffraction ตามวิธีของ Shi และ Seib (1992) เช่นเดียวกับข้อ 3.3.1. ค

3.3.3 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ใช้แผนการทดลองแบบ Factorial in CRD วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ทดสอบความแตกต่างด้วยวิธี DMRT (duncan's new multiple range test) ด้วยโปรแกรม SAS Version 8

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์

4.1 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการเก็บรักษาต่อการเกิดรีโทรกราเคนของเส้นก๋วยเตี๋ยว

4.1.1 องค์ประกอบพื้นฐานของแป้งทางด้านเคมี เคมีกายภาพ และกายภาพ

ก. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

องค์ประกอบทางเคมีของแป้งที่ใช้ในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวมีผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ ได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้าแสดงผลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของแป้ง

ตัวอย่าง	องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละน้ำหนักแห้ง)					
	ความชื้น	เถ้า	โปรตีน	ไขมัน	คาร์โบไฮเดรต	อะมิโลส
แป้งข้าวเจ้า	13.16	0.30	6.56	0.46	79.52	28.84
	± 0.08	± 0.06	± 0.17	± 0.01	± 0.15	± 0.34

หมายเหตุ $\pm$ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของแป้งข้าว พบว่ามีปริมาณความชื้น $13.16 \pm 0.08\%$ ปริมาณเถ้า $0.30 \pm 0.06\%$ ปริมาณโปรตีน $6.56 \pm 0.17\%$ ปริมาณโปรตีนแสดงถึงคุณภาพของแป้งสูงและมีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์ เมล็ดข้าวที่มีโปรตีนสูงทำให้ข้าวสุกกระด้างและสีคล้ำกว่าเมล็ดข้าวที่มีโปรตีนต่ำ ดังนั้นปริมาณโปรตีนมีผลต่อสีและความเหนียวของเส้นก๋วยเตี๋ยว เส้นก๋วยเตี๋ยวที่มีปริมาณโปรตีนสูงทำให้เส้นมีสีคล้ำและเนื้อสัมผัสกระด้าง โดยทั่วไปในเมล็ดข้าวมีโปรตีนเฉลี่ย 7% เป็นปริมาณโปรตีนที่มีอยู่น้อย (อรอนงค์, 2547) ดังนั้นปริมาณโปรตีนที่มีในแป้งข้าวเจ้าที่ใช้เป็นวัตถุดิบอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้ได้ สำหรับปริมาณไขมันในแป้งมี $0.46 \pm 0.01\%$ และมีปริมาณคาร์โบไฮเดรต $79.52 \pm 0.15\%$ ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่มีมากที่สุด ในแป้ง องค์ประกอบทางเคมีของแป้งที่ใช้ในการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยที่ผ่านมา (เสนอ, 2522; อรพรรณ, 2547; Yoenyongbuddhagal และ Noomhorm, 2002) และจากการทดลองพบว่ามีปริมาณอะมิโลส $28.84 \pm 0.34\%$ ปริมาณอะมิโลสมีความสัมพันธ์กับสมบัติการดูดซับน้ำของข้าวหรือแป้งข้าว ข้าวที่

มีอะมิโลสสูงจะดูดน้ำ ขยายตัว และพองตัวในระหว่างการหุงต้มได้มากกว่าข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ นอกจากนี้ปริมาณอะมิโลสยังมีความสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อสัมผัสในด้านความนุ่มหรือความเหนียว และความร่วน (เสนอ, 2522) ดังนั้นปริมาณอะมิโลสในแป้งข้าวเจ้าจึงสามารถคาดคะเนลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวได้ ผลผลิตก๋วยเตี๋ยวนิยมใช้ข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสสูง (มากกว่า 27% ขึ้นไป) เนื่องจากข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสสูง การขยายตัวของแป้งเป็นไปอย่างมั่นคง แข็งแรง ไม่ยุบตัวง่าย สามารถต้านทานการแตกสลายของเอนไซม์ที่อุณหภูมิสูงได้มาก สามารถทำเป็นแผ่นได้ดี (พิมพ์เพ็ญ, 2533) ดังนั้นจากการวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสในแป้งข้าวเจ้า พบว่าเป็นแป้งข้าวเจ้าที่มีปริมาณอะมิโลสสูง จึงเหมาะในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว

ข. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีกายภาพ

ความคงตัวของเจลเป็นคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ โดยลักษณะของแป้งสุกบ่งบอกถึงลักษณะคุณภาพความคงตัวของเจلدังตารางที่ 4 แป้งสุกอ่อนมีความนุ่มของเจลมากกว่าแป้งสุกที่มีลักษณะแข็ง ผลการวิเคราะห์ความคงตัวของเจลแป้งที่ใช้ผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 4 ระยะทางที่แป้งไหล

ระยะทางที่แป้งไหล(มล.)	ความคงตัวของเจล	ข้าวสุก
25-40	แข็ง	ร่วนมาก
41-60	ปานกลาง	ค่อนข้างร่วน
61-100	อ่อน	นุ่ม

ที่มา : งามชื่น (2529)

ตารางที่ 5 ความคงตัวของเจลแป้ง

ตัวอย่าง	ระยะทาง(มล.)
แป้งข้าวเจ้า	53.50 ± 0.71

หมายเหตุ $\pm$ คือค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ย

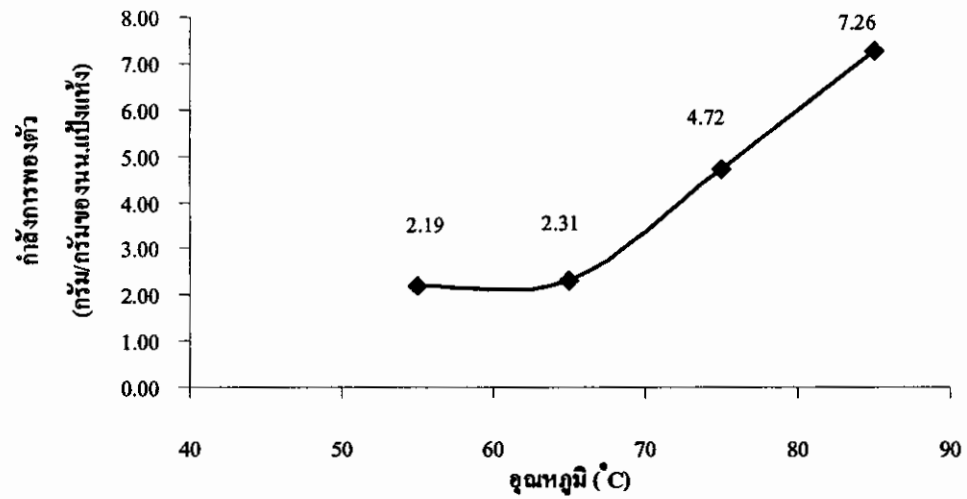
จากผลการทดลองค่าความคงตัวของเจลแป้งข้าวเจ้า พบว่าแป้งข้าวเจ้ามีระยะทางการไหล 53.50 มิลลิเมตร แสดงถึงลักษณะของแป้งสุกค่อนข้างร่วนและมีความคงตัวของเจลปานกลาง สอดคล้องกับการทดลองของ อรพรรณ (2547) วิเคราะห์แป้งข้าวเจ้าทางการค้ามีความคงตัว 51

มิลลิเมตร มีความคงตัวของเจลปานกลาง เมื่อหุงเป็นข้าวสุกค่อนข้างร่วน และค่าความคงตัวของเจล มีความสัมพันธ์กับปริมาณอะมิโลสด้วย โดยแป้งข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสสูงความคงตัวของเจลสูงตามด้วย สอดคล้องกับการศึกษาของ Ott และ Hester (1965) ได้ทดลองความคงตัวของเจลเมื่อเพิ่มปริมาณอะมิโลสในแป้งข้าวโพด พบว่าค่าความคงตัวของเจลสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณอะมิโลส ปริมาณอะมิโลสช่วยให้เจลเกิดโครงร่างตาข่าย ซึ่งช่วยในการกักเก็บน้ำและเป็นตัวเชื่อมเม็ดสตาร์ช และส่วนต่างๆ ซึ่งเส้นก้วยเดี่ยวเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความคงตัวและความเหนียวของเส้น ดังนั้น แป้งข้าวเจ้าหรือข้าวพันธุ์ที่มีอะมิโลสสูงจึงเหมาะในการผลิตเส้นก้วยเดี่ยว และจากการทดลองหาปริมาณอะมิโลสในแป้งพบว่าปริมาณอะมิโลสสูง จึงเหมาะในการผลิตเส้นก้วยเดี่ยว

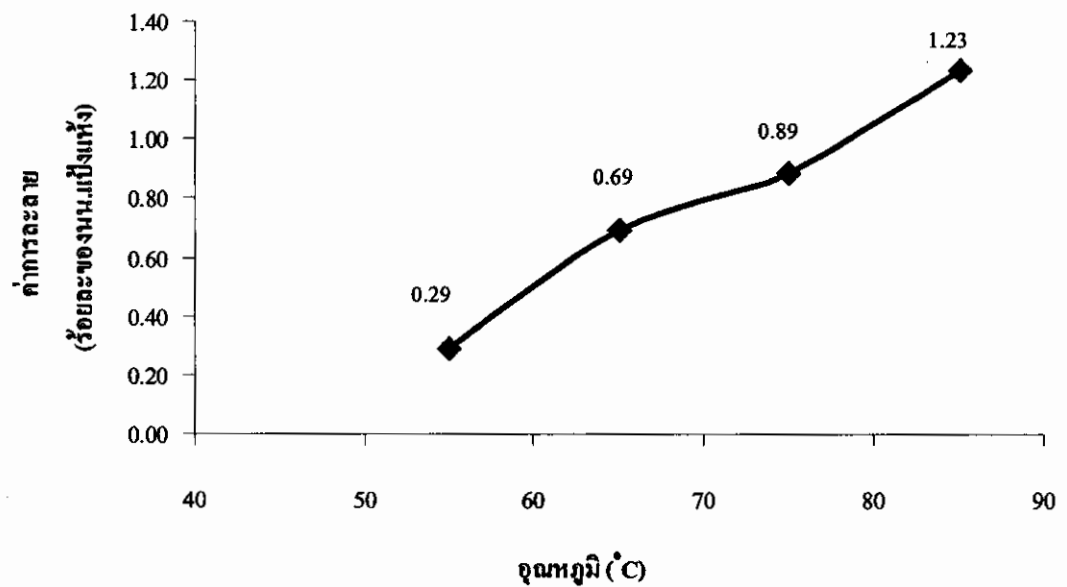
ค. การวิเคราะห์ห่อหุ้มประกอบทางกายภาพ

จากการวัดค่ากำลังการพองตัวและค่าการละลายของแป้งข้าวเจ้า พบว่าที่อุณหภูมิ 55, 65, 75 และ 85 °C มีกำลังการพองตัว 2.19, 2.31, 4.72 และ 7.26 กรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และมีค่าการละลาย 0.29%, 0.69%, 0.89% และ 1.23% ของน้ำหนักแป้งแห้ง ตามลำดับ สอดคล้องกับการทดลองของอรพรรณ (2547) พบว่ากำลังการพองตัวของแป้งข้าวเจ้าชนิดโม่น้ำ ที่อุณหภูมิ 55, 65, 75 และ 85 °C มีกำลังการพองตัว 2.06 - 6.68 กรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง และมีค่าการละลาย 0.39 - 1.41% ของน้ำหนักแป้งแห้ง ผลจากการทดลองแสดงดังรูปที่ 13 และ 14 พบว่ากำลังการพองตัวและค่าการละลายมีค่าแตกต่างกันตามอุณหภูมิการทดลอง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นกำลังการพองตัวและค่าการละลายมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าการละลายมีผลต่อเนื่องจากกำลังการพองตัวของเม็ดสตาร์ช ที่อุณหภูมิค่าการพองตัวของเม็ดสตาร์ชพองตัวได้น้อยไม่เพียงพอให้โมเลกุลขนาดใหญ่เป็นอิสระและละลายออกมาได้ แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้โมเลกุลอิสระละลายออกมาได้มากขึ้นทำให้ค่าการละลายเพิ่มสูงขึ้น การละลายของแป้งมากขึ้น (Yoenyongbuddhagal และ Noomhorm, 2002) และจากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 55 °C มีค่ากำลังการพองตัวและค่าการละลายค่าที่ต่ำเนื่องจากอุณหภูมิที่ 55 °C เป็นอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลในเซชัน แป้งดิบจะไม่ละลายในน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลในเซชัน เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งที่อยู่ใกล้ๆ กัน เชื่อมต่อกันอยู่ แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิถึง 65°C พันธะไฮโดรเจนคลายตัว เม็ดสตาร์ชจะดูดซึมน้ำแล้วพองตัวอย่างรวดเร็วและถาวร น้ำสามารถซึมผ่านเข้าไปในเม็ดสตาร์ชได้ ทำให้มีค่าการพองตัวและการละลายสูงตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น (Yoenyongbuddhagal และ Noomhorm, 2002; Singh และคณะ, 2003) สอดคล้องกับการทดลองของ Tester และ Morrison (1990) พบว่าสตาร์ชข้าวมีกำลังการพองตัวที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลในเซชันเล็กน้อย นอกจากนี้ยังพบว่ากำลังการพองตัวมีความสัมพันธ์กับลักษณะความแข็งแรงของเจล แป้งที่มีค่า

กำลังการพองตัวของเจลสามารถอุ้มน้ำได้ดี ทำให้เส้นก๋วยเตี๋ยวมียืดหยุ่นเหนียวซึ่งเป็นลักษณะที่ต้องการ(Crosbie, 1991)



รูปที่ 13 ผลกำลังการพองตัวของแป้ง



รูปที่ 14 ผลค่าการละลายของแป้ง

4.1.2 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการเก็บต่อการเกิดรีโทรกราเดชันของเส้นก๋วยเตี๋ยว

นำเส้นก๋วยเตี๋ยวเก็บที่อุณหภูมิ 9, 30 และ 40 °C เป็นระยะเวลา 0, 24, 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมง จากนั้นทำการวัดคุณภาพเส้นก๋วยเตี๋ยวโดยการหาปริมาณความชื้น วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyzer ทดสอบการเปลี่ยนแปลงเชิงความร้อนด้วยเครื่อง DSC ทดสอบโครงสร้างภายในโดยใช้ X-ray Diffraction เพื่อศึกษาการเกิดการรีโทรกราเดชันของเส้นก๋วยเตี๋ยว

ก. ผลการทดสอบด้านปริมาณความชื้น

อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บมีผลต่อปริมาณความชื้นในเส้นก๋วยเตี๋ยวอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 1) เมื่อเก็บเส้นก๋วยเตี๋ยวนานขึ้นปริมาณความชื้นในเส้นก๋วยเตี๋ยวมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเมื่อเก็บเส้นก๋วยเตี๋ยวเป็นเวลานาน เส้นก๋วยเตี๋ยวจะเกิดรีโทรกราเดชัน ทำให้มีน้ำแยกออกมา ความชื้นในเส้นก๋วยเตี๋ยวลดลง สอดคล้องกับการทดลองของ Lin และคณะ (2001) ที่ได้ศึกษาการเคลื่อนที่ของน้ำในเจลสตาร์ชของข้าวพันธุ์ต่างๆ 9 ชนิดที่มีปริมาณน้ำ 25% เก็บเป็นระยะเวลา 1 เดือน โดยตรวจสอบด้วยเครื่อง NMR พบว่าระยะเวลาการเก็บในช่วง 6 วันแรก การเคลื่อนที่ของน้ำจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและหลังจากนั้นการเคลื่อนที่

ตารางที่ 6 อิทธิพลของระยะเวลาและอุณหภูมิการเก็บต่อปริมาณความชื้นของเส้นก๋วยเตี๋ยว

ระยะเวลาการเก็บรักษา ชั่วโมง	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)		
	9°C	30°C	40°C
0	53.11 ^{aA} ±0.15	53.11 ^{aA} ±0.15	53.11 ^{ba} ±0.15
24	52.92 ^{aA} ±0.05	53.20 ^{aA} ±0.14	53.82 ^{aA} ±0.53
48	51.76 ^{bb} ±0.23	53.44 ^{aAB} ±0.25	52.52 ^{cbB} ±0.30
72	51.29 ^{bb} ±0.26	52.36 ^{aB} ±0.23	52.39 ^{ca} ±0.10
96	50.73 ^{dB} ±0.38	51.89 ^{cbA} ±0.08	51.92 ^{cdA} ±0.05
120	50.57 ^{dB} ±0.33	51.48 ^{ca} ±0.24	51.62 ^{da} ±0.23

หมายเหตุ ± คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

อักษรตัวเล็กแสดงความแตกต่างตามแนวนอน ($P \leq 0.05$)

อักษรตัวใหญ่แสดงความแตกต่างตามแนวตั้ง ($P \leq 0.05$)

ของน้ำจะลดลง การเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ของน้ำช่วงแรกเป็นผลจากอะมิโลส ในช่วงหลังเป็นผลจากอะมิโลเพคติน

จากการทดลองเส้นก๋วยเตี๋ยวมี่ปริมาณน้ำแป้ง 42% ปริมาณความชื้นเริ่มต้นอยู่ในช่วง 53% เก็บที่อุณหภูมิ 9, 30 และ 40 °C ความชื้นมีแนวโน้มลดลงในระหว่างการเก็บรักษานาน 120 ชั่วโมง เนื่องจากเกิดการเกิดรีโทรกราเดชันของเส้นก๋วยเตี๋ยว ปริมาณน้ำในเจลสตาร์ชมีผลต่อการเกิดรีโทรกราเดชัน ถ้าปริมาณน้ำในระบบต่ำกว่า 10% ทำให้โมเลกุลอะมิโลสและอะมิโลเพคตินไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ทำให้โมเลกุลรวมตัวกันได้น้อย การเกิดรีโทรกราเดชันเป็นไปได้ยาก และถ้าหากปริมาณน้ำสูงเกิน 80% โมเลกุลอะมิโลสและอะมิโลเพคตินอยู่ในระบบเจือจางรวมตัวกันได้น้อยเกิดรีโทรกราเดชันได้ยากเช่นกัน (Yuan และคณะ, 1993) สอดคล้องกับการทดลองของ Gudmundson (1994) พบว่าเจลสตาร์ชที่เข้มข้น 50-55% เกิดรีโทรกราเดชันได้มากที่สุด และการทดลองของ Kim และคณะ (1997) พบว่าเมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำในสตาร์ชข้าว 30% และ 50% ปริมาณน้ำในสตาร์ชข้าว 50% เก็บเป็นเวลา 3 วัน เกิดรีโทรกราเดชันสูงสุด และเมื่อเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิการเก็บ พบว่าก๋วยเตี๋ยวที่เก็บที่อุณหภูมิ 9 °C มีความชื้นต่ำกว่าก๋วยเตี๋ยวเก็บที่อุณหภูมิ 30 และ 40 °C เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำเกิดรีโทรกราเดชันได้มาก สอดคล้องกับการทดลองของ Bailk และคณะ (1997) ได้ทดลองการเกิดผลึกของเจลสตาร์ชข้าวเจ้าและข้าวเหนียวที่มีความชื้น 60% เก็บที่อุณหภูมิ -20, -12, 4, 20 และ 30 °C พบว่าที่อุณหภูมิ 4 °C เกิดนิวเคลียสและการเจริญของนิวเคลียสมากที่สุด และที่อุณหภูมิต่ำกว่า -20 และสูงกว่า 30 °C ไม่เกิดผลึก เนื่องจากที่อุณหภูมิแช่เยือกแข็งสตาร์ชไม่สามารถเคลื่อนที่ได้จึงเกิดรีโทรกราเดชันได้น้อย

ข. ผลการทดสอบด้วยเครื่อง Texture Analyzer

จากการศึกษาเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวด้วยเครื่อง Texture Analyzer โดยเก็บเส้นก๋วยเตี๋ยวที่อุณหภูมิ 9, 30 และ 40 °C เป็นระยะเวลา 0, 24, 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมง แสดงดังตารางที่ 7 พบว่าระยะเวลาการเก็บและอุณหภูมิการเก็บมีผลต่อเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 2) เส้นก๋วยเตี๋ยวเก็บที่อุณหภูมิ 9, 30 และ 40 °C ระยะเวลา 0 ชั่วโมงมีค่าแรงกดสูงสุด ณ จุดที่เส้นก๋วยเตี๋ยวขาด 3,465.4 กรัม แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นจาก 0 ถึง 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 9, 30 และ 40 °C ค่าแรงกดสูงสุด ณ จุดที่เส้นก๋วยเตี๋ยวขาดที่ได้ คือ 6,680.8, 3,971.6 และ 3,720.6 กรัม ตามลำดับ ค่าแรงกดสูงสุด ณ จุดที่เส้นก๋วยเตี๋ยวขาดจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บมากขึ้นและที่อุณหภูมิ 9 °C ค่าแรงกดสูงสุด ณ จุดที่เส้นก๋วยเตี๋ยวขาดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วกว่าที่อุณหภูมิ 30 และ 40 °C ทำให้เส้นก๋วยเตี๋ยวเก็บที่อุณหภูมิ 9 °C มี

ตารางที่ 7 อิทธิพลของระยะเวลาและอุณหภูมิการเก็บต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยว

ชั่วโมงที่	ค่าแรงสูงสุด(กรัม)			ระยะทางสูงสุด(มิลลิเมตร)		
	9°C	30°C	40°C	9°C	30°C	40°C
0	3465.39 ^{aE}	3465.39 ^{aD}	3465.39 ^{aE}	6.81 ^{aA}	6.81 ^{aBC}	6.81 ^{aB}
24	6680.80 ^{aC}	3971.56 ^{bC}	3720.63 ^{cD}	3.45 ^{bB}	7.19 ^{aA}	7.47 ^{aA}
48	10388.70 ^{aD}	4512.51 ^{bB}	3954.74 ^{cC}	3.38 ^{cB}	7.01 ^{bAB}	7.50 ^{aA}
72	11385.40 ^{aB}	4667.20 ^{bBA}	4134.64 ^{cC}	3.13 ^{bB}	6.84 ^{aAB}	7.02 ^{aB}
96	11748.10 ^{aAB}	4712.40 ^{bBA}	4359.37 ^{bB}	3.20 ^{cB}	6.61 ^{bCD}	7.08 ^{aB}
120	12251.40 ^{aA}	4893.10 ^{bA}	4720.04 ^{bA}	3.20 ^{cB}	6.38 ^{bD}	7.09 ^{aB}

หมายเหตุ อักษรตัวเล็กแสดงความแตกต่างตามแนวนอน ($P \leq 0.05$)

อักษรตัวใหญ่แสดงความแตกต่างตามแนวตั้ง ($P \leq 0.05$)

ความแข็งมากกว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวเก็บที่อุณหภูมิ 30 และ 40 °C แต่หลังจากระยะเวลาการเก็บ 48 ชั่วโมง ค่าแรงกดสูงสุด ณ จุดที่เส้นก๋วยเตี๋ยวขาดของเส้นก๋วยเตี๋ยวจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ โดยพบว่าที่ระยะเวลาเก็บ 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 9 °C มีค่าแรงกดสูงสุด ณ จุดที่เส้นก๋วยเตี๋ยวขาด 10,388.7, 11,385.4, 11,748.1 และ 12,251.4 กรัม ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 30 °C มีค่าแรงกดสูงสุด ณ จุดที่เส้นก๋วยเตี๋ยวขาด 4,512.5, 4,667.2, 4,712.4 และ 4,893.1 กรัม ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 40 °C ค่าแรงกดสูงสุด ณ จุดที่เส้นก๋วยเตี๋ยวขาด 3,954.7, 4,134.6, 4,359.4 และ 4,720.0 กรัม ตามลำดับ ดังนั้นพบว่าค่าแรงกดสูงสุด ณ จุดที่เส้นก๋วยเตี๋ยวขาดจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาการเก็บ โดยที่อุณหภูมิ 9 °C ค่าแรงกดสูงสุด ณ จุดที่เส้นก๋วยเตี๋ยวขาดจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นเร็วกว่าที่อุณหภูมิที่อุณหภูมิ 30 และ 40 °C เนื่องจากอัตราการเกิดผลึกของสตาร์ชขึ้นอยู่กัอุณหภูมิ โดยผลึกจะเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิ $T_g < T < T_m$ ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่สตาร์ชมีสภาพเหนียวคล้ายยาง และจากการทดลองพบว่าอุณหภูมิที่ 9 °C เป็นอุณหภูมิที่สูงกว่า T_g ($T_g = -5$ °C) และต่ำกว่า T_m ($T_m = 60$ °C) เจลสตาร์ชที่เก็บที่อุณหภูมิสูงกว่า T_g จะเกิดรีโทรกราเดชันได้มากเนื่องจากโมเลกุลของเจลสตาร์ชไม่เสถียร มีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาทำให้โมเลกุลของอะมิโลสเคลื่อนที่เข้าใกล้กันและเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลและเกิดผลึกมากขึ้น และเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 และ 40 °C เป็นช่วงที่อุณหภูมิใกล้ T_m การเกิดรีโทรกราเดชันจึงเกิดได้อย่างช้าๆ ทำให้ความแข็งของเส้นก๋วยเตี๋ยวเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ดังนั้นอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บมีความสัมพันธ์กับการเกิดรีโทรกราเดชัน Chang และ Lui (1991) พบว่าในช่วงแรกสตาร์ชข้าวเจ้าจะเกิดรีโทรกราเดชันอย่าง

รวดเร็วเนื่องจากการรวมตัวของโมเลกุลอะมิโลส เมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น โมเลกุลของอะมิโลเพคตินจัดเรียงตัวเป็นเส้นตรงและจับกันเป็นผลึกได้เช่นเดียวกับโมเลกุลอะมิโลส และเมื่อพิจารณาระยะทาง ณ จุดที่เส้นก่ายเดี่ยวขาด พบว่าที่ระยะเวลาการเก็บ 0, 24, 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 9 °C มีระยะทาง ณ จุดที่เส้นก่ายเดี่ยวขาด 6.81, 3.45, 3.38, 3.13, 3.20 และ 3.20 มิลลิเมตรตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 30 °C มีระยะทาง ณ จุดที่เส้นก่ายเดี่ยวขาด 6.81, 7.19, 7.01, 6.84, 6.61 และ 6.38 มิลลิเมตร ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 40 °C มีระยะทาง ณ จุดที่เส้นก่ายเดี่ยวขาด 6.81, 7.47, 7.50, 7.02, 7.08 และ 7.09 มิลลิเมตร ตามลำดับ ดังนั้นจะพบว่าที่อุณหภูมิ 9 °C ระยะเวลาการเก็บจาก 0 ถึง 24 ชั่วโมง ระยะทาง ณ จุดที่เส้นก่ายเดี่ยวขาดมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว และหลังจากระยะเวลา 48 ชั่วโมง ค่าแรงกดสูงสุด ณ จุดที่เส้นก่ายเดี่ยวขาดจะลดลงอย่างช้าๆ แต่ที่อุณหภูมิ 30 และ 40 °C การเปลี่ยนแปลงของระยะทาง ณ จุดที่เส้นก่ายเดี่ยวขาดมีค่าลดลงอย่างช้าๆ ซึ่งพบว่าค่าแรงกดสูงสุดและระยะทาง ณ จุดที่เส้นก่ายเดี่ยวขาดมีความสอดคล้องกัน คือเมื่อเก็บรักษาเส้นก่ายเดี่ยวเป็นระยะเวลานานขึ้นค่าแรงกดสูงสุด ณ จุดที่เส้นก่ายเดี่ยวขาดเพิ่มขึ้นจนกระทั่งคงที่ และระยะทาง ณ จุดที่เส้นก่ายเดี่ยวขาดจะมีค่าลดลง ค่าที่ได้แตกต่างกันแล้วแต่อุณหภูมิการเก็บรักษา ซึ่งจะทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นก่ายเดี่ยวเปลี่ยนแปลงจากเหนียวยืดหยุ่นกลายเป็นแข็งและเปราะ สอดคล้องกับการทดลองของ Gujral และ Pathak (2002) ที่ได้ทดลองวัดเนื้อสัมผัสของขนม chapatti (เป็นขนมปังที่ไม่ได้ใส่เชื้อให้ขึ้นฟู ทำจากแป้งสาลีเป็นอาหารของประเทศอินเดียและตะวันออกกลาง) โดยเปรียบเทียบขนม chapatti สดกับขนม chapatti ที่เก็บไว้เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าขนม chapatti สดมีความนุ่มและยืดหยุ่นสูง โดยค่าแรงกดที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียรูปร่างมีค่าต่ำแต่ละระยะทางที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียรูปร่างมีค่าสูง และเมื่อเก็บเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ความแข็งและความเปราะของขนม chapatti เพิ่มขึ้น บ่งชี้โดยค่าแรงของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างมีค่าเพิ่มขึ้น และระยะทางที่ทำให้เสียรูปร่างมีค่าลดลง

ค ผลการทดสอบด้วยเครื่อง DSC

เส้นก่ายเดี่ยวเก็บที่อุณหภูมิ 9, 30 และ 40 °C เป็นระยะเวลา 0, 24, 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมง วิเคราะห์ค่า ΔH , T_o , T_p และ T_c แสดงดังตารางที่ 8 พบว่ามีค่า T_o ในช่วง 40 - 60 °C และค่า T_c อยู่ในช่วง 67-79 °C ΔH ของการเกิดรีโทรกราเดชันของอะมิโลเพคตินพบได้ชัดเจนที่สุดที่อุณหภูมิ 9 °C แต่ที่อุณหภูมิ 30 °C จะเริ่มเห็น Endothermic peak ที่ระยะเวลา 96 ชั่วโมง ส่วนที่ 40 °C จะมองไม่เห็น Endothermic peak ตลอดระยะเวลาการทดลอง ดังนั้นอุณหภูมิและระยะเวลาที่มีผลต่อการเกิดผลึก ระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิ 9 และ 30 °C ค่า ΔH ของการเกิดรีโทรกราเดชันเพิ่มขึ้น และอุณหภูมิการเก็บที่ 9 °C มีค่า ΔH ของการเกิดรีโทรกราเดชันมากกว่า

ตารางที่ 8 อิทธิพลของระยะเวลาและอุณหภูมิการเก็บต่อค่า ΔH , T_o , T_p และ T_c

ระยะเวลา (ชม.)	อุณหภูมิ (°C)	ΔH (J/g)	T_o (°C)	T_p (°C)	T_c (°C)
0	9	ND	ND	ND	ND
	30	ND	ND	ND	ND
	40	ND	ND	ND	ND
24	9	1.67±0.04	44.49±2.05	55.81±2.96	67.96±2.21
	30	ND	ND	ND	ND
	40	ND	ND	ND	ND
48	9	2.62±0.06	42.88±1.90	53.21±1.18	67.90±0.92
	30	ND	ND	ND	ND
	40	ND	ND	ND	ND
72	9	3.17±0.14	45.46±0.45	55.93±0.02	67.69±0.36
	30	ND	ND	ND	ND
	40	ND	ND	ND	ND
96	9	3.32±0.01	43.63±0.78	54.22±0.00	69.28±0.00
	30	1.56±0.57	60.95±2.71	65.87±1.74	79.59±6.56
	40	ND	ND	ND	ND
120	9	3.43±0.01	40.81±3.77	55.40±3.07	70.48±2.33
	30	1.81±0.61	56.97±0.97	66.28±0.70	76.35±2.37
	40	ND	ND	ND	ND

หมายเหตุ Nd = no endothermic peak

± คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ที่อุณหภูมิ 30 และ 40 °C ทั้งนี้เนื่องจากที่อุณหภูมิ 9 °C เป็น อุณหภูมิที่เกิดผลึกได้มากที่สุดและที่อุณหภูมิ 40 °C เกิดผลึกได้น้อยที่สุดเป็นไปในทิศทางเดียวกับผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Texture Analyzer และสอดคล้องกับการทดลองของ Baik และคณะ (1997) ซึ่งศึกษาการเปลี่ยนแปลงการเกิดผลึกของสตาร์ชข้าวเจ้าและสตาร์ชข้าวเหนียวเป็นระยะเวลา 9 วัน พบว่าทั้งในสตาร์ชข้าวเจ้าและสตาร์ชข้าวเหนียวเกิดผลึกสูงสุดที่อุณหภูมิ 4 °C และเกิดผลึกต่ำสุดที่อุณหภูมิต่ำกว่า -20 °C และมากกว่าอุณหภูมิ 30 °C เนื่องจากผลึกสามารถเกิดขึ้น ได้มากที่สุดที่อุณหภูมิสูงกว่า T_g และต่ำกว่า T_m และจากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 9 °C มี Endothermic peak กว้างกว่าที่อุณหภูมิ 30 °C อาจเนื่องมาจากการเก็บที่อุณหภูมิ 9 °C เกิดผลึกนิวเคลียสได้ง่ายกว่าที่อุณหภูมิ 30 °C ทำให้การเก็บ

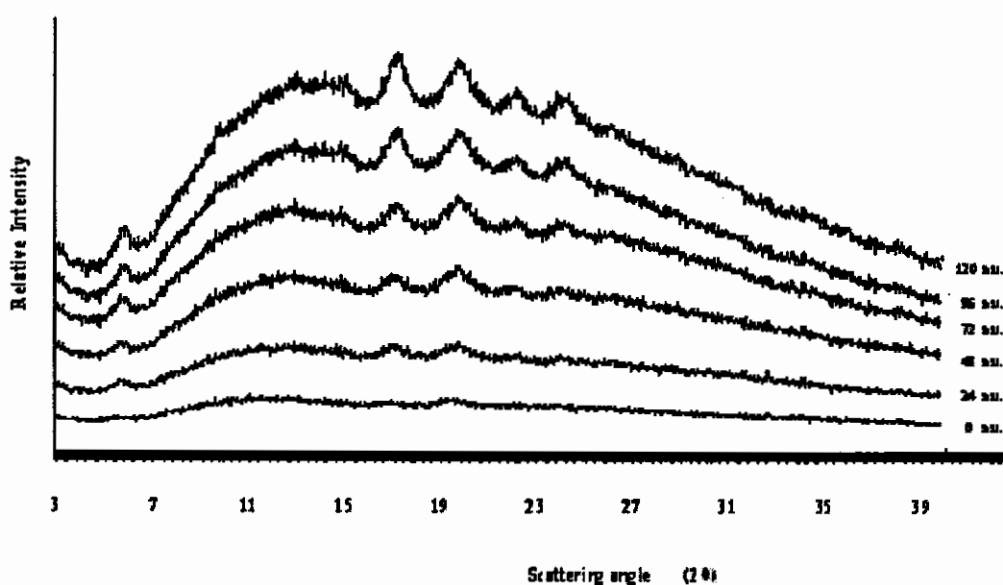
เส้นก๊วยเตี๋ยวที่อุณหภูมิ 9°C มีอุณหภูมิ T_0 ของผลึกอะมิโลเพคตินเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำกว่าการเก็บที่อุณหภูมิ 30°C สอดคล้องกับการทดลองของ Yuan และคณะ (1993) พบว่า T_0 ของอะมิโลเพคตินเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิการเก็บ เนื่องจากการเก็บที่อุณหภูมิสูงโมเลกุลของอะมิโลเพคตินสายยาวไม่เสถียรเคลื่อนที่เข้ามาพันกันเป็นเกลียวคู่และจัดเรียงตัวเป็นโครงร่างผลึกที่เสถียร ทำให้ผลึกอะมิโลเพคตินที่เก็บที่อุณหภูมิสูงเกิดรีโทรกราเดชันได้มากขึ้น มีความแข็งแรงมากขึ้น และเกิดผลึกที่สมบูรณ์ ทำให้อุณหภูมิที่ใช้สลายผลึกอะมิโลเพคตินของเจลสตาร์ชที่เก็บที่อุณหภูมิสูงต้องใช้ อุณหภูมิสูงในการสลายผลึก ส่วนการเก็บที่อุณหภูมิต่ำเกิดนิวเคลียสมากกว่าการเจริญเติบโตของผลึกนิวเคลียสที่เกิดขึ้นเป็นผลึกที่ไม่เสถียร ทำให้อุณหภูมิ T_0 มีค่าต่ำ (Vandeputte และคณะ, 2003; Lu และ Jane, 1997; Chang และ Lui, 1991; Gudmundsson, 1994) เมื่อพิจารณาระยะเวลาเก็บพบว่าระยะเวลาเก็บเส้นก๊วยเตี๋ยวมีผลต่อการเกิดรีโทรกราเดชันด้วย เมื่อระยะเวลาเก็บนานขึ้นค่า ΔH สูงขึ้น แสดงว่ามีการเกิดรีโทรกราเดชันเพิ่มสูงขึ้นด้วย โดยที่อุณหภูมิ 9°C ในช่วง 48 ชั่วโมงแรก มีค่า ΔH สูง ดังนั้นที่อุณหภูมิ 9°C ในช่วงแรกของการเก็บรักษาสามารถเกิดรีโทรกราเดชันอย่างรวดเร็ว แต่หลังจากนั้นจะเกิดอย่างช้าๆ และมีแนวโน้มคงที่ และที่อุณหภูมิ 30°C การเกิดรีโทรกราเดชันของอะมิโลเพคตินเกิดขึ้นได้น้อย การเก็บเส้นก๊วยเตี๋ยวที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 96 และ 72 ชั่วโมง มีค่า ΔH ต่ำกว่าการเก็บเส้นก๊วยเตี๋ยวที่อุณหภูมิ 9°C

ง. ผลการทดสอบด้วยเครื่อง X-ray diffraction

จากการวิเคราะห์การเกิดรีโทรกราเดชันด้วยเครื่อง Texture และ DSC พบว่าที่อุณหภูมิ 9°C เกิดรีโทรกราเดชันมากที่สุดและเกิดได้เร็วที่สุด ดังนั้นจึงนำเส้นก๊วยเตี๋ยวเก็บที่ 9°C เป็นระยะเวลา 0, 24, 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมง มาศึกษาความเป็นผลึกของอะมิโลเพคตินในการเกิดรีโทรกราเดชันด้วยเครื่อง X-ray diffraction พบว่าเส้นก๊วยเตี๋ยวเกิดผลึกเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาเก็บ โดยเก็บเส้นก๊วยเตี๋ยวที่ 24 ชั่วโมง เกิดพีคที่ 17.0° และ $20.0^{\circ} 2\theta$ ตามลำดับ ที่ 48 ชั่วโมง เกิดพีคที่ 17.0° , 20.0° และ $24.0^{\circ} 2\theta$ ที่ 72 ชั่วโมง เกิดพีคที่ 17.0° , 20.0° , 22.2° และ $24.0^{\circ} 2\theta$ ที่ 96 ชั่วโมง เกิดพีคที่ 17.0° , 20.0° , 22.2° และ $24.0^{\circ} 2\theta$ และที่ 120 ชั่วโมง เกิดพีคที่ 17.0° , 20.0° , 22.2° และ $24.0^{\circ} 2\theta$ (ดังรูปที่ 15) จากการทดลองของ Ribotta และคณะ (2004) พบว่าพีคที่ $20^{\circ} 2\theta$ สัมพันธ์กับโครงสร้าง V-type แสดงการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของอะมิโลสกับไขมันเกิดเป็นลักษณะเกลียว และพีคที่ 15° , 17° , 22.2° และ $24^{\circ} 2\theta$ สัมพันธ์กับโครงสร้าง B-type แสดงการเกิดรีโทรกราเดชันหรือการเกิดผลึกในผลิตภัณฑ์ และเมื่อพิจารณาปริมาณผลึกชนิด B-type ซึ่งคำนวณจากสมการที่ 6 พบว่าเส้นก๊วยเตี๋ยวเก็บที่เวลา 0, 24, 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมง มีปริมาณผลึกชนิด B-type คือ 0, 1.55%, 1.79%, 1.78%, 3.38% และ 3.04% ตามลำดับดังตารางที่ 9 ปริมาณผลึกชนิด B-

type เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บเส้นก๋วยเตี๋ยว แสดงว่าระยะเวลาเก็บเส้นก๋วยเตี๋ยวนานขึ้น เส้นก๋วยเตี๋ยวสามารถเกิดรีโทกราเดชันได้มากขึ้น

เมื่อพิจารณาปริมาณผลึกชนิด V-type ซึ่งคำนวณจากสมการที่ 7 พบว่าเมื่อเก็บเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เวลา 0, 24, 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมง เส้นก๋วยเตี๋ยวมีปริมาณผลึกชนิด V-type คือ 0.77%, 0.66%, 0.69%, 0.67%, 0.79% และ 0.66% ตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 9 แสดงว่าปริมาณผลึกชนิด V-type ไม่เปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาเก็บเช่นเดียวกับการทดลองของ Ribotta และคณะ (2004); Dragsdorf และ Marston (1980); Knightly (1977); Zobel และคณะ (1988) พบว่าโครงสร้าง B-type เพิ่มขึ้นหลังจากการเก็บใน 24 ชั่วโมงแรก เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้นผลึกชนิด B-type เพิ่มขึ้น และใน 24 ชั่วโมงแรกผลึกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่โครงสร้างผลึกชนิด V-type ไม่เปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการเก็บ ดังนั้นการศึกษาการเกิดรีโทกราเดชันของเส้นก๋วยเตี๋ยวด้วยเครื่อง X-ray diffraction พบว่าโครงสร้างผลึก B-type และจำนวนผลึก B-type แสดงถึงการเกิดรีโทกราเดชันของอะมิโลเพคตินซึ่งเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บ ส่วนค่าร้อยละความเป็นผลึกทั้งหมด (Total mass crystallinity, TC) ในเส้นก๋วยเตี๋ยวเก็บเป็นระยะเวลา 0, 24, 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 9 °C พบว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวมีค่าร้อยละความเป็นผลึกทั้งหมด 1.96%, 3.11%, 3.24%, 3.44%, 4.55% และ 4.64% ตามลำดับ (คำนวณได้จากสมการที่ 5)



รูปที่ 15 X-ray Diffractograms ของก๋วยเตี๋ยวเก็บที่อุณหภูมิ 9 °C เป็นระยะเวลาต่างๆ

ตารางที่ 9 อิทธิพลของระยะเวลาการเก็บต่อปริมาณผลึกกล้วยเดี่ยวที่เก็บที่ 9 °C

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ร้อยละความเป็นผลึก		
	TC	B-type	V-type
0	1.96	0	0.77
24	3.11	1.55	0.66
48	3.24	1.79	0.69
72	3.44	1.78	0.67
96	4.55	3.38	0.79
120	4.64	3.04	0.66

หมายเหตุ TC = Total mass crystallinity

4.2 ผลของชนิดและปริมาณสาร surfactants ต่อการเกิดรีโทรกราเดชันของเจลแป้งข้าวเจ้าและคุณภาพของเส้นกล้วยเดี่ยว

4.2.1 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดด้วยเครื่อง RVA

การวัดคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเจ้าที่ไม่เติม surfactants กับแป้งข้าวเจ้าที่เติม surfactants 3 ชนิด คือ MG ที่ระดับ 0.1%, 0.3% และ 0.5%, SSL ที่ระดับ 0.3%, 0.5% และ 0.7% และ GMS ที่ระดับ 0.08%, 0.2% และ 0.4% ตามลำดับ วิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA ที่อุณหภูมิระหว่าง 50 ถึง 95 °C ค่าที่ได้คืออุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืด ค่าความหนืดสูงสุด ค่า breakdown ค่าความหนืดสุดท้าย และค่า setback แสดงในตารางที่ 10 จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดของแป้งข้าวเจ้าที่ไม่เติม surfactants และเติม surfactants แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 3) โดยแป้งข้าวเจ้าที่เติม surfactants มีอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดสูงกว่าแป้งข้าวเจ้าที่ไม่เติม surfactants เนื่องจากการเติม surfactants เป็นเกราะป้องกันไม่ให้น้ำเข้าภายในเม็ดสตาร์ช ลดความสามารถในการจับน้ำได้ ช่วยรักษาโครงสร้างเม็ดสตาร์ช ดังนั้นแป้งข้าวเจ้าที่เติม surfactants มีอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดสูงกว่าแป้งที่ไม่เติม surfactants (Kim และ Walker, 1992; Mohamed และ Duare, 2003; Siswoyo และ Morita, 2003; Phillips และ Williams, 2000; Singh และคณะ, 2002) สอดคล้องกับการทดลองของ Azzi และ Rao (2005) การเติม surfactants เช่น SSL, DATEM, GMS และ distilled glycerol monostearate (DGMS) ในสตาร์ชข้าวสาลี สตาร์ชข้าวโพด และสตาร์ช มันฝรั่ง พบว่าสตาร์ชที่มีการเติม surfactants อุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดมีค่าสูงกว่าสตาร์ชที่ไม่เติม surfactants เช่นเดียวกับการทดลองของ Kaur และ Singh (2000)

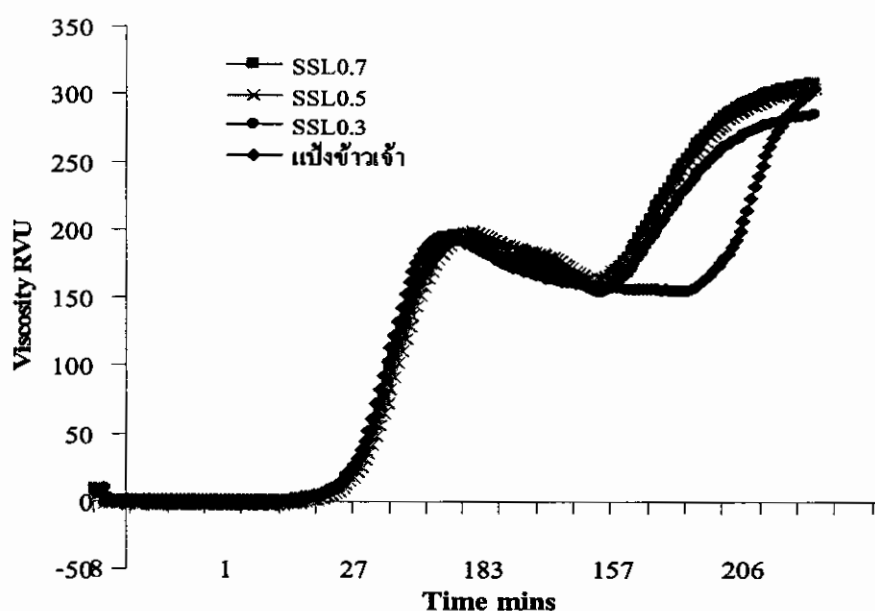
ตารางที่ 10 อิทธิพลของ surfactants ต่อความหนืดของแป้งข้าวเมียวด้วยเครื่อง RVA

ตัวอย่าง	Pasting temperature (°C)	Peak time (min)	Peak viscosity (RVU)	Breakdown (RVU)	Final viscosity (RVU)	Set back (RVU)
Control	87.97 ^e ±0.04	6.33 ^a ±0.00	202.25 ^{cd} ±0.82	31.00 ^f ±0.82	331.88 ^a ±1.82	160.63 ^a ±1.82
SSL 0.30%	89.20 ^d ±0.42	6.70 ^{cd} ±0.63	193.34 ^a ±2.82	37.79 ^{de} ±1.15	286.71 ^{cd} ±8.66	131.17 ^{cd} ±5.22
SSL 0.50%	90.39 ^{ab} ±0.78	6.80 ^{ab} ±0.14	195.38 ^a ±4.19	35.13 ^{fe} ±0.55	299.75 ^{ab} ±5.54	139.50 ^{ab} ±7.55
SSL 0.70%	89.95 ^{cd} ±0.45	6.64 ^b ±0.04	196.13 ^{bc} ±0.81	36.63 ^{fe} ±0.82	308.09 ^b ±1.49	148.88 ^b ±1.72
GMS0.08%	89.65 ^{cd} ±0.46	6.87 ^c ±0.18	202.92 ^{cd} ±3.97	44.84 ^e ±3.88	281.21 ^d ±4.53	123.13 ^c ±1.42
GMS0.20%	89.98 ^{cd} ±0.51	6.77 ^{cd} ±0.07	205.29 ^{cd} ±4.77	40.92 ^{de} ±0.89	293.13 ^{cd} ±3.14	128.75 ^{cd} ±2.33
GMS0.40%	89.28 ^{cd} ±0.80	6.87 ^{cd} ±0.07	207.75 ^d ±2.14	42.42 ^{cd} ±0.75	307.21 ^{ab} ±14.77	141.88 ^{cd} ±13.83
MG 0.10%	91.68 ^{ab} ±0.83	6.74 ^{cd} ±0.07	213.71 ^c ±2.68	51.42 ^b ±5.64	302.00 ^{ab} ±7.35	134.71 ^{cd} ±3.58
MG 0.30%	91.63 ^a ±0.46	6.71 ^{cd} ±0.07	216.75 ^b ±3.75	53.33 ^b ±3.75	300.09 ^b ±0.54	136.67 ^{cd} ±8.25
MG 0.50%	92.40 ^a ±0.75	6.84 ^{ab} ±0.10	223.54 ^a ±2.98	61.21 ^b ±5.87	303.75 ^b ±7.86	140.42 ^{ab} ±3.35

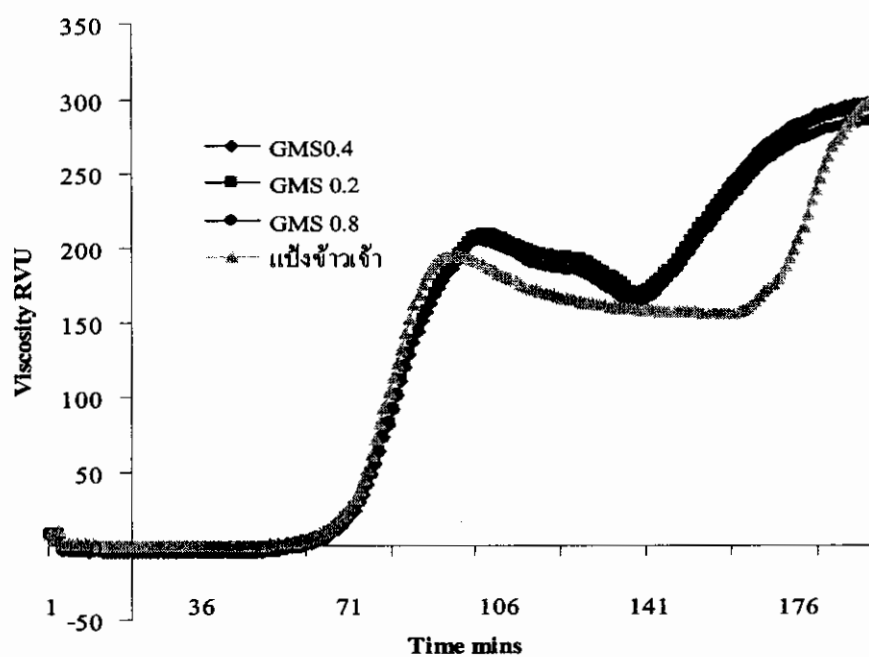
หมายเหตุ ± คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

อักษรตัวเล็กแสดงความแตกต่างตามแนวตั้ง (P ≤ 0.05)

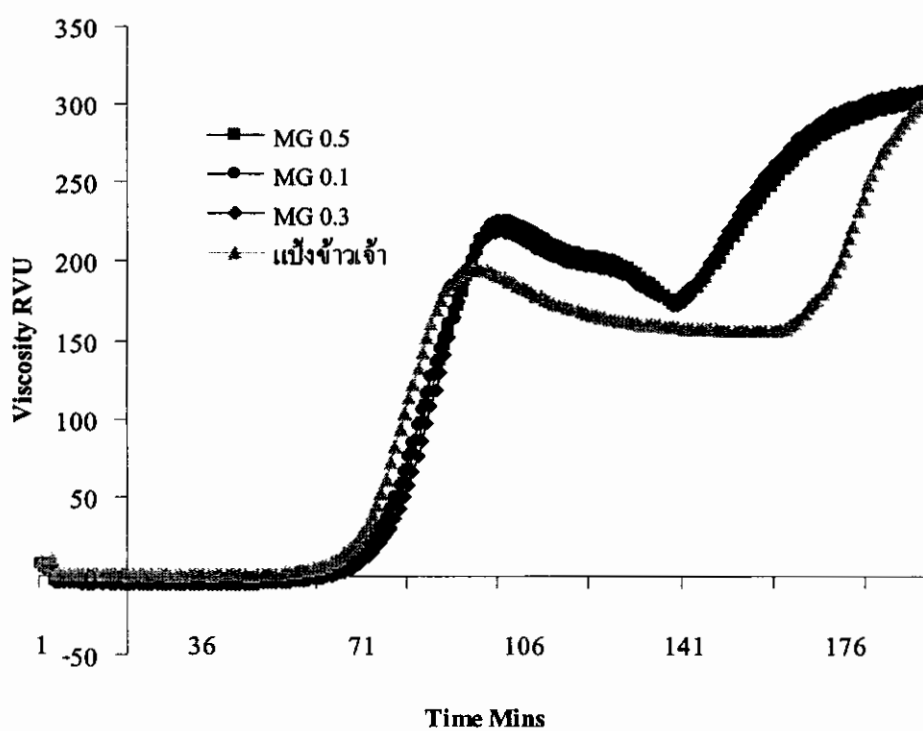
ได้เติมไขมันลงในแป้งข้าวเจ้าพบว่าอุณหภูมิเริ่มเกิดความร้อนสูงกว่าแป้งข้าวเจ้าที่ไม่มีการเติม surfactants และการทดลองของ Kaur และคณะ (2005) ได้เติม surfactants ชนิด GMS ในเส้นก๋วยเตี๋ยวพบว่าอุณหภูมิเริ่มเกิดความร้อนและระยะเวลาการเกิดเจลลิตในเซชันของเส้นก๋วยเตี๋ยวเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ไม่เติม surfactants การเติม surfactants จะลดการพองตัวของเม็ดสตาร์ชเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง surfactants กับอะมิโลส จึงทำให้มีผลต่ออุณหภูมิเริ่มเกิดความร้อนและระยะเวลาการเกิดเจลลิตในเซชันของสตาร์ชในเส้นก๋วยเตี๋ยว และจากการทดลองพบว่า การเติม surfactants แต่ละชนิดมีผลต่ออุณหภูมิเริ่มเกิดความร้อนอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 3) โดยแป้งข้าวเจ้าที่เติม MG มีอุณหภูมิเริ่มเกิดความร้อนสูงกว่าแป้งข้าวเจ้าที่เติม SSL และ GMS แต่แป้งข้าวเจ้าที่เติม SSL และ GMS มีอุณหภูมิเริ่มเกิดความร้อนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แสดงว่าชนิดของ surfactants มีผลต่ออุณหภูมิเริ่มเกิดความร้อน และการเติม surfactants ชนิดเดียวกัน (GMS และ MG) แต่เติมในปริมาณที่แตกต่างกันอุณหภูมิเริ่มเกิดความร้อนมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แสดงดังรูปที่ 16, 17 และ 18



รูปที่ 16 ลักษณะเส้นกราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งและแป้งที่เติม SSL 0.3%, SSL 0.5% และ SSL0.7%



รูปที่ 17 ลักษณะเส้นกราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งและแป้งที่เติม GMS 0.2%, GMS 0.4% และ GMS 0.8%



รูปที่ 18 ลักษณะเส้นกราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งและแป้งที่เติม MG 0.1%, MG 0.3% และ MG 0.5%

ค่าความหนืดสูงสุด เป็นค่าบ่งบอกความสามารถในการพองตัวของวัสดุอย่างอิสระของเม็ดสตาร์ชก่อนที่จะเกิดสตาร์ชจะแตก (Sigh และคณะ, 2004) จากผลการทดลองพบว่าแป้งข้าวเจ้าที่ไม่เติม surfactants มีค่าความหนืดสูงสุดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) กับแป้งข้าวเจ้าที่เติม GMS แต่แป้งข้าวเจ้าที่เติม SSL และ MG แตกต่างกับกับแป้งข้าวเจ้าที่ไม่เติม surfactants อย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 3) โดยแป้งข้าวเจ้าที่เติม MG มีค่าความหนืดสูงสุดสูงกว่าแป้งข้าวเจ้าที่เติม GMS และ SSL และแป้งข้าวเจ้าที่เติม MG มีค่าความหนืดสูงสุดสูงกว่าแป้งข้าวเจ้าที่ไม่เติม surfactants แต่แป้งข้าวเจ้าที่เติม SSL มีค่าความหนืดสูงสุดต่ำกว่าแป้งข้าวเจ้าที่ไม่เติม surfactants แสดงว่าการเติม SSL ขยับยั้งการพองตัว ทำให้ความสามารถในการพองตัวของเจลแป้งข้าวเจ้าลดลง เนื่องจากการเติม SSL จะเป็นเกราะป้องกันไม่ให้น้ำเข้ามาภายในสตาร์ช ลดความสามารถในการจับน้ำ ช่วยรักษาโครงสร้างเม็ดสตาร์ช สอดคล้องกับการทดลองของ Zhou และคณะ (2007) พบว่าการเติมไขมันชนิดอิ่มตัว stearic ในแป้งข้าวเจ้า ค่าความหนืดสูงสุดลดลงต่ำกว่าแป้งข้าวเจ้าที่ไม่เติมไขมัน แต่การเติม GMS มีผลไม่แตกต่างกับแป้งข้าวเจ้าที่ไม่เติม surfactants แสดงว่าการเติม GMS ไม่มีผลต่อความสามารถการพองตัวของเจลแป้งข้าวเจ้า สอดคล้องกับการทดลองของ Knightly (1968) พบว่า GMS ไม่มีผลต่อความหนืด เนื่องจาก GMS มี monoester เป็นองค์ประกอบ พบว่าระดับของ ester ไม่มีผลต่อการเกิดเจลลาติไนซ์ โดยบ่งชี้จากการเพิ่มการยับยั้งการแตกของเม็ดสตาร์ชกับแรงเฉือน

เมื่อพิจารณาผลต่างของความหนืดสูงสุดกับความหนืดต่ำสุดหรือค่า break down ซึ่งบ่งบอกถึงความทนต่อแรงเฉือนของเม็ดสตาร์ชพบว่าแป้งข้าวเจ้าที่เติม surfactants มีค่า break down ต่างกับแป้งข้าวเจ้าที่ไม่เติม surfactants อย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 3) โดยแป้งข้าวเจ้าที่เติม surfactants มีค่า break down สูงกว่าที่ไม่เติม surfactants แสดงว่าแป้งข้าวเจ้าที่ไม่เติม surfactants ถูกทำลายได้ง่ายในขณะพองตัว ส่วนแป้งที่เติม surfactants มีความแข็งแรงมากกว่าและไม่ถูกทำลายได้ง่ายด้วยความร้อน สอดคล้องกับ Kim และ Walker (1992) พบว่าการเติมไขมันในสตาร์ช ทำให้ไขมันคลุมพื้นผิวของสตาร์ชกลายเป็นแผ่นฟิล์มบนผิวสตาร์ชเพิ่มความสามารถไม่จับน้ำและยับยั้งการเคลื่อนที่ของน้ำเข้าไปในเม็ดสตาร์ช ทำให้ความสามารถการพองตัวของสตาร์ชลดลงและมีความแข็งแรงมากขึ้นไม่ถูกทำลายได้ง่ายด้วยความร้อน นอกจากนี้จากการทดลองของ Perera และ Hoover (1997) ได้นำสตาร์ชที่ถูกสกัดไขมันออกเปรียบเทียบกับสตาร์ชที่ไม่ถูกสกัดไขมันออก พบว่าสตาร์ชที่ถูกสกัดไขมันออกมีค่าความหนืดน้อยกว่าสตาร์ชที่ไม่ถูกสกัดไขมันออก และจากการทดลองพบว่าค่า break down ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติม MG มีค่าสูงสุดตามด้วยแป้งข้าวเจ้าที่เติม GMS และ SSL ตามลำดับ และเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่เติม surfactants มีค่า breakdown ต่ำสุดในด้านปริมาณของ surfactants พบว่า surfactants ชนิดเดียวกันแต่มีปริมาณต่างกันมีค่า breakdown

ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) (ตารางผนวกที่ 3) แต่เมื่อปริมาณ surfactants เพิ่มมากขึ้น ค่า breakdown มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกันแสดงดังรูปที่ 16, 17 และ 18 แสดงว่าการเพิ่มปริมาณ surfactants แต่ละชนิด ทำให้เม็ดสตาร์ชมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ไม่ถูกทำลายได้ง่ายขณะพองตัว

ผลการทดลองค่าความหนืดสุดท้าย พบว่าค่าความหนืดสุดท้ายของแป้งข้าวเจ้าที่เติม surfactants และไม่เติม surfactants ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) (ตารางผนวกที่ 3) โดยแป้งข้าวเจ้าที่เติม surfactants มีค่าความหนืดสุดท้ายต่ำกว่าที่ไม่เติม surfactants ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Takahashi และ Seib (1988) ได้เติมไขมันปริมาณ 0.5%, 1.0% และ 2.0% ลงในแป้งสาธิตพบว่าปริมาณไขมันที่เพิ่มความหนืดสุดท้ายเพิ่มสูงขึ้น เช่นเดียวกับการทดลองของ Kaur และ Singh (2000) ได้เติมไขมันลงในแป้งข้าวเจ้าพบว่าแป้งข้าวเจ้าที่เติมไขมันความหนืดสุดท้ายเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าแป้งข้าวเจ้าที่ไม่เติมไขมัน นอกจากนี้แป้งข้าวเจ้าที่เติม MG มีค่าความหนืดสุดท้ายสูงกว่าที่เติม GMS และ SSL ในด้านปริมาณของ surfactants พบว่าการเติม surfactants แต่ละชนิดในปริมาณที่มากขึ้นค่าความหนืดสุดท้ายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน แต่ surfactants ชนิดเดียวกันเติมในปริมาณที่ต่างกันมีความหนืดสุดท้ายไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) และเมื่อพิจารณาค่าผลต่างระหว่างความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด คือ ค่า setback ซึ่งมีความสัมพันธ์กับเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ พบว่าแป้งข้าวเจ้าที่มีการเติม surfactants มีค่า setback ต่ำกว่าไม่เติม surfactants แสดงว่า surfactants ลดการเกิดรีโทรกราเดชันหรือลดการเกิด short term retrogradation ได้ สอดคล้องกับการทดลองของ Takahashi และ Seib (1988) ได้เติมไขมันปริมาณ 0.5%, 1.0% และ 2.0% ลงในแป้งสาธิต พบว่าปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นค่า setback ลดลง และจากการทดลองพบว่าค่า setback ของแป้งที่เติม SSL และ MG ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) และมีค่าสูงกว่าแป้งข้าวเจ้าที่เติม GMS ในด้านปริมาณของ surfactants พบว่าเมื่อเติม surfactants แต่ละชนิดเพิ่มมากขึ้นค่า setback มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน แสดงดังรูปที่ 16, 17 และ 18 ดังนั้นการเติม SSL และ MG ลดการเกิด short term retrogradation มากกว่าการเติม GMS และเมื่อเติม surfactants ในปริมาณที่มากขึ้น การเกิด short term retrogradation เกิดขึ้นได้น้อยลง

4.2.2 ผลการทดสอบด้วย Texture Analyzer

การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวสดที่ไม่เติม surfactants และเส้นก๋วยเตี๋ยวสดที่มีการเติม surfactants โดยเก็บที่อุณหภูมิ 9, 30 และ 40 °C เป็นระยะเวลา 0, 24, 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมง พบว่าระยะเวลาการเก็บและอุณหภูมิการเก็บมีผลต่อเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยว เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มมากขึ้น เส้นก๋วยเตี๋ยวมีเนื้อสัมผัสที่แข็งและเปราะมากขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 9 °C เนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวเกิดการเปลี่ยนแปลงจากเหนียวและยืดหยุ่นกลายเป็นแข็งและเปราะได้

เร็วที่สุด โดยมีค่าแรงกด ณ จุดที่เส้นก๊วยเตี่ยวขาดมากกว่าเส้นก๊วยเตี่ยวเก็บที่อุณหภูมิ 30 และ 40 °C และมีระยะทาง ณ จุดที่เส้นก๊วยเตี่ยวขาดต่ำกว่าเส้นก๊วยเตี่ยวเก็บที่อุณหภูมิ 30 และ 40 °C และเมื่อมีการเติม surfactants พบว่าก๊วยเตี่ยวที่เติม surfactants มีค่าแรงกดสูงสุด ณ จุดที่เส้นก๊วยเตี่ยวขาดต่ำกว่าก๊วยเตี่ยวที่ไม่เติม surfactants และมีระยะทาง ณ จุดที่เส้นก๊วยเตี่ยวขาดสูงกว่าก๊วยเตี่ยวที่ไม่เติม surfactants โดยเส้นก๊วยเตี่ยวที่เติม SSL ที่ระดับ 0.5% มีค่าแรงกดสูงสุด ณ จุดที่เส้นก๊วยเตี่ยวขาดต่ำที่สุด คือที่เวลา 0 ชั่วโมงมีค่าแรงกดสูงสุด ณ จุดที่เส้นก๊วยเตี่ยวขาด 3,107.08 กรัม และที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง เก็บที่อุณหภูมิ 9, 30 และ 40 °C มีค่าแรงกดสูงสุด ณ จุดที่เส้นก๊วยเตี่ยวขาด 6,490.9, 3,559.1 และ 3,082.8 กรัม ตามลำดับ (แสดงดังตาราง 11, 12 และ 13) และเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นเป็นเวลา 48 ชั่วโมง พบว่าค่าแรงกดสูงสุด ณ จุดที่เส้นก๊วยเตี่ยวขาดเพิ่มสูงขึ้นและมีแนวโน้มคงที่เมื่อระยะเวลาเพิ่มเป็น 72, 96 และ 120 ชั่วโมง โดยที่ระยะเวลา 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 9, 30 และ 40 °C มีค่าแรงกดสูงสุด ณ จุดที่เส้นก๊วยเตี่ยวขาด คือ 9,171.8, 4,059.6 และ 3,144.1 กรัม ตามลำดับ โดยที่ระยะเวลา 72 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 9, 30 และ 40 °C มีค่าแรงกดสูงสุด ณ จุดที่เส้นก๊วยเตี่ยวขาด คือ 9,285.6, 4,154.4 และ 3,463.7 กรัม ตามลำดับโดยที่ระยะเวลา 96 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 9, 30 และ 40 °C มีค่าแรงกดสูงสุด ณ จุดที่เส้นก๊วยเตี่ยวขาด คือ 9,483.1, 4,147.4 และ 3,411.1 กรัม ตามลำดับ โดยที่ระยะเวลา 120 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 9, 30 และ 40 °C มีค่าแรงกดสูงสุด ณ จุดที่เส้นก๊วยเตี่ยวขาด คือ 10,293.1, 4,131.8 และ 3,420.4 กรัม ตามลำดับ ส่วนเส้นก๊วยเตี่ยวที่มีการเติม surfactants ชนิด GMS ที่ระดับ 0.08%, 0.2% และ 0.4% ระยะเวลา 0, 24, 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมง เก็บที่ 9, 30 และ 40 °C พบว่า GMS ที่ระดับ 0.2% มีค่าแรงกดสูงสุด ณ จุดที่เส้นก๊วยเตี่ยวขาดต่ำที่สุด ที่ระยะเวลา 0 ชั่วโมงมีค่าแรงกดสูงสุด ณ จุดที่เส้นก๊วยเตี่ยวขาด คือ 3,055.6 กรัม และที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 9, 30 และ 40 °C มีค่าแรงกดสูงสุด ณ จุดที่เส้นก๊วยเตี่ยวขาด คือ 6,415.1, 2,881.1 และ 2,925.8 กรัม ตามลำดับ และเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นเป็นเวลา 48 ชั่วโมง พบว่าค่าแรงกดสูงสุด ณ จุดที่เส้นก๊วยเตี่ยวขาดเพิ่มสูงขึ้นและมีแนวโน้มคงที่ โดยที่ระยะเวลา 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 9, 30 และ 40 °C มีค่าแรงกดสูงสุด ณ จุดที่เส้นก๊วยเตี่ยวขาด คือ 9,367.9, 3,456.2 และ 2,979.2 กรัม ตามลำดับ โดยที่ระยะเวลา 72 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 9, 30 และ 40 °C มีค่าแรงกดสูงสุด ณ จุดที่เส้นก๊วยเตี่ยวขาด คือ 9,285.6, 3,905.9 และ 3,424.9 กรัม ตามลำดับ โดยที่ระยะเวลา 96 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 9, 30 และ 40 °C มีค่าแรงกดสูงสุด ณ จุดที่เส้นก๊วยเตี่ยวขาด คือ 9,483.1, 4,034.3 และ 3,344.3 กรัม ตามลำดับ โดยที่ระยะเวลา 120 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 9, 30 และ 40 °C พบว่า GMS ที่ระดับ 0.2% มีค่าแรงกดสูงสุด ณ จุดที่เส้นก๊วยเตี่ยวขาด คือ 10,293.1, 4,146.3 และ 3,456.1 กรัม ตามลำดับ และเส้นก๊วยเตี่ยวที่มีการเติม surfactants ชนิด MG ที่ระดับ 0.5% 0.3% และ 0.1% ระยะเวลา 0, 24, 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมง เก็บที่ 9, 30 และ 40 °C พบว่า MG ที่ระดับ 0.5% มี

ค่าแรงกด ณ จุดที่เส้นก๊วยเตี๋ยวดำต่ำที่สุด ที่ระยะเวลา 0 ชั่วโมงมีค่าแรงกดสูงสุด ณ จุดที่เส้นก๊วยเตี๋ยวดำ คือ 3,158.6 กรัม และที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 9, 30 และ 40 °C มีค่าแรงกด ณ จุดที่เส้นก๊วยเตี๋ยวดำต่ำที่สุด คือ 5,791.9, 3,399.0 และ 2,847.3 กรัม ตามลำดับ และเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นเป็นเวลา 48 ชั่วโมง พบว่าค่าแรงกด ณ จุดที่เส้นก๊วยเตี๋ยวดำเพิ่มสูงขึ้นและมีแนวโน้มคงที่ โดยที่ระยะเวลา 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 9, 30 และ 40 °C มีค่าแรงกดสูงสุด ณ จุดที่เส้นก๊วยเตี๋ยวดำ คือ 9,849.9, 4,283.31 และ 3,010.49 กรัม ตามลำดับ โดยที่ระยะเวลา 72 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 9, 30 และ 40 °C มีค่าแรงกดสูงสุด ณ จุดที่เส้นก๊วยเตี๋ยวดำ คือ 10,529.8, 4,293.5 และ 3,251.3 กรัม ตามลำดับ โดยที่ระยะเวลา 96 ชั่วโมง มีค่าแรงกดสูงสุด ณ จุดที่เส้นก๊วยเตี๋ยวดำ คือ 10,421.3, 4,398.1 และ 3,351.4 กรัม ตามลำดับ โดยที่ระยะเวลา 120 ชั่วโมง มีค่าแรงกดสูงสุด ณ จุดที่เส้นก๊วยเตี๋ยวดำ คือ 10,141.5, 4,470.5 และ 3,444.2 กรัม ตามลำดับ ดังนั้นก๊วยเตี๋ยวที่เติม SSL และ GMS ให้ค่าแรงกดสูงสุด ณ จุดที่เส้นก๊วยเตี๋ยวดำน้อยกว่าเส้นก๊วยเตี๋ยวที่เติม MG และเมื่อพิจารณาด้านระยะทาง ณ จุดที่เส้นก๊วยเตี๋ยวดำ โดยเส้นก๊วยเตี๋ยวที่มีการเติม surfactants มีระยะทาง ณ จุดที่เส้นก๊วยเตี๋ยวดำต่ำกว่าเส้นก๊วยเตี๋ยวที่ไม่เติม surfactants แสดงว่าเส้นก๊วยเตี๋ยวที่เติม surfactants ทำให้เนื้อสัมผัสมีความเปราะมากกว่าไม่เติม surfactants ก๊วยเตี๋ยวที่เติม SSL และ GMS มีระยะทาง ณ จุดที่เส้นก๊วยเตี๋ยวดำสูงกว่าเส้นก๊วยเตี๋ยวที่เติม MG แสดงว่าการเติม MG ทำให้เส้นก๊วยเตี๋ยวมึเนื้อสัมผัสแข็งและเปราะมากกว่าการเติม SSL และ GMS นอกจากนี้ปริมาณ surfactants แต่ละชนิดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสด้วย โดยการเติม SSL ที่ระดับ 0.5% GMS ที่ระดับ 0.2% และ MG ที่ระดับ 0.5% ทำให้เส้นก๊วยเตี๋ยวมียุ่ค่าแรงกดสูงสุด ณ จุดที่เส้นก๊วยเตี๋ยวดำต่ำกว่าและระยะทาง ณ จุดที่ก๊วยเตี๋ยวดำสูงกว่าใช้ surfactants ที่ระดับอื่นๆ แสดงดังตารางที่ 11, 12 และ 13

ตารางที่ 11 อิทธิพลของ surfactants ต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เก็บที่อุณหภูมิ 9°C

ระยะเวลา เก็บ (ชั่วโมง)	ค่าแรงกดสูงสุด (กรัม)				ระยะทางสูงสุด (มิลลิเมตร)			
	control	SSL 0.5%	MG 0.5%	GMS 0.2%	control	SSL 0.5%	MG 0.5%	GMS 0.2%
0	3465.4	3107.1	3158.6	3055.6	6.808	6.978	6.925	7.163
24	6680.8	6433.7	6477.6	6378.3	3.448	3.372	3.245	3.237
48	10388.7	9727.3	9849.9	9367.9	3.382	3.183	2.934	3.183
72	10571.1	9817.7	10307.0	9442.8	3.132	2.982	3.158	3.224
96	11748.1	9825.8	10401.3	9854.6	3.204	3.123	3.131	3.058
120	12251.4	10104.4	10770.1	10335.0	3.196	2.954	3.180	3.234

ตารางที่ 12 อิทธิพลของ surfactants ต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เก็บที่อุณหภูมิ 30°C

ระยะเวลา เก็บ (ชั่วโมง)	ค่าแรงกดสูงสุด (กรัม)				ระยะทางสูงสุด (มิลลิเมตร)			
	control	SSL 0.5%	MG 0.5%	GMS 0.2%	control	SSL 0.5%	MG 0.5%	GMS 0.2%
0	3465.4	3107.1	3158.6	3055.6	6.808	6.978	6.925	7.163
24	6680.8	3559.1	3399.0	2881.1	3.448	7.013	6.797	6.936
48	10388.7	4059.6	4283.31	3456.2	3.382	6.361	6.608	6.881
72	10571.1	4154.4	4293.5	3905.9	3.132	6.139	6.202	6.350
96	11748.1	4147.4	4398.1	4034.3	3.204	6.007	6.126	6.154
120	12251.4	4131.8	4470.5	4146.3	3.196	6.154	6.191	6.193

ตารางที่ 13 อิทธิพลของ surfactants ต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เก็บที่อุณหภูมิ 40°C

ระยะเวลา	ค่าแรงกดสูงสุด (กรัม)				ระยะทางสูงสุด (มิลลิเมตร)			
เก็บ (ชั่วโมง)	control	SSL 0.5%	MG 0.5%	GMS 0.2%	control	SSL 0.5%	MG 0.5%	GMS 0.2%
0	3465.4	3107.8	3158.6	3055.6	6.808	6.978	6.925	7.163
24	6680.8	3082.8	2847.3	2925.8	3.448	7.123	7.282	7.227
48	10388.7	3144.1	3010.5	2979.2	3.382	7.114	7.313	7.242
72	10571.1	3463.7	3251.3	3424.9	3.132	7.024	6.542	6.909
96	11748.1	3411.1	3351.4	3344.3	3.204	7.059	6.562	7.122
120	12251.4	3420.4	3444.2	3456.1	3.196	6.974	6.646	6.917

4.2.3 ผลการทดสอบด้วยเครื่อง DSC

นำเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ไม่เติม surfactants เปรียบเทียบกับเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เติม surfactants ชนิด MG ที่ระดับ 0.1%, 0.3% และ 0.5% SSL ที่ระดับ 0.3%, 0.5% และ 0.7% และ GMS ที่ระดับ 0.08%, 0.2% และ 0.4% เก็บที่อุณหภูมิ 9, 30 และ 40 °C เป็นระยะเวลา 0, 24, 48, 96 และ 120 ชั่วโมง มาวิเคราะห์การเกิดรีโทรกราเดชันด้วยเครื่อง DSC โดยวัดค่า ΔH ในการเกิดรีโทรกราเดชัน T_o , T_p และ T_c แสดงดังตารางที่ 14, 15, 16 และ 17 ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อการเกิดรีโทรกราเดชันของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เติม surfactants และไม่เติม surfactants เส้นก๋วยเตี๋ยวที่เติม surfactants มีค่า ΔH น้อยกว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ไม่เติม surfactants เนื่องจากการเติม surfactants ทำให้โครงสร้างของแป้งในเส้นก๋วยเตี๋ยวมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น โดย surfactants เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโมเลกุลอะมิโลสในแป้งเกิดจากการที่โมเลกุลอะมิโลสพันเกลียวรอบๆ surfactants โดยบริเวณส่วนในของเกลียวเป็นส่วนที่ไม่ชอบน้ำ สารประกอบเชิงซ้อนจะเกิดขึ้นระหว่างการเกิดเจลละติไนซ์เมื่อมีสารประกอบเชิงซ้อนเกิดขึ้นในโมเลกุลของอะมิโลสทำให้ป้องกันไม่ให้โมเลกุลอะมิโลสแพร่ออกมาภายนอกเมื่อดูดซึ่ม การกลับมาจัดเรียงตัวกันใหม่ของโมเลกุลอะมิโลสค่อนข้างเป็นไปได้ยาก (Eliasson และ Gudmundson, 1996; Gray และ Bemiller, 2003) ดังนั้นจากการทดลองจึงพบว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวที่มีการเติม surfactants ค่า ΔH จะน้อยกว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ไม่มีการเติม surfactants แสดงว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เติม surfactants เกิดรีโทรกราเดชันได้น้อย สอดคล้องกับการทดลองของ Conde-Petit และ Escher (1991) ได้ศึกษาด้วย DSC พบว่าการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของ surfactants มีประสิทธิภาพในการป้องกันการเกิดการแข็งตัวของขนมปัง และการทดลองของ Zhou และคณะ (2007) ได้เติมกรด

ตารางที่ 14 อิทธิพลของ surfactants ต่อค่า ΔH

การเก็บรักษา			$\Delta H(J/g)$									
ระยะเวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)	control	SSL			GMS			MG			
		0%	0.3%	0.5%	0.7%	0.08%	0.2%	0.4%	0.1%	0.3%	0.5%	
0	9	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
	30	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
	40	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
24	9	1.67 $\pm$ 0.04	1.66 $\pm$ 0.06	1.28 $\pm$ 0.12	1.37 $\pm$ 0.05	1.38 $\pm$ 0.06	1.29 $\pm$ 0.38	1.30 $\pm$ 0.11	2.00 $\pm$ 0.12	2.16 $\pm$ 0.22	1.90 $\pm$ 0.13	
	30	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
	40	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
48	9	2.62 $\pm$ 0.06	1.87 $\pm$ 0.26	1.47 $\pm$ 0.06	1.51 $\pm$ 0.12	2.23 $\pm$ 0.09	1.79 $\pm$ 0.05	2.23 $\pm$ 0.16	2.50 $\pm$ 0.04	2.57 $\pm$ 0.03	2.36 $\pm$ 0.11	
	30	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
	40	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
72	9	3.17 $\pm$ 0.14	2.56 $\pm$ 0.08	2.19 $\pm$ 0.19	2.42 $\pm$ 0.22	2.72 $\pm$ 0.55	2.58 $\pm$ 0.02	2.55 $\pm$ 0.04	3.05 $\pm$ 0.16	2.97 $\pm$ 0.03	2.76 $\pm$ 0.23	
	30	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
	40	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
96	9	3.32 $\pm$ 0.01	3.18 $\pm$ 0.12	2.77 $\pm$ 0.04	3.07 $\pm$ 0.98	2.99 $\pm$ 0.06	2.79 $\pm$ 0.11	2.97 $\pm$ 0.02	3.26 $\pm$ 0.02	3.18 $\pm$ 0.01	3.04 $\pm$ 0.41	
	30	1.56 $\pm$ 0.57	1.41 $\pm$ 0.25	1.05 $\pm$ 0.02	0.82 $\pm$ 0.04	1.25 $\pm$ 0.01	0.78 $\pm$ 0.01	0.98 $\pm$ 0.09	2.26 $\pm$ 0.17	1.44 $\pm$ 0.05	0.85 $\pm$ 0.02	
	40	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
120	9	3.43 $\pm$ 0.01	3.40 $\pm$ 0.36	3.06 $\pm$ 0.17	3.24 $\pm$ 0.33	3.24 $\pm$ 0.22	3.09 $\pm$ 0.19	3.42 $\pm$ 0.08	3.52 $\pm$ 0.58	3.27 $\pm$ 0.10	3.22 $\pm$ 0.21	
	30	1.81 $\pm$ 0.61	2.20 $\pm$ 0.04	1.05 $\pm$ 0.37	0.73 $\pm$ 0.43	1.91 $\pm$ 0.02	1.42 $\pm$ 0.04	1.44 $\pm$ 0.19	1.04 $\pm$ 0.05	1.02 $\pm$ 0.10	0.98 $\pm$ 0.09	
	40	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	

หมายเหตุ Nd = no endothermic curve peak

$\pm$ คือส่วน เบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 15 อิทธิพลของ surfactants ต่อค่า To

การเก็บรักษา			To(°C)									
ระยะเวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิ (°C)	control	SSL		GMS		MG					
		0%	0.3%	0.5%	0.7%	0.08%	0.2%	0.4%	0.1%	0.3%	0.5%	
0	9	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	30	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	40	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
24	9	44.49±2.05	44.52±1.59	45.40±0.98	47.37±0.02	44.01±2.91	46.77±2.64	46.84±0.73	44.91±2.47	45.25±2.10	45.47±0.73	
	30	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	40	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
48	9	42.88±1.90	43.79±1.14	45.32±3.82	44.27±1.01	42.97±4.16	44.73±2.87	46.45±0.38	44.97±0.47	43.16±0.48	44.02±0.49	
	30	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	40	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
72	9	45.46±0.45	44.71±0.11	44.67±0.45	44.30±0.33	42.62±3.65	45.71±0.18	45.62±0.92	45.35±0.30	44.80±0.13	43.97±0.64	
	30	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	40	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
96	9	43.63±0.78	43.53±0.54	43.95±0.76	41.59±2.21	44.51±0.77	43.61±0.21	44.55±0.68	44.83±0.22	43.98±0.94	44.24±0.67	
	30	60.95±2.71	60.93±1.55	62.22±2.99	58.04±0.34	66.36±0.01	67.58±0.73	59.62±0.02	59.06±0.28	62.24±0.06	58.25±0.07	
	40	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
120	9	40.81±3.77	40.92±1.26	43.10±4.34	44.53±0.95	46.36±1.65	43.29±1.81	44.40±0.44	43.67±0.01	43.09±3.60	44.26±0.95	
	30	56.97±0.97	63.38±0.01	59.96±3.94	59.31±0.64	61.31±0.01	60.50±2.28	58.89±0.02	58.89±0.09	58.77±0.20	58.78±0.10	
	40	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

หมายเหตุ Nd = no endothermic peak

± คือส่วน เบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 16 อิทธิพลของ surfactants ต่อค่า Tp

การเก็บรักษา			Tp (°C)											
ระยะเวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิ (°C)	control	SSL				GMS				MG			
		0%	0.3%	0.5%	0.7%	0.08%	0.2%	0.4%	0.1%	0.3%	0.5%			
0	9	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	30	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	40	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
24	9	55.81±2.96	56.65±0.35	55.22±1.67	58.16±1.53	56.15±0.12	55.15±0.12	55.81±2.74	57.99±0.59	56.41±2.85	58.61±0.29			
	30	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	40	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
48	9	53.21±1.18	55.81±2.26	54.81±2.49	55.40±0.71	55.31±1.32	58.83±1.54	55.92±2.12	55.74±1.90	55.39±0.24	58.74±0.00			
	30	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	40	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
72	9	55.93±0.02	54.66±0.62	54.72±0.72	54.38±0.01	55.06±1.19	56.26±1.40	54.72±0.96	56.90±0.70	56.48±0.60	54.64±0.36			
	30	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	40	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
96	9	54.22±0.00	54.13±0.12	54.22±0.25	56.23±2.60	56.99±0.82	56.23±0.00	56.40±0.01	56.15±0.35	54.87±0.24	55.53±0.50			
	30	65.87±1.74	68.53±3.68	71.94±3.82	77.00±4.67	75.47±0.00	75.56±0.12	69.45±0.71	73.69±0.14	72.72±0.35	65.49±0.64			
	40	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
120	9	55.40±3.07	55.81±2.72	55.23±3.08	56.64±0.12	55.65±2.01	55.32±1.77	56.75±0.94	56.49±0.13	56.90±0.35	54.73±0.48			
	30	66.28±0.70	76.47±0.71	75.21±0.81	74.28±3.53	70.95±0.47	68.71±0.35	68.71±0.35	68.54±0.62	65.78±0.93	65.48±0.42			
	40	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

หมายเหตุ Nd = no endothermic peak

± คือส่วน เบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 17 อิทธิพลของ surfactants ต่อค่า Tc

การเก็บรักษา		Tc (°C)									
ระยะเวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิ (°C)	control	SSL		GMS		MG				
		0%	0.3%	0.5%	0.7%	0.08%	0.2%	0.4%	0.1%	0.3%	0.5%
0	9	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	30	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	40	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
24	9	67.96±2.21	66.29±1.32	68.41±2.17	69.82±1.30	67.84±0.89	66.88±0.51	63.72±4.46	69.88±5.27	69.33±0.30	69.43±1.38
	30	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	40	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
48	9	67.90±0.92	66.15±2.81	67.25±0.17	67.13±2.20	63.62±0.35	66.53±0.66	68.26±0.07	67.47±1.95	70.40±1.36	68.17±0.01
	30	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	40	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
72	9	67.69±0.36	67.54±0.14	64.88±0.53	66.95±0.61	66.34±2.42	66.84±0.80	65.98±2.47	66.41±1.32	68.09±0.04	65.66±3.45
	30	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	40	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
96	9	69.28±0.00	65.12±0.19	68.61±0.62	67.35±2.93	66.91±0.97	69.28±0.02	66.54±2.15	67.58±1.13	67.49±0.07	66.92±0.26
	30	79.59±6.56	77.58±6.06	78.34±7.39	75.01±1.32	85.71±3.93	82.96±0.06	77.76±0.05	88.15±0.58	82.40±0.21	74.16±0.00
	40	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
120	9	70.48±2.33	67.59±1.74	69.07±0.76	68.14±0.05	68.33±1.82	67.66±0.22	64.978±2.73	69.38±0.45	66.89±0.07	66.87±0.74
	30	76.35±2.37	86.29±0.12	77.58±5.70	77.28±3.06	85.57±0.30	79.28±0.96	77.74±0.15	76.51±0.24	77.99±0.67	77.68±2.42
	40	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

หมายเหตุ Nd = no endothermic peak

± คือส่วน เบี่ยงเบนมาตรฐาน

ไขมันอิ่มตัวในสตร้าข้าวพบว่าค่า ΔH ของการเกิดรีโทรกราเดชันมีค่าต่ำกว่าสตร้าข้าวที่ไม่เติมกรดไขมัน การเติมกรดไขมันอิ่มตัวทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไขมันกับอะมิโลสเพิ่มขึ้น ระหว่างการเกิดรีโทรกราเดชัน Labell (1983) ได้รายงานผลการเติม surfactants ในโคสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับอะมิโลส การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับอะมิโลสขึ้นกับความสามารถของ surfactants ที่แตกต่างกัน (Detefanis และคณะ 1977; Morad และ D' Appolonia, 1980; Osman และคณะ, 1961; Tamstorf, 1983) และผลจากการทดลองพบว่า การเติม surfactants แต่ละชนิดลงในเส้นก๋วยเตี๋ยวมียผลต่อค่า ΔH ของการเกิดรีโทรกราเดชันของอะมิโลเพคติน คือ ก๋วยเตี๋ยวที่เติม SSL มีค่า ΔH ต่ำกว่าก๋วยเตี๋ยวที่เติม GMS และก๋วยเตี๋ยวที่เติม MG มีค่า ΔH สูงสุด และในด้านปริมาณของ surfactants พบว่าการเติม SSL ที่ระดับ 0.5% GMS ที่ระดับ 0.2% และ MG ที่ระดับ 0.5% ทำให้เส้นก๋วยเตี๋ยวมียค่า ΔH ต่ำที่สุดด้วย ดังนั้นการเติม surfactants ในเส้นก๋วยเตี๋ยวช่วยลดการเกิดรีโทรกราเดชันได้ โดยระดับที่ช่วยปรับปรุงคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวคือ SSL ที่ระดับ 0.5% สอดคล้องกับการทดลองของ Destefanis และคณะ (1977) พบว่าการเติม SSL ไม่เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับอะมิโลสอย่างเคียวแต่เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับอะมิโลเพคตินด้วย และจากการทดลองของ Lagendijk และ Pennings (1970) ได้รายงานว่า MG ลดการเกิดการแข็งตัวของ ขนมปิ้ง โดยเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับอะมิโลสมากกว่าอะมิโลเพคติน ขณะที่อะมิโลสเกี่ยวข้องกับการเกิดการแข็งตัวของขนมปิ้งอย่างรวดเร็วหลังการอบ แต่อะมิโลเพคตินเกี่ยวข้องกับการเกิดการแข็งตัวของขนมปิ้งระหว่างการเก็บรักษา (Stampfi และ Nersten, 1995) และการศึกษาของ Mikus และคณะ (1946) พบว่าพันธะคู่ที่เกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอะมิโลสและ MG มีผลต่อความนุ่มของขนมปิ้งแต่ไม่มีผลต่ออัตราการแข็งตัวของขนมปิ้ง

จากผลการทดลองค่า T_o , T_p และ T_c ของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เติม surfactants และไม่เติม surfactants พบว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวเก็บที่อุณหภูมิ 9°C มีค่า T_o , T_p และ T_c ต่ำกว่าเก็บที่อุณหภูมิ 30 และ 40°C ดังนั้นอุณหภูมิที่ใช้สลายผลึกในการเกิดรีโทรกราเดชันเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิการเก็บ (Shi และ Seib, 1994; Yaun และคณะ, 1993) สอดคล้องกับการทดลองของ Ribotta และคณะ (2003) พบว่าที่อุณหภูมิ 4°C ผลึกอะมิโลเพคตินที่เกิดขึ้นมีความแข็งแรงน้อยที่สุด เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำเป็นอุณหภูมิที่สามารถเกิดผลึกนิวเคลียสได้มากแต่การเจริญเติบโตของผลึกเกิดขึ้นได้น้อย ทำให้ผลึกที่ได้ไม่แข็งแรงและไม่เสถียร และเมื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเก็บกับค่า T_o , T_p และ T_c พบว่าระยะเวลาการเก็บของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เติม surfactants และไม่เติม surfactants ค่าของ T_o , T_p และ T_c มีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าระยะเวลาการเก็บไม่มีผลต่ออุณหภูมิที่ใช้ในการสลายผลึก และเมื่อพิจารณาค่า T_o , T_p และ T_c ของก๋วยเตี๋ยวที่เติม surfactants และไม่เติม surfactants พบว่าก๋วยเตี๋ยวที่ไม่เติม surfactants มีอุณหภูมิที่ใช้ในการสลายผลึกต่ำกว่าก๋วยเตี๋ยวที่

เติม surfactants เนื่องจากกัวยเดี่ยวที่เติม surfactants มีโครงสร้างผลึกที่แข็งแรงทำให้การสลายผลึกต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่ากัวยเดี่ยวที่ไม่เติม surfactants

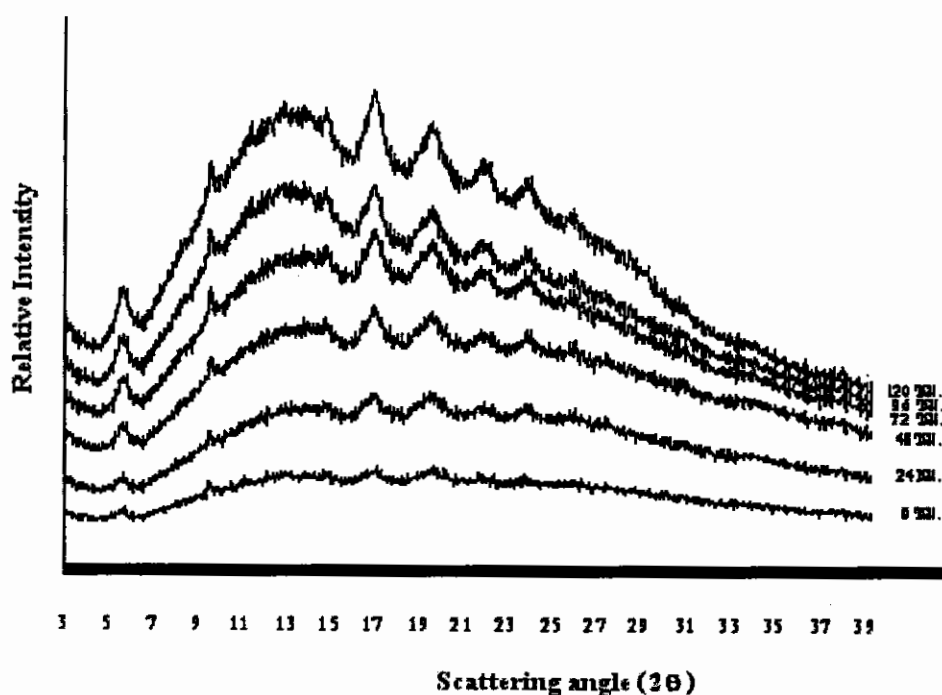
4.2.4 ผลการทดสอบด้วยเครื่อง X-ray Diffraction

การทดสอบด้วยเครื่อง X-ray Diffraction (แสดงในรูปที่ 19-21) สามารถแสดงถึงการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน ความเป็นผลึก และชนิดของผลึก โดยพบว่าเส้นกัวยเดี่ยวที่เติม surfactants และไม่เติม surfactants เกิดพีคที่ 15.0, 17.0, 22.2 และ 24.0°2θ ซึ่งเป็นผลึกชนิด B-type (Ribotta และคณะ, 2004) และเส้นกัวยเดี่ยวที่เติม surfactants มีปริมาณผลึกชนิด B-type น้อยกว่าเส้นกัวยเดี่ยวที่ไม่เติม surfactants ตลอดระยะเวลาการเก็บ แสดงว่าเส้นกัวยเดี่ยวที่เติม surfactants เกิดรีโทรกราเดชันได้น้อยกว่าเส้นกัวยเดี่ยวที่ไม่เติม surfactants และจากการทดลองพบว่าเส้นกัวยเดี่ยวที่เติม surfactants แต่ละชนิดมี ปริมาณผลึกชนิด B-type แตกต่างกัน โดยเส้นกัวยเดี่ยวที่เติม MG 0.5% มีปริมาณผลึกชนิด B-type มากที่สุด เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 9 °C เวลา 0, 24, 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมง มีปริมาณผลึกชนิด B-type 0, 1.42%, 1.24%, 2.16% 2.19% และ 2.66% ตามลำดับ ตามด้วย GMS 0.2% เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 9 °C เวลา 0, 24, 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมง มีปริมาณผลึกชนิด B-type 0, 1.08%, 1.26%, 1.16%, 1.48% และ 2.16% ตามลำดับ และ SSL 0.5% มีปริมาณผลึก B-type ได้น้อยที่สุด เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 9 °C เวลา 0, 24, 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมง มีปริมาณผลึกชนิด B-type 0%, 0.52%, 0.84%, 1.12%, 1.17 % และ 1.05% ตามลำดับ (ตารางที่ 16) แสดงว่าเส้นกัวยเดี่ยวที่เติม SSL 0.5% เกิด รีโทรกราเดชันได้น้อยที่สุดสอดคล้องกับการวัดด้วย Texture Analyzer และ DSC

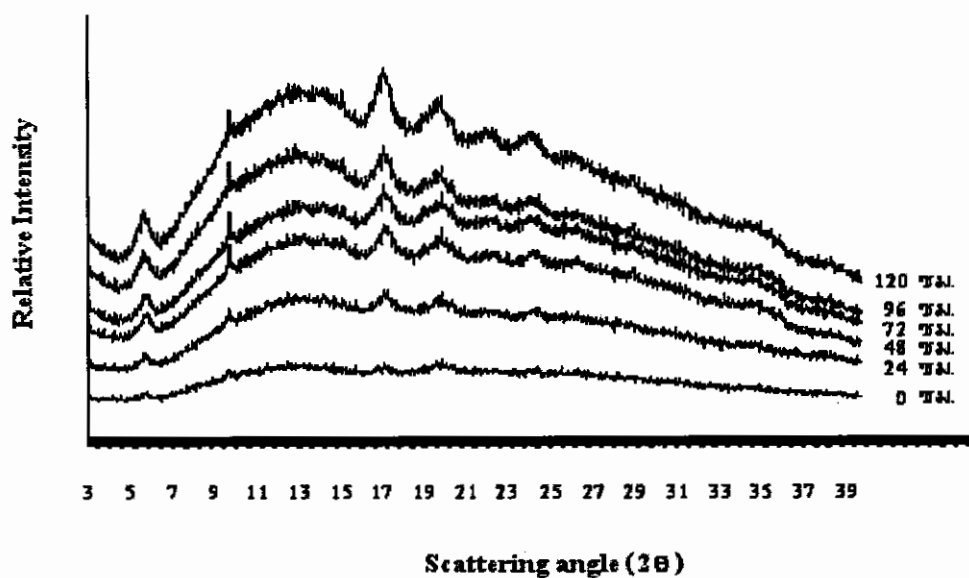
เมื่อพิจารณาโครงสร้างผลึกชนิด V-type ซึ่งสัมพันธ์กับการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับอะมิโลส (ที่ 20° 2θ) พบว่าเส้นกัวยเดี่ยวที่เติม surfactants มีปริมาณผลึก V-type มากกว่าที่ไม่เติม surfactants และเส้นกัวยเดี่ยวที่เติม SSL 0.5% มีปริมาณผลึกชนิด V-type มากที่สุด เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 9°C เวลา 0, 24, 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมง มีปริมาณผลึกชนิด V-type 0.94%, 0.97%, 0.96%, 1.08%, 1.09% และ 0.86% ตามลำดับ ตามด้วยกัวยเดี่ยวที่เติม GMS 0.2% เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 9 °C เวลา 0, 24, 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมงปริมาณผลึกชนิด V-type 0.86%, 0.78%, 0.71%, 0.71% 0.70% และ 0.75% ตามลำดับ และเส้นกัวยเดี่ยวที่เติม MG 0.5% มีปริมาณผลึกชนิด V-type น้อยที่สุด เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 9 °C เวลา 0, 24, 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมง มีปริมาณผลึกชนิด V-type 0.75%, 0.84%, 0.83%, 0.75% 0.79% และ 0.80% ตามลำดับ ดังนั้นการเติม surfactants ในเส้นกัวยเดี่ยวทำให้มีปริมาณผลึก V-type เพิ่มขึ้น เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับอะมิโลสได้มาก ทำให้โครงสร้างของอะมิโลสแข็งแรงและหุคหนึ่งไม่กลับมาจัดเรียงตัวได้ใหม่จึงทำให้เส้นกัวยเดี่ยวที่

เติม surfactants มีการเกิดรีโทรกราเดชันลดลง สอดคล้องกับการทดลองของ Zobel (1973) ได้เติม surfactants ในขนมปังที่เก็บไว้เป็นระยะเวลา 3 วัน พบว่าการเติม surfactants ทำให้ V-line เพิ่มขึ้น บ่งบอกถึงลักษณะระหว่างอะมิโลสและ surfactants ที่เติมลงไป เช่นเดียวกับการทดลองของเกิด โครงสร้าง V-complex ป้องกันการเคลื่อนที่ของโมเลกุลสตาร์ชหลุดออกจากเม็ดสตาร์ชระหว่างการอบ ดังนั้นจะป้องกันการเกิดการแข็งตัวในผลิตภัณฑ์ขนมปัง

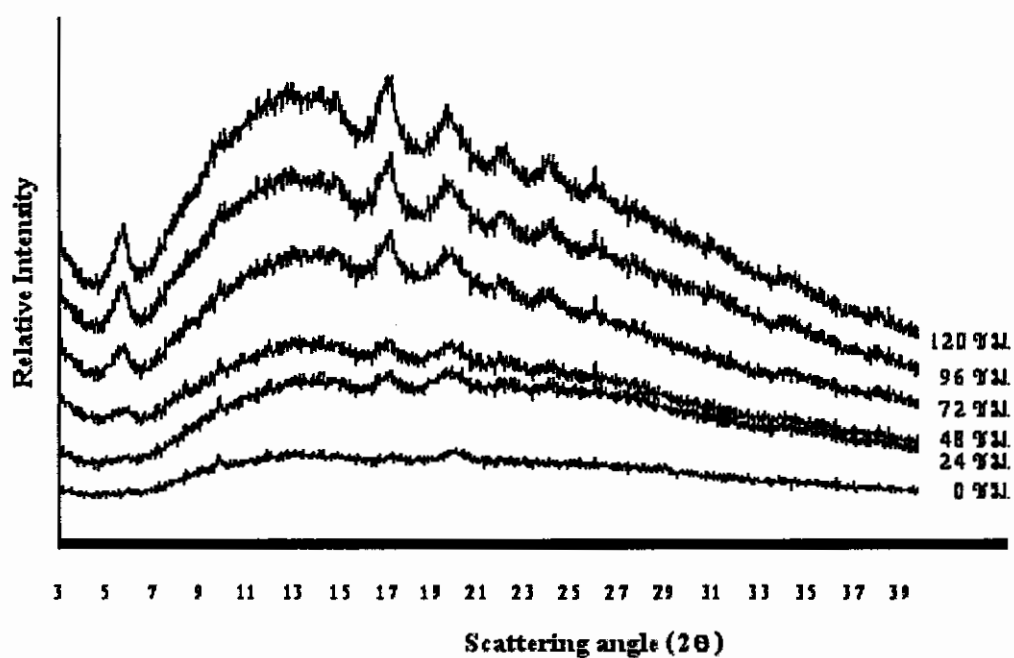
ส่วนค่าร้อยละความเป็นผลึกทั้งหมด พบว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เติม SSL 0.5% เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 9 °C เวลา 0, 24, 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมง มีปริมาณผลึกทั้งหมด 1.08%, 2.04%, 2.24%, 2.72%, 3.15% และ 3.75% ตามลำดับ ก๋วยเตี๋ยวที่เติม GMS 0.2% เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 9 °C เวลา 0, 24, 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมง มีปริมาณผลึกทั้งหมด 1.01%, 1.10%, 1.60%, 2.22% 2.62% และ 3.02% ตามลำดับ และเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เติม MG 0.5% เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 9 °C เวลา 0, 24, 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมง มีปริมาณผลึกชนิดทั้งหมด 1.12%, 2.23%, 2.82%, 3.15% 3.30% และ 3.88% ตามลำดับ Dragsdorf และ Varriano-Marston (1980) พบว่าการเติม surfactants ในผลิตภัณฑ์จากสตาร์ชทำให้



รูปที่ 19 X-ray Diffactograms ของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เติม SSL0.5% เก็บที่ 9 °C เป็นระยะเวลาต่างๆ



รูปที่ 20 X-ray Diffactograms ของเส้นก๊วยเตี๋ยวที่เติม GMS 0.2% เก็บที่ 9 °C เป็นระยะเวลาต่างๆ



รูปที่ 21 X- ray Diffactograms ของเส้นก๊วยเตี๋ยวที่เติม MG 0.5% เก็บที่ 9 °C เป็นระยะเวลาต่างๆ

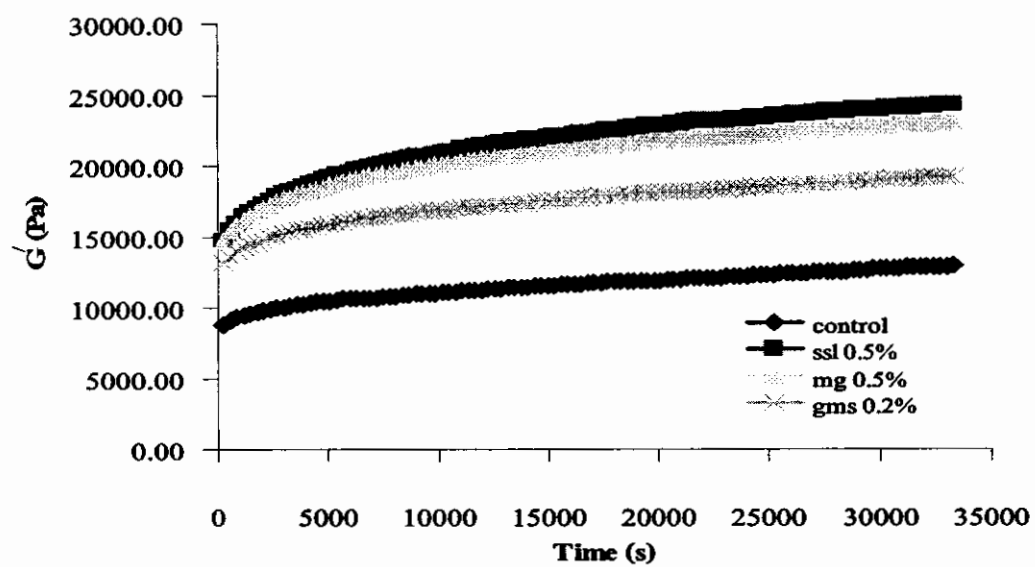
ตารางที่ 16 อิทธิพลของ surfactants ต่อปริมาณผลึกของเส้นก่ายเดี่ยวที่เก็บที่อุณหภูมิ 9°C

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ร้อยละความเป็นผลึก TC				ร้อยละความเป็นผลึก B-type				ร้อยละความเป็นผลึก V-type			
	control		SSL		control		SSL		control		SSL	
		0.5%	GMS 0.2%	MG 0.5%		0.5%	GMS 0.2%	MG 0.5%		0.5%	GMS 0.2%	MG 0.5%
0	1.96	1.08	1.01	1.12	0	0	0	0	0.77	0.94	0.86	0.75
24	3.11	2.04	2.10	2.23	1.55	0.52	1.08	1.42	0.66	0.97	0.78	0.84
48	3.24	2.24	2.60	2.82	1.79	0.84	1.26	1.24	0.69	0.96	0.71	0.83
72	3.44	2.72	3.22	3.15	1.78	1.12	1.16	2.16	0.67	1.08	0.71	0.75
96	4.55	3.48	3.62	3.30	3.38	1.17	1.48	2.19	0.79	1.09	0.70	0.79
120	4.64	3.73	4.02	3.88	3.04	1.05	2.16	2.19	0.66	0.86	0.75	0.80

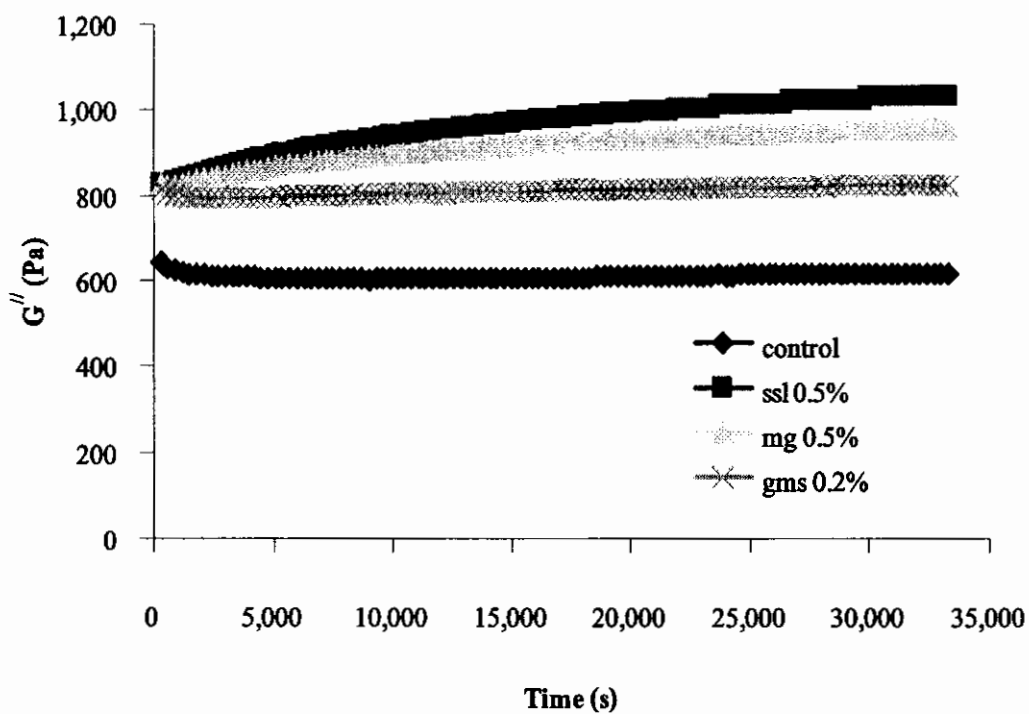
4.2.5 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางวิทยากระแส

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางวิทยากระแสด้วยเครื่อง Rheometer เปรียบเทียบระหว่างเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติม SSL 0.5%, MG 0.5% และ GMS 0.2% กับเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่เติม surfactants โดยศึกษาที่อุณหภูมิ 9 °C นั้นสามารถเก็บตัวอย่างเจลแป้งข้าวเจ้าได้เพียง 10 ชั่วโมงก็จะเกิดหยดน้ำรอบๆ ตัวอย่างทำให้ไม่สามารถวัดต่อไปได้ จึงทำการศึกษาเพียงแค่ 10 ชั่วโมง

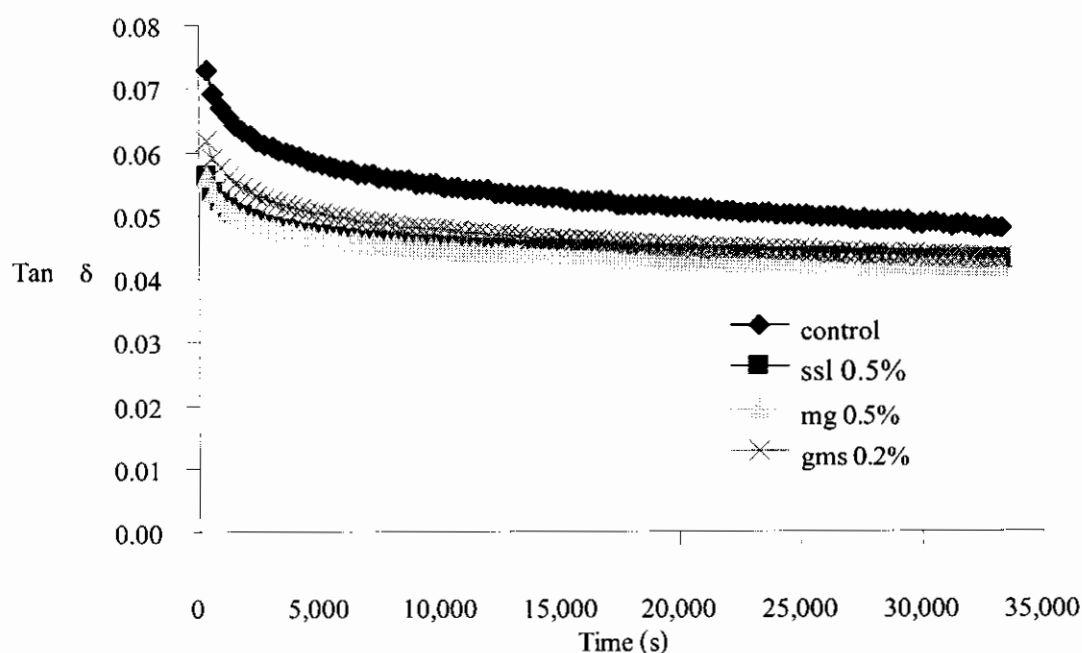
จากการทดลองพบว่าค่า G' ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติม surfactants และไม่เติม surfactants เพิ่มขึ้นตามระยะเวลา แสดงว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น ความแข็งของเจลเพิ่มขึ้น โดย G' ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติม SSL 0.5% มีค่าสูงสุด ตามด้วย MG 0.5%, GMS 0.2% และเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่เติม surfactants มีค่าต่ำสุด ดังรูปที่ 22 และค่า G'' ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่เติม surfactants มีแนวโน้มคงที่เมื่อระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น แสดงว่าเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่เติม surfactants เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มมากขึ้นปริมาณน้ำในตัวอย่างมีแนวโน้มคงที่แค่ค่า G'' ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติม surfactants มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา โดย SSL 0.5% มีค่า G'' สูงสุดตามด้วย MG 0.5% และ GMS 0.2% ดังรูปที่ 23 ส่วนค่า $\tan \delta$ พบว่าตัวอย่างเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่เติม surfactants มีค่าสูงสุดตามด้วย GMS 0.2%, SSL 0.5% และ MG 0.5% มีค่าต่ำสุด ดังรูปที่ 24 ค่า $\tan \delta$ สูงแสดงว่าตัวอย่างมีส่วนของของเหลวอยู่มาก และค่า $\tan \delta$ ต่ำแสดงว่าตัวอย่างมีส่วนประกอบที่เป็นของแข็งอยู่มาก และ $\tan \delta$ ของเจลที่มีค่าต่ำจะมีความแข็งแรงมาก ดังนั้นจากการทดลองพบว่าเส้นก๊วยเตี๋ยวที่เติม SSL 0.5% มีค่า G' และ G'' สูงกว่าก๊วยเตี๋ยวที่เติม MG 0.5% และ GMS 0.2% แต่มีค่า $\tan \delta$ ต่ำแสดงว่าก๊วยเตี๋ยวที่เติม SSL 0.5% เจลมีความแข็งตัว เม็ดสตาร์ชมีความแข็งแรงมากที่สุด เช่นเดียวกับ การศึกษาของ Kaur และคณะ (2005) ได้พบว่าเจลสตาร์ชที่เติม surfactants มีความแข็งแรงมากกว่าเจลสตาร์ชที่ไม่เติม surfactants โดยทดลองเติม GMS และ ไม่เติม GMS ลงในสตาร์ชมันฝรั่งและสตาร์ชข้าวโพด พบว่าสตาร์ชที่เติม GMS มีค่า G' และ G'' สูงกว่าและมีค่า $\tan \delta$ ต่ำกว่าสตาร์ชที่ไม่เติม GMS เนื่องจากการเติม GMS เม็ดสตาร์ชมีความแข็งแรงมากขึ้นโดยการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนทำให้การแตกของเม็ดสตาร์ชเกิดได้ช้าลง



รูปที่ 22 G' ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่อุณหภูมิ 9 °C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง



รูปที่ 23 G'' ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่อุณหภูมิ 9 °C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง



รูปที่ 24 $\tan \delta$ ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่อุณหภูมิ 9°C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง

จากการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการเกิดรีโทรกราเดชันของเส้นก๋วยเตี๋ยวโดยนำค่า G' ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติม SSL 0.5%, MG 0.5% และ GMS 0.2% กับเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่เติม surfactants วัดที่อุณหภูมิ 9°C เป็นระยะเวลา 10 ชั่วโมง มา fit กับสมการที่ 4 เพื่อหาค่า n และค่า k ได้ผลแสดงดังตารางที่ 19 พบว่าค่า n มีค่าเข้าใกล้ 1 ซึ่งแสดงว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยารีโทรกราเดชันเป็นสัดส่วนกับระยะเวลาการเก็บ (Fathat และคณะ, 2000) ค่า n ของเจลแป้งที่เติม surfactants และไม่เติม surfactants ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ส่วนค่า k ซึ่งแสดงถึงอัตราการเกิดผลึก (Fathat และคณะ, 2000) ก็ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน แสดงว่าการเติม surfactants ไม่มีผลทางสถิติต่อการเกิดรีโทรกราเดชันของแป้งข้าวเจ้าในระหว่างการเก็บที่ 9°C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง ซึ่งสอดคล้องกับผลการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyzer ที่พบว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เติม surfactants มีค่าแรงกดสูงสุดและค่าระยะทาง ณ จุดที่เส้นก๋วยเตี๋ยวขาดไม่ต่างจากเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ไม่เติม surfactants ใน 24 ชั่วโมงแรกของการเก็บเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ 9°C

ตารางที่ 19 แสดง Avrami Exponent (n) และ เวลาคงที่ (k, วินาที) ของเจลแป้งข้าว

parameter	control	SSL 0.5%	MG 0.5%	GMS 0.2%
n	$0.87^a \pm 0.17$	$0.89^a \pm 0.01$	$0.87^a \pm 0.03$	$0.85^a \pm 0.02$
k	$0.0295^a \pm 0.0012$	$0.0287^a \pm 0.0001$	$0.0331^a \pm 0.0039$	$0.0331^a \pm 0.0020$

หมายเหตุ $\pm$ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรตัวเล็กแสดงความแตกต่างตามแนวนอน ($p \leq 0.05$)

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการเกิดรีโทรกราเดชันต่อคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยว

ระยะเวลาและอุณหภูมิในการเก็บมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส ค่าเอนทาลปีของการเกิดรีโทรกราเดชัน และปริมาณผลึกในเส้นก๋วยเตี๋ยว เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C และ 40 °C การเกิดรีโทรกราเดชันเกิดได้อย่างช้าๆ ก๋วยเตี๋ยวเกิดรีโทรกราเดชันได้มากเมื่อเก็บที่อุณหภูมิต่ำ (9 °C) และเกิดรีโทรกราเดชันได้มากขึ้นตามระยะเวลาเก็บ

5.2 ผลของชนิดและปริมาณสาร surfactant ต่อการเกิดรีโทรกราเดชันของเจลแป้งข้าวและคุณภาพเส้นก๋วยเตี๋ยว

การเติม surfactants ช่วยปรับปรุงคุณภาพด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เก็บที่อุณหภูมิต่ำได้ โดย surfactants ช่วยลดการเกิดรีโทรกราเดชันในเส้นก๋วยเตี๋ยว โดย surfactant จะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับอะมิโลสในเจลสตาร์ชทำให้เกิดเป็นโครงสร้างที่แข็งแรงลดการเคลื่อนที่ของพอลิเมอร์สตาร์ช ชนิดและปริมาณของ surfactants มีผลต่อการลดการเกิดรีโทรกราเดชันต่างกัน โดยการเติม SSL ที่ระดับ 0.5% ลดการเกิดรีโทรกราเดชันได้มากที่สุด รองลงมาคือ GMS ที่ระดับ 0.2% และ MG ที่ระดับ 0.5% ตามลำดับ

บรรณานุกรม

- กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 303น.
- คำรบ สมะวรรณนะ. 2546. ผลของการเจลาตินในเซชันและรีโทกราเดชันต่อคุณภาพของขนมขบเคี้ยวจากข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 85น.
- งามชื่น คงเสรี. 2529. คุณภาพทางเคมีของข้าว ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี สถาบันข้าว. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 5 น. (โรเนียว)
- งามชื่น คงเสรี. 2536. คุณภาพเมล็ดทางเคมี, น.54-70. ในเอกสารประกอบการบรรยายการฝึกอบรมหลักสูตรวิชาการหลังการเก็บเกี่ยว ณ ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง. สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- งามชื่น คงเสรี. 2541. ข้าวที่เหมาะสมสำหรับการแปรรูปก๋วยเตี๋ยวและการตรวจสอบคุณภาพ, น. 14-32. ในเอกสารประกอบการบรรยายโครงการฝึกอบรมเรื่องการพัฒนาและยกระดับอุตสาหกรรมก๋วยเตี๋ยวและขนมจีนโดยใช้เทคโนโลยีสะอาด ณ โรงแรมมารวยการ์เดนที่ ด. พหลโยธิน กรุงเทพฯ วันที่ 26-28 มีนาคม 2541. สถาบันสิ่งแวดล้อมไทยและโครงการส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีสะอาดในอุตสาหกรรมไทย, กรุงเทพฯ.
- ณรงค์ นิยมวิทย์ และ อัญชนีย์ อุทัยพัฒนาชีพ. 2528. วิทยาศาสตร์การประกอบอาหาร. ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 441 น.
- ณรงค์ นิยมวิทย์. 2538. ธัญชาติและพืชหัว. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 235น.
- นัทธญา จะเรียมพันธ์. 2530. การเสริมโปรตีนในเส้นก๋วยเตี๋ยวด้วยแป้งถั่วเหลืองสกัดไขมัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 92 น.
- พิมพ์เพ็ญ ธีรพร, นฤคม บุญหลง, งามชื่น คงเสรี และจินตนา อุปติสสกุล. 2533. รายงานผลการวิจัยในการประชุมทางวิชาการ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 307น.
- พิมพ์เพ็ญ ธีรพร. 2533. ผลของการใช้แป้งมันสำปะหลังผสมแป้งข้าวเจ้าต่อคุณภาพเส้นก๋วยเตี๋ยว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 102 น.
- แม่น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม. 2534. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. ชวนพิมพ์, กรุงเทพฯ. 886 น.
- วิรดา คิษยมณฑล, ขวัญใจ เลาหะสวัสดิ์ และ บังอร พณีโคดม. 2518. การศึกษาเรื่องการทำก๋วยเตี๋ยว. กรมวิทยาศาสตร์, กรุงเทพฯ. 10 น.

- วิภา สุโรจนะเมธากุล. 2541. คุณสมบัติของข้าวและการเปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการผลิต ก้าวเตี้ยและเส้นหมี่, น. 33-51. ในเอกสารประกอบการบรรยาย โครงการฝึกอบรมเรื่อง การพัฒนาและยกระดับอุตสาหกรรมก้าวเตี้ยและขนมจีน โดยใช้เทคโนโลยีสะอาด ณ โรงแรมมารวยการ์เดนที่ ถ.พหลโยธิน กรุงเทพฯ วันที่ 26-28 มีนาคม 2541. สถาบัน สิ่งแวดล้อมไทย และ โครงการส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีสะอาดในอุตสาหกรรมไทย, กรุงเทพฯ.
- สถาบันอาหาร. 2550. อุตสาหกรรมไทยข้อมูลสินค้า. [online]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.nfi.or.th/infocenter/th/thaifood/product.asp>.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2529. แป้งข้าวเจ้า. มอก.638-2529, มาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ. 13 น.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2531. ก้าวเตี้ยกึ่งสำเร็จรูป. มอก. 832-2531, มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ. 15 น.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2533. ก้าวเตี้ย. มอก. 959-2533, มาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ. 12น.
- เสนอ ร่วมจิต. 2522 ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีบางประการของข้าวเจ้าพันธุ์ต่างๆ ที่มี ผลต่อลักษณะเส้นก๋วยเตี้ย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 129น.
- อรพรรณ กัลปนายุทธ. 2547. การปรับปรุงคุณภาพก๋วยเตี้ยพร้อมบริโภคในบรรจุภัณฑ์ปิดสนิท ผ่านกระบวนการพาสเจอไรเซชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 181น.
- อรรณพ เหนือสุขเจริญ. 2529. คุณสมบัติบางประการในการนำไปใช้ประโยชน์ของแป้งต่างๆ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 120น.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. ข้าว:วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 366น.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. 2542. ผลิตภัณฑ์ข้าวไทย: จากอดีตถึงปัจจุบันสู่อนาคต. ใน เอกสาร ประกอบการบรรยาย สัมมนาวิชาการ โครงการสมองไหลกลับ สาขาอุตสาหกรรมเกษตร ประจำปี 2542. สถาบันผลิตผลเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, สหประชาชาติเกษตรกรรมแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ และโครงการ สมองไหลกลับสาขาอุตสาหกรรมเกษตร วันที่ 6-7 กรกฎาคม 2542 ณ หอประชุมใหญ่ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน, กรุงเทพฯ.

- Alonso, G.A. and Escrig, A.J. 1999. Assessment of some parameters involved in the gelatinization and retrogradation of starch. *Food Chem.* 55 : 181.
- American Institute of Baking Report. 1990. Evaluation of Sucrose Esters in Frozen Bread Dough. Manhattan, Kansas.
- Association of Official Analysis (A.O.A.C). 1995. Official Method of Analysis. 14th ed., Chemists, Virginia.
- Azizi, M.H. and Rao, G.V. 2005. Effect of storage of surfactant gels on the bread making quality of wheat flour. *Food Chem.* 89 : 133.
- Bettge, A.D., Giroux, M.J. and Morris, C.F., 2000, Susceptibility of waxy starch granules to mechanical damage. *Cereal Chem.* 77(6) : 750.
- Baik, M.Y., Kim, K.J., Cheon, K.C., Ha, Y.C. and Kim, W.S. 1997. Recrystallization kinetics and glass transition of rice starch gel system. *J. Agric Food Chem.* 45 : 4242.
- Breyer, L.M. and Walker, C.E. 1984. Comparative effects of various sucrose-fatty acid ester upon bread and cookies. *J. Food Sci.* 48 : 955.
- Chiang, P.Y. and Yeh, A.I. 2002. Effect of soaking on wet-milling of rice. *J. Cereal Sci.* 35 : 85.
- Chang, M.S. and Liu, L.C. 1991. Retrogradation of rice starches studied by differential scanning calorimetry and influence of sugar, NaCl and Lipid. *J. Food Sci.* 56 : 564.
- Collison, R. 1968. Swelling and gelation of starch, pp.168-193. In Radley, J.A., ed. *Starch and its derivatives*. Chapman and Hall Ltd., London.
- Conde-peti, B. and Escher, F. 1991. Rheologische untersuchungen an starke-emulgator-system. *Getreide Mehl Und Brot.* 45(5) :131.
- Crosbie, G.B. 1991. The relationship between starch swelling properties, paste viscosity and boiling noodle quality in wheat flours. *J. Cereal Sci.* 13 : 145.
- Del Vecchio, A.J. 1975. Emulsifiers and their use in soft wheat products. *Bakers Dig.* 49(4) : 28.
- Destefanis, V.A., Ponte, J.G., Chung, F.H. and Ruzza, N.A. 1977. Binding of crumb softeners and dough strengtheners during breadmaking. *Cereal Chem.* 54(1) : 13.

- Dragdorf, R.D. and Varriano-Marston, E. 1980. Bread staling: X-ray diffraction studies on bread supplemented with alpha-amylase from different sources. *Cereal Chem.* 57 : 310.
- Ebeler, S.E. and Walker, C.E. 1983. Wheat and composite flour chapaties: Effects of soy flour and sucrose-ester emulsifiers. *Cereal Chem.* 60 : 270.
- Edelmann, E.C., Cathcart, W.H. and Berquist C.B. 1950. The effect of various ingredients on the rate of firming of bread crumb in the presence of polyoxyethylene monostearate and glyceryl monostearate. *Cereal Chem.* 27 : 1.
- Eliasson, A.C. 1983. Differential scanning calorimetry studies on wheat starch-gluten mixtures. II. Effect of gluten and sodium stearyl lactylate on starch crystallization during aging of wheat starch gel. *J. Cereal Sci.* 1 : 207.
- Eliasson, A.C. and Gudmundsson, M. 1996. Starch: physicochemical and function aspects, pp. 431-503. In Eliasson, A.C., ed. *Carbohydrate in Food*. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Eerlingen, R.C., Crombez, M. and Delcour, J.A. 1993. Enzyme resistance starch. I. Quantitation and qualitative influence of incubation time and temperature of autoclaved starch on resistant starch formation. *Cereal Chem.* 70 : 339.
- Faculty of Agricultural Science, UBC. 2007. Water in food systems/Question 5 : Bread staling. [online]. Available : <http://www.landfood.ubc.ca/courses/fnh/301/water/waterq5.htm>
- Farhat, I.A., Blanshard, J.M.V. and Mitchell, J.R. 2000. The retrogradation of waxy maize starch extrudates: Effects of storage temperature and water content. *Biopolymers.* 53:411.
- Farhat, I.A. and Blanshard, J.M.V. 2001. Modeling the kinetics of starch retrogradation, pp. 163-172. In Chinachoti, P. and Vodovotz, J., ed. *Bread Staling*. CRC Press LTC.
- Feldberg, C. 1969. Extruded starch-based snakes. *Cereal Sci Tod.* 4 : 211.
- Field, S.Q. 2003. Ingredients: What's in the Stuff We Buy. [online]. Available : <http://www.sci-toys.com/.../glycerol-monostearate.html> and <http://www.sci-toys.com/.../lecithin.html>.
- Finey, K.F. and Shogren, M.D. 1974. A sugar-free formula for high-protein breads. *Cereal Sci Tod.* 19 : 396

- Forssell, P. Shamekh, S., Harkonen, H. and Poutanen, K. 1998. Effects of native and enzymatically hydrolysed soya and oat lecithins in starch phase transitions and bread baking. *J. Sci Food Agric.* 76 : 31.
- Ghiasi, K., Hoseneny, R.C. and Marston, E.V. 1982. Gelatinization of wheat starch III. Differential scanning calorimetry and light microscope. *Cereal Chem.* 58 : 258.
- Gray, J.A. and J.N. Bemiller. 2003. Bread staling: Molecular basis and control. *Food Technol.* 2 : 1.
- Godet, M.C., Bouchet, B., Colonna, P., Gallant, D.J. and Buleon, A. 1993. Crystalline amylase fatty acid complexes: morphology and crystal thickness. *J. Food Sci.* 61 : 1196.
- Gudmundsson, M. 1994. Retrogradation of starch and the role of its components. *Thermochimica Acta.* 246 : 329.
- Gujral, H. and Pathak, A. 2002. Effect of composite flour and additives on the texture of chapatti. *J. Food Eng.* 55 : 173.
- Inglett, E.G., Peterson, C.S., Carriere, J.C. and Maneepun, S. 2005. Rheological, textural and sensory properties of Asian noodles containing an oat cereal hydrocolloid. *Food Chem.* 90 : 1.
- International Rice Research Institute. 1971. Annual Report Intern. Rice Res. Ins., Los Banos, Laguna Philippines. 56 pp.
- Jacobson, M.R. and Bemiller, J.N. 1998. Method for determining the rate and extent of accelerated starch retrogradation. *Cereal Chem.* 75(1) : 22.
- Jane, J., Shen L., Chen J., Kasemsuwan, T. and Nip, W.K. 1992. Physical and chemical studies of taro starches and flours. *Cereal Chem.* 69 : 528.
- Jankowski, T. and Rha, C.K. 1986. Retrogradation of starch in cooked wheat. *Starch/stärk.* 38(1) : 6.
- Jankowski, T. 1992. Influence of starch retrogradation on the texture of cooked potato tuber. *J. Food Sci and Technol.* 27 : 637.
- Joensson, T. and Toernase, H. 1987. The effect of selected surfactants on bread crumb softness and its measurement. *Cereal Foods World.* 32(7) : 482.

- Juliano, B.O., Onate, L.U. and Del Mundo, A.M. 1965. Relation of starch composition, protein content and gelatinization temperature to cooking and eating quality of milled rice. *Food Technol.* 19 : 1006.
- Juliano, B.O. and Hicks, P.A. 1996. Rice functional properties and rice food products. *Food Reviews International.* (12) : 71
- Juliano, B.O., Perdon, A.A., Perez, C.M. and Cagampang, C.B. 1974. Molecular and gel properties of starch and texture of rice products. *J. Food Sci and Technol.* 1(3) : 120.
- Juliano, B.O. and Villareal, C.P. 1993. Grain Quality Evaluation of Word Rice. International Rice Research Institute, Manila. 205 pp.
- Karim, A.A., Norziah, M.H. and Seow, C.C. 2000. Method for the study of starch retrogradation. *Food Chem.* 71 : 9.
- Kaur, K. and Singh, N. 2000. Amylose-lipid complex formation during cooking of rice flour. *Food Chem.* 71 : 51.
- Kaur, L., Singh, J. and Singh, N. 2005. Effect of glycerol monostearate on the physico-chemical, thermal, rheological and noodle making properties of corn and potato starches. *Food Hydrocolloid.* 19 : 839.
- Kerr, W.L., Ward, C.D.W., McWatters, K.H. and Resurreccion, A.V.A. 2000. Effect of milling and particle size on functionality and physicochemical properties of cowpea flour. *Cereal Chem.* 77: 2 . 213.
- Kim, C.S. and Walker, C.E. 1992. Effect of sugar and emulsifiers on starch gelatinization evaluated by differential scanning calorimeter. *Cereal Chem.* 62(2) : 212.
- Kim, J.O., Kim, W.S. and Shin, M.S.K. 1997. A comparative study on retrogradation of rice starch gels by DSC, X-ray and α -amylase methods. *Starch/Stärk.* 49(2) : 71.
- Knightly, W.H. 1968. The role of surfactants in baked foods, pp. 131-157. In Brown, S.S., Lavery, M., Morton, I.D. and Wren, J.J., ed. *Surfactant- active lipid in foods.* Society of chemical Industry, Inc., London.

- Knightly, W.H. 1977. The Staling of Bread. *Bakers Digest*. 52-56, 144-149 pp.
- Knightly, W.H. 1996. Surface active Lipid in Foods. Society of Chemical Industry , Inc., London. 135pp.
- Krog, N. And Jensen, B.N. 1970. Interaction of monoglyceride in different physical states with amylase and their anti-firming effects in bread. *J. Food Technol.* 5 : 77.
- Krog, N.J. 1979. Dynamic and unique monoglycerides. *Cereal Foods World*. 24(1) : 10.
- Krog, N. 1981. Theoretical aspects of surfactants in relation to their use in breadmaking. *Cereal Chem.* 58(3) : 158.
- Krog, N., Olesen, S.K., Toernaes, H. and Joensson, T. 1989. Retrogradation of the starch fraction in wheat bread. *Cereal Foods Wold*. 34(3) : 281.
- Krog, N.J. 1990. Food emulsifiers and their chemical and physical properties, pp.129-147. In Larsson, K. and Friberg S., ed. *Food Emulsions*. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Labell, F. 1983. Dough conditioner adds to volume of freestanding breads. *Food Process*. 44(3) : 34.
- Labuza, T.P. 1982. Shelf-life Dating of Foods. Food & Nutr. Press, Inc., Westport, CT.
- Legendijk, J. and Pennings, H.J. 1970. Relation between complex formation of starch with monoglycerides and the firmness of bread. *Cereal Sci Tod*. 15 : 354
- Leach, H.W. 1965. Gelatinization of starch, pp.59-173. In Whistler, R.L. and Paschall, E.F., ed. *Starch Chemistry and Technology*. Academic Press, New York.
- Lii, Y.C., Tsai, M.L. and Seng, K.H. 1996. Effects of content or the rheological property of rice starch. *Cereal Chem.* 73 : 415.
- Lii, Y.C., Lai, V.M.F. and Shen, M.C. 2004. Changes in retrogradation properties of rice starches with amylase content and molecular property. *Cereal Chem.* 81 : 392.
- Lin, Y., Yeh, A. and Lii, C. 2001. Correlation between starch retrogradation and water mobility as determined by Differential Scanning Calorimetry (DSC) and Nuclear Magnetic Resonance (NMR). *Cereal Chem.* 78(6) : 647.

- Lopez, P.O. and Bello-Perez, L.A. 1994. Amylopectin : structural, gelatinization and retrogradation studies. *Food Chem.* 50 : 411.
- Lorenz, K. 1983. Diacetyl tartaric acid ester of monoglycerides (DATEM) as emulsifiers in bread and buns. *Bakers Dig.* 13 : 6.
- Lu, J.T. and Jane, J.L. 1997. Temperature effect on retrogradation rate and crystalline structure of amylose. *Carbohydr Polym.* 33 : 19-29.
- Maga, J.A. 1975. Bread staling. *Food Technol.* 5 : 443.
- Manley, D. 1991. *Technology of Biscuits, Cracker and Cookies.* Ellis Horwood, New York. 476pp.
- Miles, M.J., Morris offord , V.J., Orford, P.D. and Sim, S.G. 1985. The roles of amylose and amylopectin in the gelation and retrogradation of starch. *Carbohydrate Res.* 135 : 257.
- Mikus, F.F., Hickson, R.M. and Rundle, R.E. 1946. The complexes of fatty acids with amylose. *J. Am Chem Soc.* 68 : 11115.
- Moffatt, G.W. Pearsall, W.P. and Wulff, J. 1964. *The Structure and Properties of Materials. Volume 1. Structure.* John Wiley & Sons., U.S.A
- Mohamed, A.A. and Duarte, P.R. 2003. The effect of mixing and wheat protein /gluten on the gelatinization of wheat starch. *Food Chem.* 81 : 533.
- Moorthy, S.N. 1985. Effect of different type of surfactants on cassava starch properties. *J. Agric Food Chem.* 33 : 1227.
- Morad, M.M and D' Appolonia, B.L. 1980. Effect of surfactants and baking procedure on total water-soluble starch in bread crumb. *Cereal Chem.* 57 : 141.
- Morris, J.V. 1990. Starch gelation and retrogradation. *J. Trends Food Sci.* 1 : 2.
- Niihara, R. and Yonezawa, D. 1990. Change in lipid composition during Yaku and its effect on texture of cooked somen (Studies on Yaku phenomenon of Tenobe-somen). *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi.* 37 : 779.

- Oates, C.G. 1996. Physical Modification of Starch," In Advanced Post Academic Course on Tapioca Starch Technology. AIT Center., Bangkok.
- Osman, E.M., Leith, S.J. and Fle, M. 1961. Complexes of amylase with surfactant. *Cereal Chem.* 38 : 449.
- Ott, M. and Hester, E.E. 1965. Gel formation as related to concentration of amylase and degree of amylase and degree of starch swelling. *Cereal Chem*, 42: 476.
- Perdon, A.A., Siebenmorgen, T.J., Buescher, R.W. and Gbur, E.E. 1999. Starch retrogradation and texture of cooked milled rice during storage. *J. Food Sci.* 64(5) : 828.
- Perera, C. and Hoover, R. 1997. The effect of hydroxypropylation on the structure and physicochemical properties of native, defatted and heat-moisture treated potato starches. *Food Res Int.* 30 : 235.
- Perez, C.M. 1979. Gel consistency and viscosity of rice. In Workshop on chemical aspects of rice grain quality. Los Banos, International Rice Research Institute, Phillipines.
- Phillips, O.G. and Williams, P.A. 2000. *Handbook of Hydrocolloids*. Woodhead Publishish Limited, New York.
- Pomeranz, Y. 1985. *Functional properties of food components*. Academic Press. Inc., New York.
- Pulkki, P. 1938. Particles size in relation to flour characteristics and starch cell of wheat. *Cereal Chem.* 15(11) : 749.
- Putaux, L.J., Bulon, A. and Chanzy, H. 2000. Network formation in dilute amylose and amylopectin studied by TEM. *Macromolecular.* 30 : 6416.
- Ribotta, P.D., Cuffini, S., Leon, A.E. and Anon, M.C. 2004. The staling of bread : an X-ray diffraction study. *Eur Food Res Technol.* 218 : 219.

- Riisom, T., Krog, N. and Eriksen, J. 1984. Amylose complexing capacities of cis and trans unsaturated monoglycerides in relation to their functionality in bread. *J. Cereal Sci.*, 2 : 105
- Ring, S. R., Colonna, P., Anson, K.J., Kalichevsky, M. T., Miles, M.J., Morris, V.J. and Orford, P.D. 1987. The gelation and crystallization of amylopectin. *Carbohydr Res.* 162 : 277.
- Rho, K.L., Chung, O.K. and Seib, P.A. 1989. Noodle VIII. The effect of wheat flour lipid, gluten and several starches and surfactants on the quality of oriental dry noodles. *Cereal Chem.* 66 : 276.
- Roach, R.R. and Hoseney, R.C. 1995. Effect of certain surfactants on the starch in bread. *Cereal Chem.* 72(6) : 578.
- Rogers, D.E. and Hoseney, R.C. 1983. Breadmaking properties of DATEM. *Bakers Dig.* 57 :12.
- Russell, P.L. 1983. A kinetic study of bread staling by differential scanning calorimetry and compressibility measurement. The effect of added monoglyceride. *J. Cereal Sci.* 1 : 297.
- Sasaki, T. and Matsuki, J. 1998. Effect of wheat starch structure on swelling power. *Cereal Chem.* 75 : 524.
- Sasaki, T., Yasui and Matsuki, J. 2000. Effect of amylose content on gelatinization, retrogradation, and pasting properties of starches from waxy and non-waxy wheat and their FI seed. *Cereal Chem.* 77: 58.
- Schoch, T.J. and Maywald, F.C. 1968. Preparation and properties of various legume starch. *Cereal Chem.* 45: 564.
- Seow, C.C. and Thevamalar, K. 1988. Problem associated with traditional Malaysian starch-based intermediate moisture foods, pp.233-252. In Seow, C.C., ed. *Food Preservation by Moisture Control*. Elsevier Applied Science, London.

- Sievert, D., Czuchajowska, Z. and Pomeranz, Y. 1991. Enzyme-resistant starch. III. X-ray diffraction of autoclaved amylomaize VII starch and enzyme-resistant starch residues. *Cereal Chem.* 68(1) : 86.
- Siegel, A. 1974. Development acceptability and nutrition evaluation of new high protein rice based food for Thai children. Ph.D.thesis. Kansas State University, Kansas.
- Singh, J., Singh, N. and Sexena, S.K. 2002. Effect of fatty acids on the rheological properties of corn and potato starch. *J. Food Eng.* 52: 9.
- Singh, N., Sandhu, K.S. and Kaur, M. 2004. Characterization of starches separated from Indian chickpea (*Cicer arietinum*) cultivars. *J. Food Eng.* 63(4) : 441.
- Siswoyo, A.T. and Morita N. 2003. Physicochemical studies of defatted wheat starch complexed with mono and diacyl-sn-glycerophosphatidyl-choline of vary fatty acid chain lengths. *Food Res Int.* 36 :729.
- Shi, Y.C. and Seib, P.A. 1992. The structure of flour waxy starches related to gelatinization and retrogradation. *Carbohydr Res.* 227: 131.
- Shi, Y.C. and Seib, P.A. 1995. Fine structure of maize starches from four wx-containing genotypes of the W64A inbred line in relation to gelatinization and retrogradation. *Carbohydr Polym.* 26(2) : 141.
- Skovholt, O. and Dowdl, R.L. 1950. Changes in the rate of firmness development in bread at different seasons and with the use of emulsifiers. *Cereal Chem.* 27 : 26
- Slade, L. and Levine, H. 1991. Beyond water activity : recent advance based on and alternative approach to the assessment of food quality and safety. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 30 : 116.
- Smewing, J. 1999. Hydrocolloids. pp. 282-303. In Rosenthal, A.J., ed. *Food Texture : Measurement and Perception.* Aspen Publishers, Inc, UK.
- Stampfli, L. and Nersten, B. 1995. Emulsifiers in bread making. *Food Chem.* 52 :353.
- Stauffer, C.E. 1996. *Fat and Oil.* American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN.

- Stutz, R.L., Del Vecchio, A.J. and Tenney, R.J. 1973. The role of emulsifiers and dough conditions in foods. *Food Pro Dev.* October : 32
- Swinkels, J.J.M. 1985. *Starch Conversion Technology*. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Takahashi, S. and Seib, P.A. 1988. Paste and gel properties of prime corn and wheat starches with and without native lipid. *Cereal Chem.* 65 : 474.
- Tako, M. and Hizukuri, S. 2002. Gelatinization mechanism of potato starch. *Carbohydr Polym.* 48 : 397.
- Tamstorf, S. 1983. Emulsifiers for bakery and starch product. *Grindsted Technical Paper*, TP 9-1e.
- Tester, R.F. and Morrison, W.R. 1990. Swelling and gelatinization of cereal starch, I. Effect of amylopectin, amylase and lipid. *Cereal Chem.* 67 : 551.
- Toufeili, I., Shadarevian, S., Artinam, T. and Tannous R. 1995. Effect of shortening and surfactants on selected chemical/physicochemical parameters and sensory quality of Arabic bread. *Food Chem.* 53 : 253.
- Vandeputte, E.G., Vermeulen, R., Geeroms, J. and Delcour, J.A. 2003. Rice starch III structure aspects provide insight in amylopectin retrogradation property and gel texture. *J. cereal Sci.* 38 : 61.
- Yamazaki, K., Nakazato, T. and Kosegawa, T. 1971. Cooking quality of rice flour II. Experiment on butter cakes. *Nihon Shokunin Kogyo Gakkai-Shi.* 18(11) : 512.
- Yeh, A.I., Hsiu, W.H. and Shen, T.S. 1992. Moisture diffusion and gelatinization in extruded rice Noodles. *Food Extrusion Science and Technology*. Marcel Dekker Inc., New York.
- Yoenyongbuddhagal, S. and Noomhorm, A. 2002. Effect of physical properties of high-amylose Thai rice flour on vermicelli quality. *Cereal Chem.* 79(4) : 481.
- Yuan, C.R., Thompson, D.B. and Boyer, C.D. 1993. Fine structure of amylopectin in relation to gelatinization and retrogradation behavior of maize starch from three wx-containing genotype in two inbred line. *Cereal Chem.* 70 : 81.

- Zhou, Z., Robards, K., Helliwell, S. and Blanchard, C. 2007. Effect of the addition of fatty acids on rice starch properties. *Food Res Inter.* 40 : 209.
- Zobel, H.F. 1973. A review of bread staling. *Bakers Dig.* 47(5) : 53.
- Zobel, H.F., Yong, S.N. and Rocca, L.A. 1988. Starch gelatinization: an X-ray diffraction study. *Cereal Chem.* 65 : 443

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติของแป้งข้าวเจ้า

วิธีการวิเคราะห์แป้งทางเคมี

1. ปริมาณอะมิโลส คัดแปลงจาก Juliano (1971)

สารเคมี

1. เอทิลแอลกอฮอล์ 95%
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 1 โมลาร์
3. กรดอะซิติก 1 โมลาร์
4. สารละลายไอโอดีน เตรียมโดยใช้ไอโอดีน 0.2 กรัม และโพแทสเซียมไอโอไดด์ 2.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร
5. อะมิโลสบริสุทธิ์จากสตาร์ชมันฝรั่ง

วิธีวิเคราะห์

1. เตรียมสารละลายโดยชั่งตัวอย่างแป้งให้ได้น้ำหนัก ที่แน่นอน (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) 0.1 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ใส่ขวดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมเอทิลแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าเบาๆ เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ต้มในน้ำเดือด 10 นาที เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าให้สารละลายเข้ากันดี
2. ปิเปตสารละลายตัวอย่างที่เตรียมได้ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงในขวดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นประมาณ 70 มิลลิลิตร เติมกรดอะซิติกเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น ให้ครบปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าให้สารละลายเข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ 20 นาที
3. ทำเช่นเดียวกันอีก แต่ไม่ใส่สารตัวอย่างเพื่อใช้เป็นแบลนด์ วัดความเข้มสีของสารละลายด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร โดยปรับค่าสารละลายแบลนด์เท่ากับศูนย์
4. เตรียมกราฟมาตรฐานเช่นเดียวกับการเตรียมสารละลายตัวอย่างโดยชั่งอะมิโลสบริสุทธิ์จากสตาร์ชมันฝรั่งให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) 0.04 กรัม ปิเปตสารละลายมาตรฐานอะมิโลสที่เตรียมไว้ปริมาตร 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ใส่ขวดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นประมาณ 70 มิลลิลิตร เติมกรดอะซิติกเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นเขย่าให้สารละลายเข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ 20 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร และเขียนกราฟระหว่าง

ปริมาณอะมิโลส (กรัม/แป้งข้าว 100 กรัม หรืออะมิโลสบริสุทธิ์ 8%, 16%, 24%, 32% และ 40% กรัม/แป้งข้าว 100 กรัม หรือ อะมิโลสมันฝรั่งที่มีอะมิโลส 70% คิดเป็น 5.6%, 11.2%, 16.8%, 22.4% และ 28.0%) กับค่าการดูดกลืนแสง การเปลี่ยนค่าการดูดกลืนแสงเป็นปริมาณอะมิโลสโดยนำค่าการดูดกลืนแสงที่ปริมาณตัวอย่าง 0.100 กรัมของแต่ละตัวอย่างเทียบกับกราฟมาตรฐาน แล้วอ่านค่าเป็นร้อยละของอะมิโลสต่อแป้งข้าว 100 กรัม

2. การหาปริมาณความชื้น (A.O.A.C., 1995)

วัสดุอุปกรณ์

1. ภาชนะใส่ตัวอย่าง (moisture can)
2. ตู้อบลมร้อน (hot air oven)
3. โถกันความชื้น (desicator)
4. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

วิธีการวิเคราะห์

1. อบภาชนะใส่ตัวอย่างพร้อมฝา ในตู้อบลมร้อน 130 °C นาน 2-3 ชั่วโมง นำออกจากตู้ใส่ไว้ในโถกันความชื้นจนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะถึงอุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนัก
2. ทำเช่นเดียวกับข้อ 1 จนกระทั่งน้ำหนักของภาชนะใส่ตัวอย่างคงที่ (ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้ง 2 ครั้ง ที่ติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม)
3. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน 1-3 กรัม ใส่ในภาชนะความชื้นที่ทราบน้ำหนักแล้ว
4. นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 130 °C นาน 5-6 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบลมร้อนไว้ในโถกันความชื้น จนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะถึงอุณหภูมิห้อง แล้วชั่งน้ำหนัก
5. อบซ้ำอีก 30 นาที ชั่งจนกระทั่งน้ำหนักที่ได้คงที่ แล้วนำมาคำนวณปริมาณความชื้นจากน้ำหนักที่หายไป

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละของน้ำหนัก)} = (A/B) \times 100$$

เมื่อ A = น้ำหนักที่หายไป (กรัม)

B = เป็นน้ำหนักของตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)

3. ปริมาณเถ้า (A.O.A.C., 1995)

วัสดุอุปกรณ์

1. เตาเผา (muffle furnace)
2. ถ้วยกระเบื้องเคลือบ (porcelain crucible)
3. โถกันความชื้น (desicator)
4. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

วิธีการวิเคราะห์

1. เผาถ้วยกระเบื้องเคลือบในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 550-600 °C นาน 2-3 ชั่วโมง แล้วนำออกไว้ในโถกันความชื้นจนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะถึงอุณหภูมิห้อง แล้วชั่งน้ำหนัก
2. ทำเช่นเดียวกับข้อ 1 จนกระทั่งน้ำหนักถ้วยกระเบื้องเคลือบคงที่ (ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่ง 2 ครั้ง ที่ติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม)
3. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน 1-2 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบที่ทราบน้ำหนักแล้ว
4. นำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 – 600 °C นาน 5-6 ชั่วโมง นำออกจากตู้ไว้ในโถกันความชื้นจนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะถึงอุณหภูมิห้อง และชั่งน้ำหนัก
5. อบซ้ำอีก 30 นาที ชั่งน้ำหนักจนกว่าได้น้ำหนักคงที่ แล้วคำนวณหาปริมาณเถ้า

$$\text{ปริมาณเถ้า (ร้อยละของน้ำหนักรวม)} = \frac{(W_2 - W_0) \times 100}{(W_1 - W_0)}$$

เมื่อ W_0 = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเคลือบที่อบแล้ว (กรัม)

W_1 = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเคลือบและตัวอย่างก่อนเผา (กรัม)

W_2 = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเคลือบและตัวอย่างหลังเผาจนได้น้ำหนักคงที่ (กรัม)

4. ปริมาณไขมัน (A.O.A.C., 1995)

วัสดุอุปกรณ์

1. อุปกรณ์ชุดสกัดไขมัน (soxhlet apparatus)
2. Extraction cup
3. Thimble
4. โถกันความชื้น (desiccator)

สารเคมี

1. ปีโตรเลียมอีเทอร์ หรือ เฮกเซน

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียด (W_1) ลงในกระชากกรอง ปิดกระชากกรองห่อตัวอย่างให้เรียบร้อย ใส่ลงใน Thimble
2. ใส่ Thimble เข้าไปในเครื่อง Soxhlet ชั่งน้ำหนัก Extraction cup (W_2) จากนั้นเติมปีโตรเลียมอีเทอร์หรือเฮกเซนลงใน Extraction cup ประมาณ 25-30 มิลลิลิตร
3. ใส่ Extraction cup เข้าไปในเครื่อง Soxhlet ทำการ Boiling ตัวอย่าง 15 นาที
4. จากนั้น Rinsing ตัวอย่าง 30-40 นาที ระเหยปีโตรเลียมอีเทอร์หรือเฮกเซนออก
5. นำตัวอย่างออกจากเครื่อง Soxhlet นำไปอบที่อุณหภูมิ 100°C นาน 30 นาที
6. นำมาทิ้งให้เย็นในโถกันความชื้นจากนั้นชั่งน้ำหนักด้วย (W_3)

$$\text{ปริมาณไขมัน (ร้อยละของน้ำหนัก)} = \frac{(W_3 - W_2) \times 100}{W_1}$$

เมื่อ W_1 = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

W_2 = น้ำหนักของ Extraction cup ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน (กรัม)

W_3 = น้ำหนักของ Extraction cup และตัวอย่างหลังอบจนได้น้ำหนักคงที่ (กรัม)

5. ปริมาณโปรตีน (A.O.A.C., 1995)

วัสดุอุปกรณ์

1. อุปกรณ์ย่อยโปรตีน (kjeldahl flask ขนาด 250-300 มิลลิลิตร และ heating mantle)
2. อุปกรณ์กลั่นโปรตีน (semi-microdistillation apparatus)
3. ขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร
4. ปิเปต (pipet) ขนาด 5 และ 10 มิลลิลิตร
5. บิวเรต (buret) ขนาด 25 มิลลิลิตร
6. ลูกแก้ว (glass bead)
7. กระดาษกรอง

สารเคมี

1. กรดซัลฟูริกเข้มข้น
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 35%
3. สารละลายกรดบอริกเข้มข้น 4%
4. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน 0.1 นอร์มัล
5. คอปเปอร์ซัลเฟต
6. โพตัสเซียมซัลเฟต
7. อินดิเคเตอร์ผสมระหว่างเมทิลเรด เมทิลีนบลู และโบร โมครีซอลกรีน

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ให้น้ำหนักที่แน่นอนใส่ลงในหลอดย่อย ระวังอย่าให้ติดข้างหลอด
2. ใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งประกอบด้วยโพตัสเซียมซัลเฟต 10 กรัม และคอปเปอร์ซัลเฟต 0.5 กรัม รวมทั้งเม็ดลูกแก้วกันเคียด และเติมกรดซัลฟูริกประมาณ 20-25 มิลลิลิตร
3. นำหลอดย่อยต่อเข้ากับชุดเครื่องย่อย ทำการย่อยจนกระทั่งได้สารละลายสีเขียวใส ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วเติมน้ำกลั่น 60-75 มิลลิลิตร (หรือเติมเป็น 3 เท่าของกรด)
4. นำหลอดย่อยต่อเข้ากับชุดเครื่องกลั่น แล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 35% จนสารละลายในหลอดย่อยเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล

5. รองรับสิ่งกลั่นด้วยขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่บรรจุสารละลายกรดบอริก ความเข้มข้น 4% จำนวน 25 มิลลิลิตร โดยกลั่นประมาณ 5 นาที

6. นำไปไทเทรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน 0.1 นอร์มัล สีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียวไปเป็นสีม่วง (จุดยุติ) บันทึกปริมาณกรดที่ใช้ แล้วนำไปคำนวณหาร้อยละของไนโตรเจน

$$\text{ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)} = \frac{(A-B)N \times 14.007 \times F}{W}$$

A = ปริมาตรกรดที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B = ปริมาตรกรดที่ใช้ไทเทรตกับ blank (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของกรด (นอร์มัล)

F = แฟกเตอร์ (5.95)

W = น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)

วิธีวิเคราะห์ทางเคมีกายภาพ

1. ความคงตัวของเจล (Juliano และ Villareal, 1993)

วัสดุอุปกรณ์

1. เครื่องปั่นผสมของเหลว (votex)
2. หม้อต้มน้ำ
3. เครื่องชั่ง
4. หลอดแก้วขนาด 16 X 150 มิลลิลิตร

สารเคมี

1. เอทานอล 95% (โดยปริมาตร) ที่มีไทมอลบลู 0.025%
2. โพตัสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.20 นอร์มอล

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งแบ่ง 1 มิลลิกรัม (น้ำหนักแห้ง) ใส่ในหลอดทดลอง

2. เติมนิโธล 95% ที่ละลายในนิโธล 0.025% ปริมาณ 0.2 มิลลิลิตร เติมนิโธล 0.2 มิลลิลิตร ปริมาณ 2 มิลลิลิตร
3. ปั่นของเหลวในหลอดนาน 2-3 วินาที เพื่อให้ปั่นลอยตัว
4. ต้มหลอดแก้วในน้ำเดือดนาน 8 นาที นำขึ้นจากน้ำเดือด ปั่นบนเครื่องปั่นผสมของเหลวเพื่อให้ปั่นสุกเข้ากันทั่วถึง
5. ทำให้ปั่นสุกเย็น โดยแช่หลอดทดลองในน้ำแข็งเย็นจัดนาน 20 นาที
6. วางหลอดปั่นสุกในแวนอนบนกระดาษกราฟที่มีช่องแบ่งละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร วางไว้นาน 30 นาที อ่านระยะทางที่ปั่นสุกไหลไป โดยเทียบกับตารางการแบ่งประเภทข้าว

วิธีวิเคราะห์ทางกายภาพ

1. กำลังการพองตัว การละลาย (Yoenyongbuddhagal และ Noomhornm 2002)

วัสดุอุปกรณ์

1. เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge)
2. ตู้อบลมร้อน (hot air oven)
3. อ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath)

วิธีการวิเคราะห์

1. ผสมตัวอย่างแป้งข้าว 0.4 กรัม น้ำหนักแห้งกับน้ำ 12.5 มิลลิลิตร ในหลอดเหวี่ยงที่ทราบน้ำหนักแล้ว
2. นำไปใส่อ่างควบคุมอุณหภูมิ โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 55, 65, 75 และ 85 °C เป็นเวลา 30 นาที ควบคุมเวลาอย่าให้แป้งตกตะกอน
3. ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
4. นำไปเหวี่ยงด้วยความเร็ว 1,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที
5. แยกส่วนใสออกจากหลอดเหวี่ยง ใส่ลงใน moisture can ที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว นำไปอบที่อุณหภูมิ 130 °C จนน้ำหนักคงที่
6. ชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณส่วนที่ละลายน้ำได้ เพื่อคำนวณหาความสามารถในการละลายเป็นค่าร้อยละการละลาย

7. นำหลอดเหยียงที่มีแป้งที่ตกตะกอนอยู่มาชั่งน้ำหนัก น้ำหนักที่ชั่งได้ลบด้วยน้ำหนักหลอดเหยียงจะเป็นน้ำหนักของแป้งที่พองตัว

$$\text{การละลาย (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักของส่วนที่ละลายได้หลังอบ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแป้ง (กรัม น้ำหนักแห้ง)}}$$

$$\text{กำลังการพองตัว} = \frac{\text{น้ำหนักแป้งที่พองตัว (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแป้ง} \times (100 - \text{ร้อยละการละลาย})}$$

2 การทดสอบด้วย RVA (Azizi และ Rao, 2005)

วัสดุอุปกรณ์

1. เครื่อง RVA พร้อมถ้วยอลูมิเนียม (can) และพาย

วิธีการวิเคราะห์

1. นำ surfactants ทั้ง 3 ชนิด คือ MG ที่ระดับ 0.1%, 0.3% และ 0.5% SSL ที่ระดับ 0.3%, 0.5% และ 0.7% และ GMS ที่ระดับ 0.08%, 0.2% และ 0.4% ของน้ำหนักแป้ง ผสมกับน้ำแป้ง โดยใช้แป้งข้าวเจ้า 2.5 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ในน้ำ 25 มิลลิลิตร ลงในถ้วยอลูมิเนียมของเครื่อง RVA

2. ใช้พายเขย่าตัวอย่างในถ้วยอลูมิเนียมทรงกระบอกขึ้นลง 10 ครั้ง เพื่อไม่ให้แป้งติดที่ผิวหน้าหรือติดบนพาย

3. ใส่พายในถ้วยอลูมิเนียมทรงกระบอกและสวมพายเข้ากับที่ยึด โดยให้พายอยู่กึ่งกลาง แล้วเริ่มต้นการวิเคราะห์โดยกดมอเตอร์ของเครื่อง RVA ลง ใช้โปรแกรมของเครื่องวัดความหนืดที่อุณหภูมิต่างๆ โดยเริ่มให้ความร้อนที่ 50 °C เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิจาก 50-95 °C และให้อุณหภูมิตั้งที่ 95 °C นาน 5 นาที จากนั้นลดอุณหภูมิลงเป็น 50 °C และให้ระบบมีอุณหภูมิตั้งที่ 50 °C จนหยุดการทำงาน ความเร็วรอบในการกวานของมอเตอร์ 10 วินาทีแรกอยู่ที่ 960 รอบต่อนาที หลังจากนั้นลดมาอยู่ที่ 160 รอบต่อนาทีจนสิ้นสุดการทดลอง

4. บันทึกค่าอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืด ความหนืดสูงสุด ความหนืดสุดท้าย breakdown และ setback เปรียบเทียบแป้งข้าวเจ้าที่ไม่เติม surfactants กับแป้งข้าวเจ้าที่เติม surfactants

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์คุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยว

วิธีวิเคราะห์ทางกายภาพ

1. การทดสอบคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyzer (Inglett และคณะ, 2005)

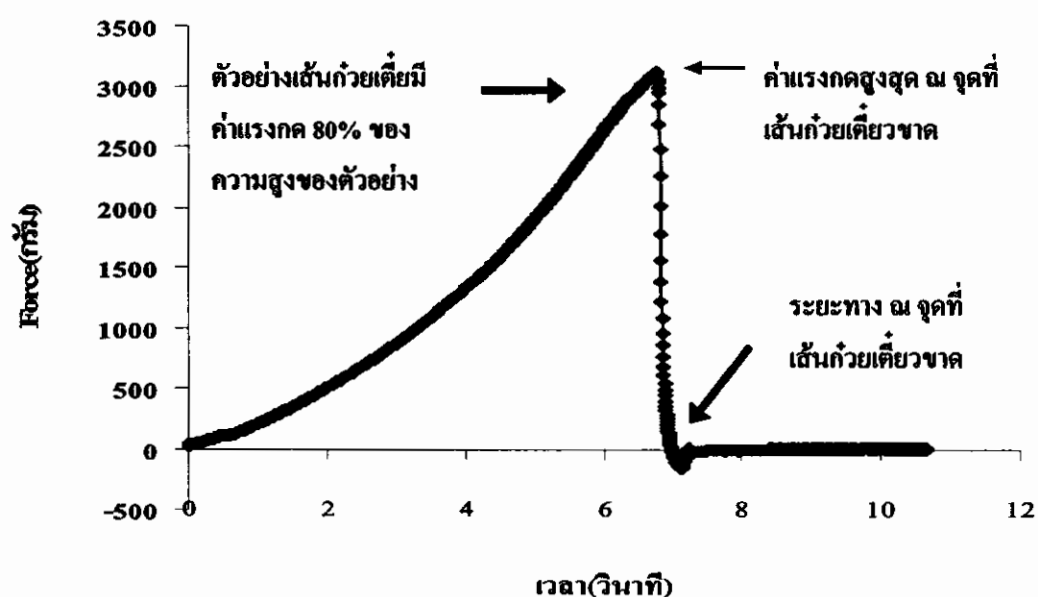
ทดสอบคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัส ด้วยเครื่อง Texture Analyzer ดัดแปลงจากวิธีของ Inglett และคณะ (2005) ใช้หัววัดรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร (P/10) โดยใช้เส้นก๋วยเตี๋ยวที่มีความกว้าง 2.5 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตรหนา 0.5-0.7 มิลลิเมตร และวางซ้อนจำนวน 10 เส้น กำหนดให้หัววัดกดลงบนเส้นก๋วยเตี๋ยวเป็นระยะทาง 80% ของความสูงตัวอย่าง บันทึกค่าแรงกดสูงสุดและระยะทาง ณ จุดที่เส้นก๋วยเตี๋ยวขาด

การตั้งค่าในการวัดก๋วยเตี๋ยว

Test Model : Measure Force in Compression

Test Option : Return to start

Parameter	: Pretest speed	5.0 mm/s
	: Test speed	1.0 mm/s
	: Post test speed	10.0 mm/s
	: Distance	80% strain



รูปที่ 25 ผลการทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวด้วยเครื่อง Texture Analyzer

2. การทดสอบการเปลี่ยนแปลงเชิงความร้อนด้วยเครื่อง DSC (Perdon และคณะ, 1999)

ทดสอบการเปลี่ยนแปลงเชิงความร้อนด้วยเครื่อง DSC โดยชั่งตัวอย่างเส้นก๋วยเตี๋ยว 13-15 มิลลิกรัม ลงใน aluminium pan เพิ่มอุณหภูมิ 30–100 °C ลดอุณหภูมิจาก 100–30 °C และเพิ่มอุณหภูมิอีกครั้งจาก 30–100 °C ด้วยอัตราการเพิ่ม-ลดอุณหภูมิเป็น 10 °C/นาที subtract peak ระหว่างการให้ความร้อนครั้งแรกและให้ความร้อนครั้งที่สอง ใช้ pan เปล่าเป็น reference บันทึกกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงพลังงานในระหว่างการหลอมละลาย โครงสร้างผลึกของสตาร์ช บันทึกค่า ΔH , T_o , T_p และ T_c

3. การทดสอบโครงสร้างภายในด้วยเครื่อง X-ray D iffraction (Shi และ Seib, 1992)

ตรวจสอบโครงสร้างภายในของเส้นก๋วยเตี๋ยว ด้วยเครื่อง X-ray Diffraction โดยกำหนดสถานะการทดลอง ใช้เป้าหมายคือทองแดงความต่างศักย์ไฟฟ้า 30 กิโลโวลต์ ใช้กระแสไฟฟ้า 40 มิลลิแอมแปร์ เริ่มสแกนมุมหักเหช่วง 3.00° ถึง 40.00° ด้วยอัตราเร็ว 0.01°/วินาที บันทึกรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ และคำนวณค่าร้อยละความเป็นผลึกชนิด B-type และ V-type

4. การทดสอบคุณสมบัติทางกระแสวิทยาด้วยเครื่อง Rheometer

ทดสอบคุณสมบัติทางกระแสวิทยาดูด้วยเครื่อง Rheometer เตรียมเจลแป้งด้วยเครื่อง RVA โดยนำน้ำแป้งที่ความเข้มข้น 30% ทั้งแบบที่ไม่เติม surfactant และแบบที่เติม surfactant ในระดับที่เหมาะสม มาเพิ่มอุณหภูมิจาก 50–95 °C ด้วยอัตราเร็ว 12.5 °C/นาที คงไว้ที่ 95 °C เป็นเวลา 2 นาที ลดอุณหภูมิมาที่ 80 °C คงไว้ที่ 80 °C เป็นเวลา 2 นาที นำเจลแป้งที่ยังร้อนมาวัดค่า G' ทันที ด้วยเครื่อง Rheometer โดยใช้หัววัด pp25, 1 Hz, gap 2 mm., 0.01% strain ซึ่งอยู่ในช่วง Linear region วัดที่อุณหภูมิ 9 °C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง นำค่า G' ที่เวลาต่างๆ มาคำนวณอัตราการเกิดรีโทร-กราเดชันของเจลแป้งด้วยสมการ Avrami

ภาคผนวก ก

ผลทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 1. ผลวิเคราะห์ทางสถิติอิทธิพลของระยะเวลาและอุณหภูมิการเก็บต่อปริมาณความชื้นของเส้นก๋วยเตี๋ยว

Effect of storage temperature and storage time on moisture properties of noodles.

The GLM Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
time	6	0 24 48 72 96 120
temperature	3	9 30 40

Number of observations 36

Source	DF	Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	17	29.71541800	1.74796576	25.41	<.0001
Error	18	1.23839100	0.06879950		

Corrected Total	35	30.95380900
-----------------	----	-------------

R-Square	Coeff Var	Root MSE	moisture Mean
0.959992	0.501442	0.262297	52.30850

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
time	5	19.82950100	3.96590020	57.64	<.0001
temp	2	6.75333050	3.37666525	49.08	<.0001
time*temp	10	3.13258650	0.31325865	4.55	0.0026

ตารางภาคผนวกที่ 2 ผลวิเคราะห์ทางสถิติอิทธิพลของระยะเวลาและอุณหภูมิการเก็บต่อลักษณะ
เนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยว
ค่าแรงสูงสุด ณ จุดที่เส้นก๋วยเตี๋ยวขาด

Effect of storage temperature and storage time on texture properties of noodles.

The GLM Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
time	6	0 24 48 72 96 120
temp	3	30 40 9
Number of observations		124

Dependent Variable: force

Sum of					
Source	DF	Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	17	1121661366	65980080	400.50	<.0001
Error	106	17463075	164746		
Corrected Total	123	1139124441			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	force Mean
0.984670	6.860754	405.8891	5916.101

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
time	5	219971829.0	43994365.8	267.04	<.0001
temp	2	696479991.5	348239995.7	2113.80	<.0001
time*temp	10	218766732.0	21876673.2	132.79	<.0001

ระยะทางสูงสุด ณ จุดที่เส้นก๋วยเตี๋ยวขาด

Effect of storage temperature and storage time on texture properties of noodles.

The GLM Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
time	6	0 120 24 48 72 96
temp	3	30 40 9

Number of observations 126

The GLM Procedure

Dependent Variable: **distance**

Source	Sum of				
	DF	Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	17	357.1324962	21.0077939	221.89	<.0001
Error	108	10.2249703	0.0946757		

Corrected Total 125 367.3574664

R-Square	Coeff Var	Root MSE	distance Mean
0.972166	5.169495	0.307694	5.952111

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
time	5	22.8386260	4.5677252	48.25	<.0001
temp	2	277.6431953	138.8215977	1466.29	<.0001
time*temp	10	56.6506748	5.6650675	59.84	<.0001

ตารางภาคผนวกที่ 3 ผลวิเคราะห์ทางสถิติอิทธิพลของ surfactants ต่อความหนืดของแป้งข้าวเมือก
ด้วย RVA

Pasting Temperature

The GLM Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
type	10	ctr ssl0.3 ssl0.5 ssl0.7 gms0.2 gms0.4 gms0.08 mg0.1 mg0.3 mgo.5
Number of observations	30	

Dependent Variable: **pasting temperature**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	9	33.56629667	3.72958852	11.50	<.0001
Error	20	6.48420000	0.32421000		
Corrected Total	29	40.05049667			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	past Mean
0.838099	0.631325	0.569394	90.19033

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
type	9	33.56629667	3.72958852	11.50	<.0001

Peak Time.**The GLM Procedure****Class Level Information**

Class	Levels	Values
type	10	ctr ssl0.3 ssl0.5 ssl0.7 gms0.2 gms0.4 gms0.08 mg0.1 mg0.3 mgo.5

Number of observations 30

Dependent Variable: peak time

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	9	0.61814667	0.06868296	13.49	<.0001
Error	20	0.10180000	0.00509000		
Corrected Total	29	0.71994667			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	peak Mean
0.858601	1.063041	0.071344	6.711333

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
type	9	0.61814667	0.06868296	13.49	<.0001

Peak Viscosity .

The GLM Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
type	10	ctr ssl0.3 ssl0.5 ssl0.7 gms0.2 gms0.4 gms0.08 mg0.1 mg0.3 mgo.5

Number of observations 30

Dependent Variable: **peak viscosity**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	9	2967.696550	329.744061	32.96	<.0001
Error	20	200.111867	10.005593		
Corrected Total	29	3167.808417			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	peak Mean
0.936830	1.539938	3.163162	205.4083

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
type	9	2967.696550	329.744061	32.96	<.0001

Break Down.

The GLM Procedure

Class Level Information

Class Levels Values

type	10	ctr ssl0.3 ssl0.5 ssl0.7 gms0.2 gms0.4 gms0.08 mg0.1 mg0.3 mgo.5
------	----	--

Number of observations 30

Dependent Variable: **break down**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	9	1966.927097	218.547455	21.92	<.0001
Error	20	199.379600	9.968980		
Corrected Total	29	2166.306697			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	break Mean
0.907963	7.389058	3.157369	42.73033

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
type	9	1966.927097	218.547455	21.92	<.0001

Final Viscosity.

The GLM Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
type	10	ctr ssl0.3 ssl0.5 ssl0.7 gms0.2 gms0.4 gms0.08 mg0.1 mg0.3 mgo.5

Number of observations 30

Dependent Variable: **final viscosity**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	9	5051.851213	561.316801	9.57	<.0001
Error	20	1173.652933	58.682647		
Corrected Total	29	6225.504147			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	final Mean
0.811477	2.540148	7.660460	301.5753

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
type	9	5051.851213	561.316801	9.57	<.0001

Set back.**The GLM Procedure****Class Level Information****Class Levels Values**

type	10	ctr ssl0.3 ssl0.5 ssl0.7 gms0.2 gms0.4 gms0.08 mg0.1 mg0.3 mgo.5
------	----	--

Number of observations 30

Dependent Variable: set back

		Sum of			
Source	DF	Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	9	3180.820347	353.424483	9.26	<.0001
Error	20	763.045600	38.152280		

Corrected Total	29	3943.865947
-----------------	----	-------------

R-Square	Coeff Var	Root MSE	setb Mean
0.806523	4.458097	6.176753	138.5513

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
type	9	3180.820347	353.424483	9.26	<.0001

ตารางภาคผนวกที่ 4 ผลวิเคราะห์ทางสถิติอิทธิพลของ surfactants ต่อปริมาณผลึกที่เก็บที่อุณหภูมิ 9°C

The SAS System

The GLM Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
type	4	ctr ssl0.5 mg0.5 gms0.2

The GLM Procedure

Dependent Variable: ค่า K

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	0.00003289	0.00001096	2.14	0.2379
Error	4	0.00002050	0.00000512		
Corrected Total	7	0.00005339			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	data Mean
0.616118	7.275437	0.002264	0.031113

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
type	3	0.00003289	0.00001096	2.14	0.2379

Dependent Variable: ค่า n

The SAS System 18:45 Saturday, May 29, 1999 1

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
type	3	0.00203339	0.00067780	2.07	0.2463

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล

นางสาวกนกวรรณ ณ พัทลุง

ที่อยู่

74 หมู่ 7 ตำบลบางสน อ.ปะทิว จ.ชุมพร 86160

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2545

สำเร็จการศึกษาวิทยาสตรบัณฑิต วิชาเอกวิทยาศาสตร์การอาหารและ
โภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จากมหาวิทยาลัยสงขล
นครินทร์

ประสบการณ์การทำงาน

พ.ศ. 2545-2546 Supervisor Production บริษัท จันทบุรีซีฟู้ดส์ จำกัด

พ.ศ. 2547 นักวิชาการ บริษัท ไพฑูรย์สะพลี จำกัด